





АКАДЕМИЯ  
НАУК  
СССР

Т Р У Д Ы  
ВСЕСОЮЗНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ  
СТРАТОСФЕРЫ

31 марта — 6 апреля  
1 9 3 4 г о д а

---

---

---

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
ЛЕНИНГРАД • 1935 • МОСКВА

Март 1935 г.

Напечатано по распоряжению Академии Наук СССР

Непременный секретарь академик *В. Волин*

Редакционная коллегия:

акад. С. И. Вавилов, акад. Г. А. Надсон, акад.  
А. Ф. Иоффе, Н. Н. Андреев, М. А. Бонч-  
Бруевич, А. Б. Вериго, Н. Н. Калитин, П. А.  
Молчанов, С. Г. Натансон, Л. А. Орбели,  
Н. А. Рынин, П. Н. Тверской, Л. С. Фрейман  
и М. С. Эйгенсон

Технический редактор Г. А. Стратановский. — Ученый корректор А. В. Суслов

Сдано в набор 21 августа 1934 г. — Подписано к печати 11 марта 1935 г.

XXIV + 927 стр. + 19 табл.

Формат бум. 72 × 110 см. — 62<sup>5</sup>/<sub>8</sub> печ. л. — 46572 печ. зн. — Тираж 3175

Главлит № В-104024. — АНИ № 398. — Заказ № 334

---

Типография Академии Наук СССР. В. О., 9 линия, 12

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	СТР.
Введение . . . . .	IX
Открытие Конференции . . . . .	XVIII
Акад. С. И. Вавилов. Вступительная речь . . . . .	X

### *Проблемы аэрологии*

П. С. Дубенский. Методы и задачи освоения стратосферы . . . . .	3
П. А. Молчанов. Современные представления о строении стратосферы . . . . .	11
Н. Е. Кочин. Барометрическая формула и строение верхних слоев атмосферы . . . . .	39
В. И. Виткевич. О работах по изучению стратосферы, выполненных в Москве . . . . .	51
С. И. Савинов. К вопросу о точном измерении давления и температуры воздуха при подъемах в атмосфере . . . . .	69
В. Д. Третьяков. К вопросу о методах измерения температуры воздуха в свободной атмосфере . . . . .	73
В. А. Ханевский. Строение стратосферы в связи с процессами в ней . . . . .	87
Б. П. Вейнберг. К вопросу об отставании показаний ртутного барометра при вертикальном движении стратостата . . . . .	99
М. В. Беженцев. Метод отбора проб воздуха, применявшийся на стратостате „С-ОАХ-1“ . . . . .	105
Прения . . . . .	113

### *Проблемы акустики*

А. И. Белов. Теория акустического зондирования стратосферы и экспериментальный материал до 1932 года . . . . .	125
Л. С. Фрейман. Опыты по акустическому зондированию стратосферы в Арктике в течение II Международного полярного года . . . . .	139
Н. Н. Андреев. О программе дальнейших работ по акустическому исследованию стратосферы и изучению акустики свободной атмосферы . . . . .	145

### *Проблемы оптики и актинометрии*

Н. Н. Калитин. Солнечная радиация в тропосфере и стратосфере . . . . .	155
Д. И. Еропкин. Проблема атмосферного озона . . . . .	163
В. Кастров. Рассеяние света и проблема стратосферы . . . . .	169
В. Г. Фесенков. К вопросу исследования стратосферы путем фотометрического анализа сумерек . . . . .	177
Ю. Янишевский. О технике актинометрических наблюдений в условиях полета . . . . .	183
В. И. Семенов. Аэрофотосъемка из стратосферы . . . . .	189
Г. В. Крупенский. Фотоматериалы для стратосъемки . . . . .	197
В. В. Шаронов. Фотометрические наблюдения со стратостата и их задачи . . . . .	211
Н. М. Штауде. Сумерки и строение верхней стратосферы . . . . .	218

	СТР.
М. В. Былов. Об определении количества водяного пара в атмосфере по полосам поглощения в инфра-красной части солнечного спектра . . . . .	227
М. М. Виленчик и Л. И. Демкина. Измерение цвета неба со стратостата . . . . .	231
Г. Н. Раутиан. Спектрограф для ультрафиолетовой части спектра . . . . .	239
Прения . . . . .	243

*Проблемы атмосферного электричества*

П. Н. Тверской. Электрическое состояние атмосферы . . . . .	253
М. А. Бонч-Бруевич. Роль электромагнитных волн для изучения атмосферы . . . . .	269
П. И. Гусев. Полярные сияния и верхние слои земной атмосферы . . . . .	283
Д. И. Еропкин. Интерпретация спектра полярного сияния и света ночного неба . . . . .	291
Б. М. Яновский. Магнетизм и использование материалов магнитных обсерваторий . . . . .	299
Н. И. Леушин. О стратосферном происхождении радио-помех . . . . .	313
В. С. Федукевич. Предварительное сообщение об измерениях высоты слоя Хэвисайда за зимний период 1933 года . . . . .	323
В. И. Баранов. К вопросу об исследованиях атмосферного электричества при полетах в стратосферу . . . . .	327
Б. Ф. Архангельский. Предварительное сообщение об условиях распространения радио-волн в северных широтах . . . . .	333
С. И. Крючков. О проводящем слое Хэвисайда и причинах быстрого поднятия и опускания его нижней границы в связи с заходом и восходом солнца . . . . .	339
Р. А. Аллик. К методике атмосферно-электрических измерений при полетах в верхние слои атмосферы . . . . .	341
Н. В. Пушков. Верхние слои атмосферы и земной магнетизм . . . . .	353
Прения . . . . .	379

*Проблемы космических лучей*

Акад. А. Ф. Иоффе. Космические лучи . . . . .	385
Л. В. Мысовский. Исторический обзор развития учения о космических лучах в связи исследованием на больших высотах . . . . .	389
Д. В. Скобельцын. Современное положение вопроса о космических лучах . . . . .	401
А. Б. Вериго. Применение ионизационного метода для изучения космических лучей в стратосфере . . . . .	413
С. Н. Вернов. Применение счетчиков Гейгера-Мюллера для изучения космических лучей в стратосфере . . . . .	423
М. Н. Бронштейн. Гипотезы о происхождении космических лучей . . . . .	429
М. С. Эйгенсон. Космическая радиация и астрономия . . . . .	433
Прения . . . . .	445

*Проблемы астрономии*

Н. А. Козырев. О лучевом равновесии земной атмосферы . . . . .	451
В. А. Амбарцумян. О диссипации атмосферы . . . . .	457
Д. И. Еропкин. К вопросам эволюции состава планетных атмосфер . . . . .	459
С. Г. Натансон и Н. Н. Сытинская. Метеоры и стратосфера . . . . .	465
Н. М. Штауде. Теория Линдемана и Добсона и некоторые следствия, из нее вытекающие . . . . .	481

	СТР.
А. Б. Северный. Абсолютная яркость метеоров и верхние слои атмосферы . . .	489
Н. Н. Сытинская. Фотографические методы метеорной астрономии . . . . .	497
И. С. Астапович. Скорости метеоритов в атмосфере земли . . . . .	505
В. В. Шаронов. Фотометрия лунных затмений . . . . .	523
Е. Я. Перепелкин. О природе влияния солнечной деятельности на явления в стратосфере . . . . .	531
Е. Я. Перепелкин. О наблюдениях ионизации стратосферы во время полных солнечных затмений . . . . .	537
М. С. Эйгэнсон. Внесолнечные факторы в жизни земли . . . . .	539

*Проблемы биологии и медицины*

Акад. Г. А. Надсон. Вступительное слово . . . . .	551
Г. М. Франк. Биологическое действие ультрафиолетового света . . . . .	553
Б. Л. Исаченко. К изучению микроорганизмов стратосферы . . . . .	559
Л. Г. Перетц. Влияние условий стратосферы на бактериофаги и наиболее устойчивые формы бактерий. (По поводу гипотезы Аррениуса) . . . . .	563
Н. К. Кольцов. Проблема биологического воздействия космических лучей на организм . . . . .	565
Г. Меллер. Подъем стратостата в связи с проблемами, представляющими интерес для генетиков . . . . .	569
Акад. В. И. Вернадский. Биосфера и стратосфера . . . . .	575
Акад. Г. А. Надсон. Микробиология и стратосфера . . . . .	579
Л. А. Орбели. План научно-исследовательской работы по вопросу о влиянии стратосферных условий на организм человека и животных . . . . .	585
А. А. Лихачев. О влиянии на организм больших скоростей . . . . .	591
М. П. Бресткин. Регуляция содержания углекислоты и влаги в гондоле стратостата . . . . .	601
А. Аполлонов, Х. Гурвич, В. В. Стрельцов. Санитарное обеспечение полета стратостата „СССР“ . . . . .	607
В. В. Стрельцов. Снабжение стратонавтов кислородом . . . . .	615

*Проблемы техники*

Н. А. Рынин. Методы освоения стратосферы . . . . .	621
Ф. Франкль. Аэродинамика больших скоростей . . . . .	687
Ф. В. Кустов. К вопросу об изучении баллонных тканей . . . . .	695
К. Э. Циолковский. Достижение высот стратостатом . . . . .	709
И. А. Киббель. К вопросу о сопротивлении при скоростях, близких к скорости звука . . . . .	709
Ю. А. Победоносцев. Труба сверхзвуковых скоростей . . . . .	717
Е. Бугров. Применение авиационного двигателя для полетов в стратосфере . . . . .	731
О. Н. Розанов. Элементы проектирования стратоплана . . . . .	745
В. И. Дудаков. Самолет со стартовыми ракетами как начальный этап в развитии ракетного стратоплана . . . . .	791
Е. Н. Кузина. О баллонных тканях . . . . .	795
М. В. Мачинский и А. Н. Штерн. Научные проблемы реактивного движения . . . . .	801
М. В. Мачинский и А. Н. Штерн. Проблема двигателей прямой реакции . . . . .	817
М. В. Мачинский. О горизонтальном полете ракетоплана . . . . .	823
М. К. Тихонравов. Применение ракетных летательных аппаратов для исследования стратосферы . . . . .	839

---

	стр.
С. П. Королев. Полет реактивных аппаратов в стратосфере . . . . .	849
Н. И. Ворогушин. Охлаждение авиодвигателей в стратосфере . . . . .	857
В. А. Чижевский. Основные требования к проектированию стратоплана, его конструкция и детали . . . . .	869
В. А. Чижевский. Основные требования к проектированию гондолы, гондола стратостата „СССР“ и ее конструкция . . . . .	877
Е. Е. Чертовской. Современные стратостаты . . . . .	887
П. И. Гроховский. На недостигнутые высоты . . . . .	915
Прения . . . . .	917
Заключительное заседание Конференции . . . . .	923

---

*ПАМЯТИ СЛАВНЫХ ГЕРОЕВ  
СОВЕТСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ*

*П. Ф. ФЕДОСЕЕНКО,*

*А. Б. ВАСЕНКО и*

*И. Д. УСЫСКИНА*



## ВВЕДЕНИЕ

30 сентября 1933 г. состоялся первый советский подъем в стратосферу на стратостате „СССР“, построенном Управлением военно-воздушных сил СССР по оригинальным советским конструкциям на советских заводах и из советских материалов. К тому же времени Ленинградским областным советом Осоавиахима был изготовлен второй советский стратостат „Осоавиахим I“.

Мировой рекорд высоты ( $h=19\,000$  м), поставленный в результате первого советского стратосферного полета, привлек всеобщее внимание как внутри Союза, так и за границей.

Исключительный научный интерес и актуальность дела практического завоевания стратосферы побудили Академию Наук СССР уже через один месяц после первого советского полета вплотную заняться этим вопросом.

31 октября 1933 г. в Большом Конференц-зале Академии Наук СССР состоялось созванное ею совместно с Ленинградским областным советом Осоавиахима общегородское научное собрание, посвященное итогам советского полета в стратосферу.<sup>1</sup>

В результате этого собрания было выяснено, что „в настоящее время не создано еще объединяющего авторитетного советского научного центра, который в плановом порядке и комплексным методом мог бы ставить и разрешать актуальные специальные научные, технические, народнохозяйственные и оборонные проблемы изучения и овладения стратосферой“ (из докладной записки в Президиум Академии Наук СССР инициативной группы по созыву I Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы, от 1 ноября 1933 г.).

Потребность именно в такой широкой советской постановке всего дела завоевания стратосферы заставила инициативную группу советских ученых<sup>2</sup> обратиться в Президиум Академии Наук СССР с докладной за-

---

<sup>1</sup> На этом собрании были сделаны доклады: П. А. Молчановым о методах изучения и сущности проблемы стратосферы, Г. А. Прокофьевым и Бирнбаумом о полете стратостата „СССР“, К. Д. Годуновым и Е. Е. Чертовским о конструкциях стратостатов „СССР“ и „Осоавиахим I“.

<sup>2</sup> Академики С. И. Вавилов, И. В. Гребенщиков, Г. А. Надсон, Н. Н. Павловский и Д. С. Рождественский; профессора Л. В. Мысовский, А. Б. Вериги и С. Г. Натансон; Д. И. Еропкин и М. М. Эйгенсон.

пиской о созыве весной 1934 г. Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы (ВКИС).

Инициативной группой был составлен нижеследующий проект проблематики Конференции:

1. Аэрологические методы изучения нижней стратосферы и их результаты.
2. Распространение звуковых волн.
3. Актинометрия и атмосферная оптика.
4. Ультрафиолетовая радиация Солнца и проблема атмосферного озона.
5. Атмосферное электричество.
6. Распространение радиоволн.
7. Полярные сияния и геомагнитные явления.
8. Космические лучи.
9. Метеорные явления.
10. Служба Солнца.
11. Внесолнечные факторы в жизни Земли.
12. Стратостаты.
13. Стратопланы.
14. Ракеты.
15. Организационные вопросы.

Инициатива вышеуказанной группы ученых была поддержана Бюро Физико-математической ассоциации Академии Наук СССР.

4 XI 1933 г. Президиум Академии Наук СССР, рассмотрев докладную записку инициативной группы, постановил: „считать целесообразной организацию Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы“ и поручил Бюро Физико-математической ассоциации Академии Наук „проработать полностью вопрос о порядке дня Конференции и о составе Оргкомитета“, согласовав эти вопросы с учреждениями, заинтересованными в изучении стратосферы.

На основании этого решения Физико-математическая ассоциация обратилась к ряду руководящих советских научных и государственных учреждений и организаций с предложением принять активное участие в организуемой Конференции и дать свои соображения о проекте проблематики ее, выдвинутом инициативной группой.

Запрошенные Академией Наук СССР учреждения и организации полностью одобрили инициативу Академии Наук СССР, а также проект проблематики Конференции.

Приведем некоторые отзывы: „Центральное управление Единой Гидрометеорологической службы СССР с особым удовлетворением приветствует почин Академии по созыву Конференции. Объединение необходимо, и мысль о нем возникла вполне своевременно“. „Постоянное военно-научное совещание Ленинградского областного совета Осовиа-

хима весьма приветствует созыв Конференции“. „ЦАГИ считает проблематику Конференции исчерпывающей“.

На основании вышеуказанных переговоров Президиум Академии Наук СССР образовал 15 XII 1933 г. Организационный комитет Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы в составе: акад. С. И. Вавилов (председатель), акад. А. Ф. Иоффе (Комбинат физико-технических институтов), акад. Г. А. Надсон (Микробиологическая лаборатория Академии Наук), акад. Д. С. Рождественский (Гос. Оптический институт), М. С. Эйгенсон (ответственный секретарь), В. С. Львов (Центральное управление Единой гидрометслужбы СССР), П. Н. Тверской и А. Б. Ве-



Вид зала заседания Конференции.

риго (Главная Геофизическая обсерватория), П. А. Молчанов (Институт аэрологии), Н. Н. Калитин (Институт актинометрии), Л. В. Мысовский (Государственный Радиевый институт), Н. Д. Парский и Б. Г. Позоев (Артиллерийская академия РККА), А. И. Бородач (Главное управление авиационной промышленности), Ф. И. Ильин (Центральный совет Осоавиахима), М. В. Чернов (Институт аэрофотосъемки), Г. А. Тихов и Е. Я. Перепелкин (Пулковская обсерватория), Н. Н. Андреев (Электрофизический институт), С. Г. Натансон (Астрономическая обсерватория при Ленинградском Государственном университете), Н. А. Рынин (Ленинградский учебный комбинат Гражданского воздушного флота), В. И. Шорин, Е. Е. Чертовский, М. В. Мачинский и А. Б. Васенко (Ленинградский областной совет Осоавиахима), В. А. Чижевский (завод им. Менжинского), Г. А. Прокофьев (стратостат „СССР“), П. Ф. Федосеенко (стратостат „Осоавиахим I“), Г. Н. Мусинянц (Центральный аэро-гидродинамический институт), Д. И. Еропкин (Комиссия по изучению Солнца Академии Наук), П. А. Гусаковский (Военно-политическая академия им. Толмачева), М. А. Бонч-

Бруевич (Институт связи), А. А. Саткевич (Главное управление Гражданского воздушного флота), П. С. Дубенский (Управление военно-воздушных сил СССР).

3 января 1934 г. состоялся первый пленум Оргкомитета Конференции. Пленум Оргкомитета утвердил проект проблематики (см. выше), предложенный инициативной группой, и постановил для углубленной и заблаговременной научной подготовки Конференции образовать 8 тематических секций по проблемам:

- 1) Аэрология.
- 2) Звуковые волны.
- 3) Атмосферное электричество, радиоволны, полярные сияния, геомагнетизм.
- 4) Атмосферная оптика, актинометрия, атмосферный озон и аэрофотосъемка.
- 5) Космические лучи.
- 6) Астрономические проблемы и методы изучения стратосферы.
- 7) Биологические и медицинские проблемы.
- 8) Техника освоения стратосферы.

Пленум Оргкомитета утвердил руководителями секций Конференции:

1. Аэрологической — П. А. Молчанова (предс.) и Н. Д. Парского (зам. предс.).
2. Акустической — Н. Н. Андреева (предс.) и Б. Г. Позоева (зам. предс.).
3. Оптической — Н. Н. Калитина (предс.) и Г. А. Тихова (зам. предс.).
4. Электрической — П. Н. Тверского (предс.) и М. А. Бонч-Бруевича (зам. предс.).
5. Космических лучей — акад. А. Ф. Иоффе (предс.), Л. В. Мысовского и А. Б. Вериго (зам. предс.).
6. Астрономической — С. Г. Натансона (предс.), М. С. Эйгенсона (зам. предс.).
7. Биологической — акад. Г. А. Надсона (предс.) и Л. А. Орбели (зам. предс.).
8. Технической — П. С. Дубенского (предс.) и Н. А. Рынина (зам. предс.).

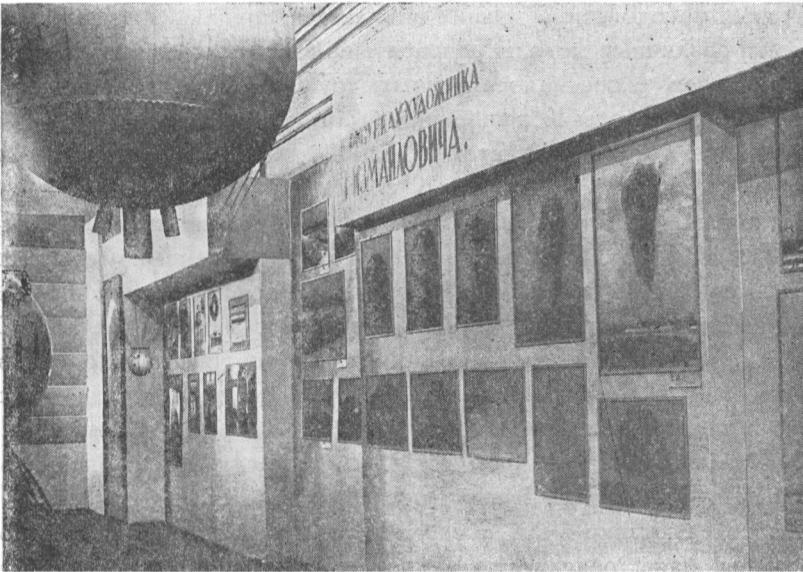
Пленум избрал П. С. Дубенского заместителем председателя Оргкомитета и руководителем Московского филиала Оргкомитета и Л. В. Мысовского казначеем Оргкомитета.

Пленум принял также финансовую смету и план финансирования Конференции, предусматривающий дотации ряда учреждений, а также постановил организовать к открытию Конференции специальную выставку.

В виду большого состава Оргкомитета, созыв частых пленумов его был бы нецелесообразен. Поэтому пленум Оргкомитета образовал большой президиум Оргкомитета в составе председателя, зам. председателя, ответственного секретаря и казначея Оргкомитета, руководителей секций

и, в качестве кандидатов в большой президиум, заместителей председателей секций.

После пленума Оргкомитета 3 I 1934 г. произошли 2 заседания большого президиума 15 II и 9 III 1934 г., на которых было решено открыть Конференцию 31 III 1934 г. и работу ее вести в течение 7 дней. Число участников Конференции было определено в 350 чел. Была составлена разверстка мест по учреждениям. На основании работы секций были разработаны порядок дня и программа Конференции.



Общий вид выставки.

31 III 1934 г., перед открытием Конференции, состоялся II пленум Оргкомитета Конференции, на котором был намечен состав рабочих органов Конференции (президиум Конференции и президиумы тематических заседаний).

Работа секций Конференции за 3 месяца, протекшие после I пленума Оргкомитета, выразилась в тщательной подготовке научного содержания Конференции. Эта работа оказалась чрезвычайно плодотворной, так как были выяснены совершенно новые вопросы и достигнуто единодушие в ряде спорных и новых проблем. Следует отметить, что не все доклады, заслушанные и обсужденные на заседаниях секций, были вынесены Оргкомитетом на Конференцию. Целый ряд этих секционных докладов печатается в настоящих „Трудах“. Здесь необходимо особо отметить работу оптической секции, имевшей 8 заседаний, на которых было заслушано и обсуждено 16 научных докладов.

Работа всех секций до Конференции шла параллельно. На Конференции Оргкомитет решил не устраивать параллельных секционных засе-

даний, а вынести работу каждой секции на специальное тематическое пленарное заседание Конференции. Оргкомитет при этом считал, — и опыт Конференции это вполне подтверждает, — что только такая организация работы комплексной Конференции может обеспечить выполнение ее задач.

Особенно важно было это сделать именно на стратосферной Конференции, так как, по справедливому указанию в докладной записке инициативной группы по ее созыву: „на настоящей стадии развития учения о стратосфере мы имеем в нем ряд малосвязанных друг с другом отдельных специальных методов, приводящих иногда к несовпадающим результатам, причем эти различные методы разрабатываются и применяются специалистами из разных, также малосвязанных друг с другом областей знания“. Поэтому 7 дней работы Конференции были своеобразным стратосферным университетом для специалистов в одной из областей изучения стратосферы.

Всего было намечено 12 заседаний Конференции, из которых I заседание было вводным, XII заседание было посвящено научно-организационным вопросам, а остальные 10 заседаний Конференции были посвящены одной из восьми групп проблем (соответствующих секциям Конференции, см. выше). При этом каждой группе проблем было посвящено заседание. В виду особой важности, техническим проблемам было представлено 3 заседания Конференции.

К открытию Конференции Оргкомитета была организована в залах Академии Наук выставка по изучению стратосферы.

На этой выставке были экспонированы приборы для исследования стратосферы, даны результаты ее изучения в чертежах, фотографиях и диаграммах, были выставлены: макет гондолы стратостата „СССР“ (в натуральную величину) с подлинным научным оборудованием, ракета Ленинградского Осоавиахима, макеты стратостатов Пикара, „СССР“ и „Осоавиахим I“, большая коллекция пастелей художника В. М. Измайловича, изображающих различные моменты производства и подъема советских стратостатов, а также часть богатой коллекции по истории авиации и воздухоплавания Родных.<sup>1</sup> Руководство оформлением выставки принадлежало художнику В. А. Александрову.

Приглашения участвовать в работах Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы были посланы Оргкомитетом по представлению секций 140 учреждениям и организациям в 19 городах СССР. Всего было выдано 407 делегатских билетов. Анкетные сведения удалось собрать от 236 делегатов. Статистическая обработка их показывает следующий состав делегатов Конференции:

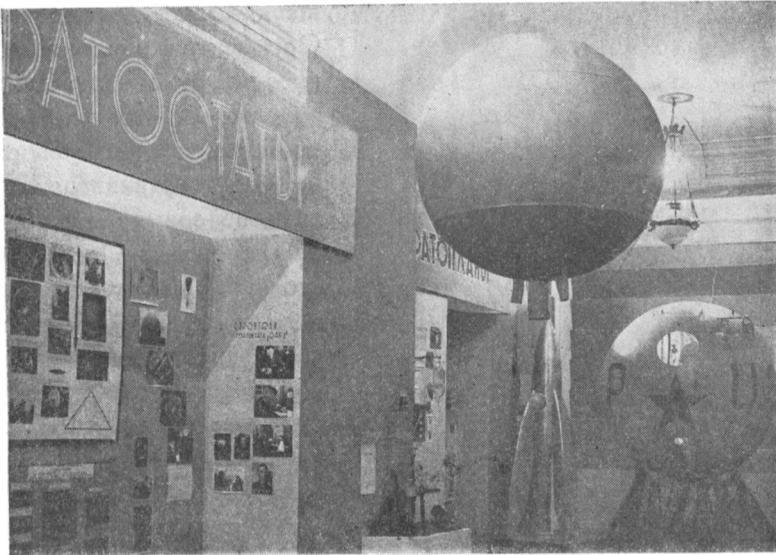
а) По партийности — 20% членов и кандидатов ВКП(б), 1% членов ВЛКСМ и 79% беспартийных.

<sup>1</sup> В „Трудах“ приведено несколько снимков выставки.

б) По ученым званиям и по образованию — 3% академиков, 16% профессоров, 17% инженеров, 59% с общим высшим образованием и 5% со средним образованием.

в) По возрасту: 6% до 25 лет, 33% от 25 до 35 лет, 57% от 35 до 50 лет и 5% от 50 до 85 лет.

г) По городам: ленинградцев 59%, москвичей 37%, киевлян 1%, харьковцев 1% и одесситов, казанцев, сталинабадцев и ташкентцев по 0.5%.



Общий вид технического отдела выставки.

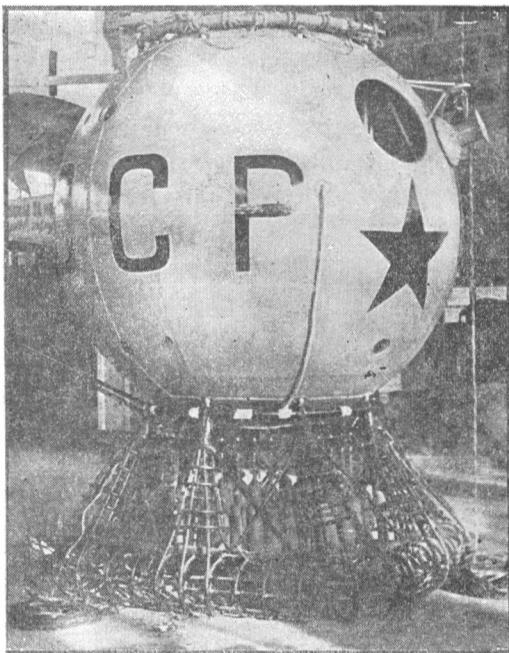
О посещаемости заседаний Конференции можно судить по следующим цифрам:

I заседание посетило 600 человек, II — 300, III — 200, IV — 200, V — 250, VI — 380, VII — 220, VIII — 270, IX — 380, X — 186, XI — 200, XII — 170.

Вся работа по подготовке и проведению Конференции проходила в атмосфере исключительного интереса к ней, который охватывал не только широкие научные и технические слои, но и всех трудящихся Союза. Большая работа по освещению Конференции была проделана столичной и провинциальной прессой. Роста и большое число московских и ленинградских газет и журналов, а также иностранная пресса командировали специальных корреспондентов на Конференцию.

Для улучшения научного содержания корреспондентских отчетов был организован секретариат Конференции, который через посредство Информационного бюро Академии Наук передавал прессе специальные коммюнике, содержавшие резюме заседаний Конференции.

Финансирование Конференции лежало на Академии Наук, Центральном управлении Единой гидрометслужбы, Главном управлении Авиационной промышленности, Главном управлении Гражданского воздушного флота и ЦАГИ, которым Оргкомитет Конференции настоящим выражает свою признательность.



Модель стратостата „СССР“ на выставке.

Работа Оргкомитета протекала в непосредственном контакте с Бюро Физико-математической ассоциации Академии Наук СССР, предоставившим Оргкомитету помещение и давшим ряд руководящих указаний, значительно облегчивших Оргкомитету успешное решение трудной организационной задачи по созыву столь сложной Конференции. Оргкомитет настоящим выражает свою благодарность Бюро Физико-математической ассоциации в лице его председателя акад. И. М. Виноградова, зам. председателя проф. П. М. Никифорова и ученого секретаря Б. И. Сегала, а также благодарит партийную организацию Академии Наук, проявившую большой интерес к этому делу и осуществля-

вшую партийное руководство подготовкой и проведением Конференции.

23 IV 1934 г. Президиум Академии Наук, заслушав доклад председателя Оргкомитета акад. С. И. Вавилова об итогах Конференции, вынес следующее постановление:

„1) Признать работу, проведенную Конференцией, в высокой степени удовлетворительной; 2) предложить АНИ издать „Труды“ Конференции в двух тиражах: а) на русском языке и б) на иностранных языках; 3) обязать Оргкомитет Конференции сдать „Труды“ в АНИ в подготовленном к печати виде не позже 20 мая с. г.; 4) считая своевременное издание „Трудов“ Конференции весьма актуальным, предложить АНИ издать „Труды“ в самом ускоренном порядке; 5) утвердить Редколлегию по изданию „Трудов“ в составе: акад. С. И. Вавилова (предс.), акад. А. Ф. Иоффе, акад. Г. А. Надсона, П. С. Дубенского, П. А. Молчанова, П. Н. Тверского, Н. Н. Калитина, Н. Н. Андреева, С. Г. Натансона, Л. С. Фреймана, А. Б. Вериги, Н. А. Рынина, Л. А. Орбели, М. А. Бонч-

Бруевича и М. С. Эйгенсона (ответственный секретарь); 6) предложить Редколлегии принять меры к возможно большему сжатию „Трудов“, однако без ущерба для научной стороны дела; 7) предложить Редколлегии произвести надлежащий отбор материалов для издания на иностранных языках; 8) считать желательным созыв в 1936 г. мирового конгресса на территории СССР и поручить ФМАС составить по этому вопросу докладную записку для представления в СНК СССР; 9) организовать постоянную комиссию по изучению стратосферы при Физическом институте; 10) просить акад. С. И. Вавилова разработать проект положения о комиссии, наметить ее состав и внести его в апрельскую сессию; 11) поручить ГАС, БАС, ФМАС и Технической группе обсудить вопрос о включении в план работ на 1935 г. проблем, связанных с изучением стратосферы“.

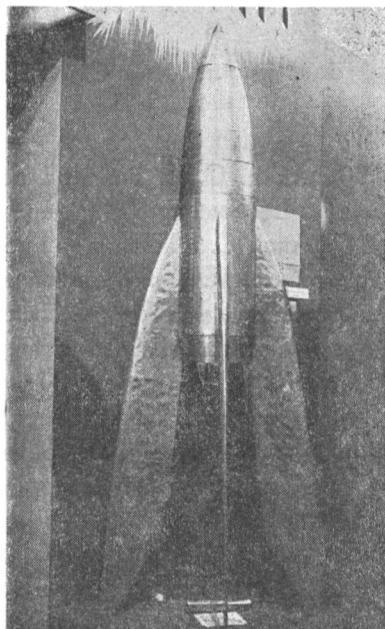
В печатаемых, согласно этому постановлению, „Трудах“ Конференции помещено 85 докладов, как сделанных на Конференции, так и слушанных только на секциях. I и XII заседания, а также прения приведены в целях экономии места сокращенно.

Оргкомитет настоящим выражает благодарность всем лицам, активная работа которых способствовала успеху Конференции.

Оргкомитет Конференции и Редколлегия ее „Трудов“ не сочли нужным и возможным искусственно сглаживать вытекающую из объективного состояния вещей некоторую неоднородность доложенного на Конференции и печатаемого в этих „Трудах“ материала. Поэтому здесь помещены также и носящие в некоторых случаях дискуссионный характер доклады.

Уже во время подготовки Конференции имел место второй советский полет в стратосферу. Блестящий подъем на рекордную высоту в 22 000 м стратостата „Осоавиахим I“, к несчастью, окончился катастрофой при спуске. П. Ф. Федосеенко и А. Б. Васенко были членами Оргкомитета Конференции и активно участвовали в ее подготовке.

Оргкомитет ВКИС посвящает памяти погибших тт. П. Ф. Федосеенко, А. Б. Васенко и И. Д. Усыскина эти „Труды I Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы“.



Модель ракеты.

## ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ

31 марта 1934 года

Акад. С. И. Вавилов от имени Организационного комитета объявляет I Всесоюзную Конференцию по изучению стратосферы открытой.

Акад. С. И. Вавилов предлагает почтить память героически погибших товарищей П. Ф. Федосеенко, А. Б. Васенко и И. Д. Усыскина вставанием и предлагает от имени Конференции послать выражение сочувствия семьям погибших героев, что единогласно принимается Конференцией.

Президиум Конференции и президиумы тематических заседаний избираются в следующем составе:

Президиум Конференции — акад. А. П. Карпинский, акад. А. А. Белопольский, акад. А. А. Борисяк, акад. С. И. Вавилов, акад. В. И. Вернадский, акад. И. М. Виноградов, акад. А. Ф. Иоффе, акад. Г. А. Надсон, акад. Д. С. Рождественский, т. Алкснис (УВВС), проф. Н. Н. Андреев (Электротехн. физ. инст.), проф. М. А. Бонч.-Бруевич (Научно-иссл. инст. связи), проф. А. Б. Вериго (Радиевый инст.), т. Вул (ФМИ), проф. Б. П. Герасимович (Пулковская обсерватория), К. Д. Годунов и В. А. Чижевский (авиац. зав.), т. Горшенин (ЦК ВЛКСМ), т. Гуркин (Лен. отд. сов. Осоавиахима), П. С. Дубенский (УВВС), проф. Н. Н. Калитин (Актинометрический инст.), А. П. Кожевников (ЦАГИ), В. С. Львов (ГГО), проф. П. А. Молчанов (ГГО), проф. Л. В. Мысовский (Радиевый институт), проф. С. Г. Натансон (Астрономическая обсерватория), проф. Л. А. Орбели (Военномедиц. академия), И. У. Павлов (инспектор ВВС Республики), Г. А. Прокофьев (команд. стратостата „СССР“), проф. Н. А. Рынин (Учебный комб. Гражд. возд. флота), проф. А. А. Саткевич (Гл. упр. Гражд. возд. флота), Б. И. Сегал (ФМАС), проф. П. Н. Тверской (ГГО), проф. Г. А. Тихов (Пулково), В. И. Шорин (ОСО), М. С. Эйгенсон (ФМИ), т. Эйдеман (ЦС ОСО), т. Опевалкин, представитель зав. Сталина (завод „Промтехника“), Е. Е. Чертовской (Инст. инж. Г. В. Ф.).

Президиумы заседаний:

1. Аэрологическая секция — П. А. Молчанов (предс.), Н. Д. Парский (зам. предс.), Т. Н. Кладо (секрет.).

2. Оптическая секция — Н. Н. Калитин (предс.), Г. А. Тихов (зам. предс.), В. В. Шаронов (секрет.).

3. Акустическая — Н. Н. Андреев (предс.), Б. Г. Позоев (зам. предс.), Л. С. Фрейман (секрет.).

4. Электрическая — П. Н. Тверской (предс.), М. А. Бонч-Бруевич (зам. предс.), Герасименко (секрет.).

5. Астрономическая — С. Г. Натансон (предс.), В. Г. Фесенков, Е. Я. Перепелкин (зам. предс.), И. С. Астапович (секрет.).

6. Техническая — П. С. Дубенский (предс.), Н. А. Рынин (зам. предс.), К. В. Кривицкий (секрет.).

7. Биологическая — Г. А. Надсон (предс.), Л. А. Орбели (зам. предс.), А. Имшенецкий (секрет.).

8. Космических лучей — А. Ф. Иоффе (предс.), Л. В. Мысовский (зам. предс.), А. Б. Вериго (секрет.).

Конференция выбирает Политбюро ЦК ВКП(б) в почетный президиум Конференции.

Затем Конференция постановляет послать приветственную телеграмму ЦК ВКП(б), тов. И. В. Сталину, а также тов. М. И. Калинину по случаю XV-летнего юбилея его работы на посту Председателя ЦИК.

Конференцию приветствуют: акад. А. П. Карпинский — от имени Академии Наук СССР, акад. А. Ф. Иоффе — от Отделения математических и естественных наук Академии Наук, И. У. Павлов — от Реввоенсовета СССР, П. С. Дубенский — от Управления военно-воздушных сил СССР и Центрального совета Осоавиахима, В. А. Чижевский — от завода им. Менжинского, В. И. Шорин — от Ленинградского облсовета Осоавиахима, П. Н. Тверской — от Главной геофизической обсерватории, А. А. Саткевич — от Главного управления Гражданского воздушного флота и Учебного комбината Гражданского воздушного флота, т. Чудновский — от Центрального совета Всесоюзного общества изобретателей.

С приветствием выступили также представители подшефной Академии Наук военной части и представитель завода „Промтехника“.

Кроме устных приветствий, Конференция получила письменные:

От Центрального Аэрогидродинамического института (Некрасов, Туполев), от Главрезины (Бишкер, Измайлов, Горбунов), от Всесоюзного Авиационного научного инженерно-технического общества (Уншлихт), от Московского планетария, от К. Э. Циолковского.

Конференция постановляет послать ответную телеграмму К. Э. Циолковскому.

Затем Конференция переходит к повестке дня.

---

## ВСТУПИТЕЛЬНАЯ РЕЧЬ

Акад. С. И. ВАВИЛОВА

По поручению Организационного комитета Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы, перед началом занятий ее пленума, я предложу вашему вниманию краткий очерк научных проблем, стоящих перед Конференцией, ее задач и истории. Позвольте начать с последнего. Необходимость и своевременность созыва конференции при Академии Наук стала ясной после интереснейших сообщений славных участников полета на стратостате „СССР“ гг. Прокофьева, Годунова и Бирнбаума, сделанных в этом же зале 31 октября 1933 г.

Полеты Пикара и советских воздухоплавателей с очевидностью доказали полную осуществимость наиболее непосредственного и наиболее эффективного способа исследования верхних слоев атмосферы — посылки целой лаборатории вместе с экспериментаторами в стратосферу. Чрезвычайно разнообразный комплекс вопросов относительно верхних слоев атмосферы, вопросов метеорологических, физических, астрономических, технических получил новый мощный и бодрящий стимул к исследованию. Осуществимость полетов в стратосферу вместе с тем чрезвычайно укрепила различные методы исследования с земной поверхности, гарантировав им возможность непосредственной проверки.

Круг наук, научных учреждений и лиц, заинтересованных в изучении верхних слоев атмосферы, настолько велик и разнообразен, и работа в этом направлении велась до сих пор так разрозненно и неорганизованно, что идея о Конференции, которая подвела бы итоги исследования стратосферы, наметила главные задачи, выработала дальнейший план и методы исследования и создала организационные формы, координирующие работу, стала неизбежной. Единственным учреждением в Союзе, которое могло и было обязано объединить для решения общей научной задачи геофизиков, астрономов, физиков, биологов и техников, явилась Академия Наук. Инициатива Академии Наук встретила полную живую поддержку в научных, технических и военных учреждениях Союза. С напряженным вниманием и интересом к Конференции отнеслись также самые широкие круги населения нашей страны. Я позволяю себе привести выдержки из письма, полученного мною от рабочего животноводческого совхоза в области Коми. Автор письма т. Голуб пишет: „Рабочие животноводческих совхозов Коми области передают братский привет участникам Конференции

по изучению стратосферы. Мы от всей глубины своих чувств рады, что наша страна под руководством всемирного вождя рабочего класса т. Сталина добилась того, когда наряду с разрешенными огромными задачами ставит сегодня на повестку дня: знать небо... Пролетариат, изучая небо, создает „рай“ на земле, подчиняя силы природы интересам человечества... Изучение неба есть и было делом не только ученых, но должно стать делом каждого пастуха, кочевника и рабочего... Мы предлагаем организовать Всесоюзное общество по изучению стратосферы, первыми членами которого войдут рабочие животноводческих совхозов Севера и лично я, для чего вношу вступительный взнос 25 рублей и прошу указать № счета, куда мне их перечислить“. Разрешите от лица Конференции поблагодарить рабочих совхоза и автора этого письма. Оно, мне кажется, ясно показывает, с какой симпатией встречаются страной даже самые отвлеченные задачи Конференции, далекие от непосредственных практических результатов, задачи, которые т. Голуб совершенно правильно определяет лозунгом — „знать небо“.

В отличие от обычного порядка работы научных конференций Организационным комитетом было решено начать фактическую работу еще за 3 месяца до официального, сегодняшнего открытия. Работа была разделена по 8 секциям, которые для краткости можно назвать секциями аэрологической, акустической, оптической, секцией электромагнитных волн, секцией космических лучей, астрономической, биологической и наиболее обширной технической, имевшей ленинградское и московское отделения; некоторым из этих секций, например, оптической, астрономической, технической, удалось провести многочисленные заседания по научным вопросам Конференции и заслушать большое число докладов. Благодаря этому на нашей Конференции явилась возможность ограничиться одними пленарными заседаниями, и, таким образом, все члены Конференции могут ознакомиться со всем комплексом вопросов, связанных с верхними слоями атмосферы. Труды секций, не вошедшие в содержание пленарных заседаний, предполагается издать в виде приложения к трудам Конференции.

Организационный комитет надеется, что благоприятное обстоятельство отсутствия параллельных секционных заседаний будет вполне использовано членами Конференции. Вместе с тем мы обращаемся с просьбой ко всем докладчикам помнить, что их аудитория состоит из представителей весьма разнообразных специальностей. Поэтому, не снижая научного уровня содержания доклада, нужно принять все меры к тому, чтобы быть понятным аудитории. Задача Конференции — не устраивать вавилонского смешения языков, а, наоборот, объединить специалистов в различных областях для общей большой задачи.

После этих общих замечаний позвольте перейти к краткому очерку научных проблем, стоящих перед Конференцией. Проблемы эти настолько разнообразны, что я, по специальности физик-оптик, разумеется не могу претендовать на полноту или полную правильность моей характеристики.

Прежде всего замечу, что мы не ограничиваем нашей работы стратосферой в полном геофизическом смысле слова, т. е. слоем с приблизительно постоянной температурой, простирающимся в среднем от высоты около 11 км до 40—50 км и граничащим со слоем верхней температурной инверсии, где температура, по крайней мере предположительно, начинает подниматься. Такое ограничение слишком условно, даже гипотетично, оно искусственно выключает ряд интереснейших вопросов, например, о полярных сияниях, верхнем ионизационном слое, светящихся облаках и т. д. Поэтому мы говорим об исследовании вообще верхних слоев атмосферы, начиная от нижней границы стратосферы.

Чем замечательны эти верхние слои? Почему они требуют особого изучения, специальных методов и такого огромного напряжения исследовательской мысли и энергии? По словам В. Бьеркнеса, „предмет физики атмосферы тот же, что и у метеорологии. По этой причине, однако, еще нельзя смешивать эти две науки. Разница состоит в том, что физика причисляется к так называемым точным наукам, в то время как метеорологию можно бы привести в качестве примера науки в высшей степени неточной. Метеорология становится точной постольку, поскольку она развивается в физику атмосферы“. Слишком оптимистические ожидания Бьеркнеса из цитированной мною речи, произнесенной в 1913 г., мало оправдались. Метеорология очень медленно преобразуется в точную физику атмосферы. Вдобавок к таким сложным, трудно учитываемым факторам, как строение земной поверхности, влияющим на аэродинамику нижних слоев атмосферы, прибавилось совершенно своеобразное влияние верхних слоев атмосферы. Исследования последних десятилетий обнаружили чрезвычайно много различных аномалий в верхних слоях. Аномально изменяется с высотой химический состав воздуха, давление и температура. Аномально электрическое состояние верхней атмосферы, в которой обнаруживается методом электромагнитных волн наличие нескольких почти дискретных ионизированных слоев. Эти особенности верхней атмосферы несомненно определяются действием солнечной радиации на вещество атмосферы. Под действием коротковолнового ультрафиолетового конца солнечного спектра, не достигающего до земной поверхности, в верхних слоях атмосферы происходят энергичные фото-химические превращения и фото-электрические процессы, образуется, например, озон в таких количествах, которые играют первостепенную роль для поверхности земли. Достаточно сказать, например, что жизнь в ее привычных для нас формах едва ли была бы возможна на земной поверхности при отсутствии слоя озона. Озон защищает землю от губительной коротковолновой ультрафиолетовой радиации Солнца, сам образуясь, однако, за счет этой радиации. В связи с этим возникает интересный биологический вопрос о микроорганизмах, населяющих верхние слои атмосферы. Если таковые там существуют, они должны существенно отличаться от форм, имеющих на поверхности земли и на ближайших к земле высотах атмосферы.

К световому потоку Солнца прибавляется его корпускулярная радиация, потоки электронов, протонов,  $\alpha$ -частиц, нейтральных атомов, может быть, положительных электронов и нейтронов. Едва ли приходится сомневаться в реальности такой радиации и ее роли в образовании полярных сияний, свечении ночного неба, в ионизационных и, может быть, химических процессах в верхних слоях атмосферы. До сих пор, однако, нет никаких количественных данных в этом отношении. Роль корпускулярной радиации Солнца остается поэтому до сих пор одной из интереснейших и наименее исследованных проблем верхних слоев атмосферы.

К солнечному световому и корпускулярному потоку добавляется космическая радиация. Природа ее до сих пор не ясна. Эти лучи поочередно приписывались потоку жестких фотонов, электронов, протонов, нейтронов и в самое последнее время положительных электронов, т. е. были перепробованы все известные возможности. Несомненно, как это явствует из прямых измерений Пикара и советских наблюдателей, интенсивность космической радиации в верхних слоях атмосферы особенно велика, и можно думать, что качественный состав радиации также существенно отличен от космической радиации, обнаруживаемой на поверхности земли. Какова роль космической радиации в ионизации атмосферы и связанных с нею различных метеорологических факторах — это также один из насущных вопросов исследования верхних слоев атмосферы.

Создать сейчас точную теорию верхних слоев атмосферы, конечно, нельзя и прежде всего потому, что нет достаточных количественных данных. Стратосферу прежде всего надо изучать эмпирически всевозможными доступными методами. Поэтому на Конференции мало теоретических докладов, и главная масса сообщений, стоящих в программе, посвящена в такой же степени методам, как и результатам изучения верхних слоев. Я не буду затруднять Ваше внимание перечислением этих методов, печатная программа Конференции красноречиво говорит об их разнообразии и характере.

Я говорил до сих пор исключительно о метеорологических задачах, стоящих перед Конференцией; несомненно, однако, что с исследованием стратосферы связаны и непосредственные интересы других наук. Я напому, что воздухоплавательная практика Пикара началась с опытов, имеющих прямой физический и, пожалуй, только физический интерес. Пикар поднялся впервые на воздушном шаре с интерферометром Майкельсона для проверки предположений Дейтона Миллера о возможном положительном результате опыта Майкельсона на большой высоте. Сейчас физиков интересуют на стратосферных высотах, разумеется, более правдоподобные вещи и, в особенности, возможности выяснения природы космических лучей. Для астронома достижение очень больших высот прежде всего интересно в том отношении, что там при помощи кварцевого спектрографа можно будет наконец фотографировать коротковолновый ультрафиолетовый конец спектра Солнца, фраунгоферовы линии которого дадут ключ

к разрешению многих загадок физики Солнца. Из глубин стратосферы, вероятно, можно будет также увидеть очень легко, при диафрагмировании солнечного диска, солнечную корону. Биолога, как я уже упоминал, интересует гипотетическая микрофлора стратосферы. Для радио-инженера и инженера-акустика особенности верхних слоев атмосферы определяют практические возможности радиосвязи и звукометрии.

Для геодезиста необычайно заманчивы возможности фотографирования громадных площадей земной поверхности со стратосферных высот при помощи инфракрасных лучей, проходящих с малым рассеянием через атмосферную дымку. Короче говоря, есть ряд проблем, не относящихся непосредственно к стратосфере, но решение которых целиком зависит от изучения или завоевания стратосферы. Такие проблемы также включены в программу нашей работы.

Наконец, последняя и практически самая важная задача, стоящая перед Конференцией, это — проблема освоения и овладения стратосферой. Об этой проблеме особо будет говорить П. С. Дубенский. Очевидно, что и эта проблема разрешима только посредством изучения стратосферы. Изучив стратосферу, хотя бы крайне несовершенно и предварительно, человечество могло поставить вопрос об ее овладении и теперь; овладевая ею, мы изучаем ее все глубже. Каждый новый полет стратостата приносит новые вести о стратосфере, и вопросы овладения неразрывно переплетены с изучением.

Что мы надеемся получить от Конференции? Очень многое. Конференция произведет критический анализ данных, имеющихся о стратосфере, она сопоставит различные методы изучения стратосферы, выяснит их относительную эффективность, точность и надежность. Конференция должна решить вопрос о том, какие наблюдения вполне осуществимы при помощи шаров-зондов и что следует оставить для наблюдений с земной поверхности. Стратостаты не должны перегружаться бесчисленными измерительными инструментами, обилие которых мешает правильному наблюдению за ними, и задача Конференции — установить тот идеальный стандарт научного оборудования стратостата, который наиболее рационально обеспечит дело изучения стратосферы. Конференции надлежит выяснить наиболее подходящие приборы для исследования стратосферы и поставить вопрос о возможно быстром их осуществлении в наших институтах или на заводах. Конференции предстоит составить план научного исследования стратосферы на ближайшие годы, координировав работу различных учреждений. Конференции нужно вынести решение о наиболее рациональных конструкциях стратостатов, о перспективах стратопланирования и ракетных полетах. Печатные труды Конференции должны послужить основным пособием при исследовательской работе в области стратосферы. Надо надеяться также, что Конференция послужит залогом к созданию постоянной научной организации, объединяющей все огромное дело изучения стратосферы.

# ПРОБЛЕМЫ АЭРОЛОГИИ



П. С. ДУБЕНСКИЙ

## МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ СТРАТОСФЕРЫ

В настоящее время нам очень немного известно о свойствах стратосферы, т. е. того слоя воздуха, который расположен у полюса на высоте 9 км, у экватора — до 18 км, над Москвой — 12—13 км; летом этот слой выше и зимой ниже, примерно, на километр.

Затем знаем, что начало стратосферы отмечается прекращением понижения температуры с высотой; известны некоторые температурные свойства стратосферы и т. д.

Трудности достижения стратосферы возникают вследствие понижения барометрического давления воздуха, которое с возрастанием высоты в арифметической прогрессии понижается в геометрической прогрессии.

При давлении у земли в 760 мм на высоте 30 км мы имеем давление — 9.3 и т. д.

В стратосфере весьма мала абсолютная влажность, отсутствует облачность, газовый состав отличен от состава нижних слоев, возрастает солнечная радиация, усиливается радиация ультрафиолетовой части спектра Солнца, увеличивается в сотню раз интенсивность действия космических лучей, о природе которых мы знаем очень мало, но и то, что знаем — их интенсивная проникающая способность — дает основание ожидать от результатов изучения природы этих лучей больших успехов науки.

Необходимость изучения стратосферы неразрывно связана, помимо общего научного значения, с вопросами летания.

Помимо исключительного значения летания в стратосфере с военной точки зрения (недостигаемость земными орудиями, возможность совершения полетов без опасения быть обнаруженными наблюдениями с земли), летание в стратосфере имеет большой технический и экономический смысл.

Современные самолеты, с точки зрения примененного для их летания аэродинамического принципа, все же являются крайне несовершенными аппаратами.

Если не принимать во внимание скорость полета, то, с точки зрения расхода энергии на передвижение в воздухе, самолеты являются в пять раз менее экономичными, чем автомобиль, и в 100 раз менее экономичными, чем аппараты передвижения по воде.

Принципиальная сущность несовершенства современных летательных аппаратов заключается в том, что, вне зависимости от скорости полета, мы вынуждены расходовать строго определенную энергию на поддержание аппарата тяжелее воздуха в воздухе, на висение в воздухе, если не использовать восходящих токов и течений ветра, что мы еще не умеем делать на аппаратах, на которых мы хотим летать в нами избранном направлении, а не плавать, как это делается на планере.

Поэтому, чтобы сделать полет максимально экономичным, мы должны добиваться, чтобы в единицу времени нахождения самолета в воздухе он покрывал максимально большое расстояние, т. е. драться за скорость полета и, конечно, за уменьшение веса конструкции самолета.

Это обстоятельство вынуждает нас искать среду, в которой сопротивление полету меньше, а такой средой являются высокие слои атмосферы — слои стратосферы. Это обстоятельство, кроме задач исследования новых принципов летания, ставит перед нами задачу летать выше, летать с большой скоростью.

Вторым фактором, определяющим значение изучения стратосферы для полета, являются метеорологические условия полета, распадающиеся на две группы.

Надо изучить ветры, направление их и скорость в верхних слоях, в тех слоях, где они постоянны, не зависят от вертикальных течений и могут быть использованы для содействия полету и куда можно укрыться от земных бурь. Такими слоями атмосферы является стратосфера.

Кроме того, изучение состояния и свойств стратосферы несомненно облегчит решение вопросов службы погоды.

Поэтому метеорологические и аэродинамические вопросы в исследовании стратосферы должны занять одно из самых первых мест.

Невозможно представить правильное развитие средств летания без обеспечения точного изучения той среды и тех условий, в которых должно производиться летание.

Вместе с тем некоторые явления, наблюдаемые на земле в крайне слабо выраженном состоянии, имеют в стратосфере в несколько раз, даже в сотни раз (интенсивность действия космических лучей) более заметное выражение.

Поэтому, кроме того что, изучив космические явления в стратосфере, мы можем более легко уже исследовать ряд явлений и связь между ними у земли, мы можем также ожидать перспектив использования некоторых явлений стратосферы для службы человеку, а для этого в первую очередь мы должны войти в стратосферу.

В частности, особые химические свойства радиации ультрафиолетовой части солнечного спектра должны стать предметом очень глубокого изучения.

Изучение всего комплекса вопросов возможно лишь при условии, когда полет в стратосферу на стратостате будет обычным явлением, т. е. когда

стратосфера в ее основных чертах будет освоена рядом систематических полетов и проникновением в нее приборами специального научного значения.

Успех освоения стратосферы является делом, свидетельствующим о высоте нашей науки и техники, о тех достижениях, которые возможны в наших социалистических условиях, является, таким образом, делом большого политического значения как документ успеха социалистического строительства.

Вместе с тем изучение стратосферы сопряжено с исключительной ответственностью за жизнь тех исследователей, которые своей беззаветной решимостью прокладывают новые пути к новым достижениям науки и техники, прогрессу творчества человека, творческие способности которого освобождены от гнета капиталистической системы и направлены на осуществление коммунистического общества во всем мире.

Наши возможности изучения стратосферы следует разделить грубо на две части: изучение стратосферы посредством наблюдения с земли различных явлений, косвенно свидетельствующих о строении и свойствах стратосферы: северные сияния, светящиеся облака, метеоритные, акустические, электрические явления и т. п. Эти методы освоения стратосферы очень далеки от практики работы в сфере вопросов воздушного флота; однако, следует выразить сожаление о том, что они остались далекими.

Теперь, когда мы становимся перед необходимостью сделать полет современного самолета скорым, надежным и экономичным, все условия обеспечения этих достижений вынуждают нас вникать в область изучения стратосферы, и мы должны наверстать то, что нами не сделано в обеспечение успеха наблюдения и освоения стратосферы этими косвенными методами.

В этом поможет Всесоюзная конференция по изучению стратосферы при Академии Наук.

Непосредственное соприкосновение со стратосферой своими измерительными приборами до сих пор мы могли производить главным образом только с помощью шаров-зондов.

Этот опыт существует уже десятки лет, и с помощью этого средства удалось зарегистрировать температуру, влажность, плотность, даже взять пробы воздуха с некоторых высот.

Аэролог В. В. Кузнецов начал запускать шары-зонды с подвешенными примитивными автоматическими приборами лет 30 тому назад, и затем, с разной степенью интенсивности, это дело продолжалось у нас и за границей, и с помощью шаров-зондов удалось достигнуть высот до 30 км.

В дальнейшем, мне кажется, впервые проф. П. А. Молчанов стал получать непосредственные сообщения с автоматического прибора по радио на землю.

К сожалению, этот прекрасный метод не получил должного развития, и по современному его состоянию этот способ следует признать еще весьма несовершенным, но все же таким, над развитием которого следует

упорно, интенсивно работать широким фронтом с полной уверенностью на блестящий успех.

Существенным является и то, что, несмотря на очень сложную аппаратуру прибора — зонда и, следовательно, дороговизну его, все же, при хорошем действии прибора, во многих случаях этот способ будет несравненно более целесообразным, чем полет человека, особенно в неблагоприятных для полета метеорологических условиях.

Все зависит от того, как совершенно будет разрешен вопрос снятия показаний с прибора раньше, чем он упадет на землю.

Весьма большие перспективы обещает применение ракет реактивного действия.

Мне кажется, что нет технических препятствий к тому, чтобы построить ракету, способную занести прибор в значительно более высокие слои, чем это может сделать шар-зонд.

Неудобство этого способа в том, что скорость полета вверх так высока, что приборы несомненно будут отставать в показаниях, и снять запись можно лишь на автомате-самописце.

Однако это обстоятельство можно обойти, спуская прибор обратно на парашюте и используя время падения, хотя и в этом случае прибор пройдет наиболее интересные высоты в очень короткое время, вследствие малого сопротивления среды.

Очевидно, будущее за реактивной ракетой такого устройства, которая обратно спускается при тормозящем действии реактивно-ротативного порядка или направлении реактивных потоков под некоторым углом к поддерживающим плоскостям прибора.

Трудно оградить приборы от действия продуктов горения, тепла, выделяемых в процессе действия реактивного двигателя или приспособлений, поднимающих приборы, но при упорной работе над техникой этого дела вредные действия в значительной мере возможно ослабить и в некоторой части устранить вовсе.

Во всяком случае, область построения аппаратов-автоматов для зондирования стратосферы — большая и первоочередная проблема, имеющая огромное значение, особенно для исследования верхних слоев в условиях разных возмущений в тропосфере, полеты в которых человеку невозможны.

Следующая часть работы для обеспечения этого способа исследования — осуществление таких аппаратов, которые способны безотказно реагировать и передавать эти показания по радио.

Однако, несмотря на весьма большие возможности освоения стратосферы с помощью автоматов, мы можем категорически утверждать, что обойтись без непосредственного подъема человека в стратосферу совершенно невозможно.

Многие явления для понимания их природы потребуют для их тщательного изучения тонких, сложных приборов и аппаратов, обычно чутких к сотрясениям и сложных для чтения их показаний.

Несомненно будет большое число случаев, когда полет (скорость, время пребывания на определенной высоте) необходимо будет регулировать, в зависимости от хода наблюдений и наблюдаемых явлений.

Многие явления принять на приборы мы еще не сумели, и нет еще указаний, когда и как этот вопрос будет решен, например: окраску, характер освещения и ряд других явлений, наблюдаемых визуально, слухом и т. п.

Наконец, как мы уже говорили выше, человек должен освоить стратосферу именно для того, чтобы он мог там передвигаться.

Поэтому, способу подъема человека в стратосферу и безопасности его пребывания там мы вынуждены уделить особое внимание, особо тщательно изучить этот крайне дорого стоящий и ответственный путь.

В этой части мы имеем в своем распоряжении пока одно средство достижения стратосферы — стратостат.

Без особого труда, вероятно, можно подсчитать, что предел высоты, которого может достигнуть стратостат, при условии максимально возможного уменьшения веса  $1 \text{ м}^3$  материи оболочки (при том, что нам известно лежит где-то около 30 км.

Этой высоты вполне достаточно, и она даже не является необходимой, так как практически наиболее подходящей зоной полета будет высота тотчас после тропосферы, т. е. в нижних слоях стратосферы.

В целях всестороннего изучения этой практически необходимой для освоения зоны, конечно, необходимо производить исследования в слое, ограниченном поверхностями на 2—3 км выше и ниже этой зоны, но чтобы освоить структуру стратосферы и изучить ее тенденции с высотой, мы вынуждены залезать максимально выше.

Но это не самоцель. Сущность — в создании таких условий для летящего в стратосфере человека, чтобы он мог спокойно наблюдать, не опасаясь несчастного случая, и быть уверенным, что безопасный спуск обеспечен.

В работе над стратостатом прежде всего следует ждать успеха от облегчения, без потери прочности, материи оболочки, уменьшения веса gondoly, аппаратуры, такелажа, так как всякий килограмм этой части и системы умножается при учете его при проектировании всей системы и снижает предел потолка стратостата, о котором было сказано выше.

Вторая сторона того же вопроса — безопасность полета.

Помимо изыскания рациональной конструкции всей системы и ее деталей, необходимо изыскать и другие вспомогательные средства гарантий безопасности полета.

Наиболее опасные случаи катастрофических аварий — потеря герметичности gondoly, обрыв такелажа, разрыв оболочки и большие вертикальные скорости снижения, вследствие утери газа или вертикальных течений воздуха.

Все эти случаи вызывают следующие предложения.

Чаще всего, на случай катастрофической скорости падения, предлагается парашют для гондолы. Этот способ, хотя и заслуживает изучения, но не обещает, однако, хороших перспектив, так как вес такого парашюта будет не меньше 60% веса оболочки, размер которой, как и парашюта, определяется весом гондолы.

Очевидно, что особых надежд на этот способ возлагать нет оснований.

Затем предлагают автоматически раскрывающуюся (на две части или как лепестки цветка) гондолу, чтобы облегчить возможность экипажу воспользоваться индивидуальным парашютом.

Вопрос о легкости открывания и герметичности гондолы (без значительного увеличения ее веса) до сих пор конструктивно не разрешен.

Работать над этим безусловно следует, так как удовлетворительное решение, при использовании легких сплавов, опыта устройства люков современных гондол и стойких замазок, очевидно, может быть найдено.

Часто также предлагают амортизационные приспособления для смягчения удара.

Без труда можно подсчитать, что при опасных скоростях, вследствие приведенных выше случаев, при применении амортизаторов может быть два исхода: разрушение организма экипажа, вследствие большого отрицательного ускорения в результате энергичного торможения, или достаточно сильный удар гондолы о землю с последствиями в виде разрушения организма.

Очевидно следует ожидать успеха от приспособлений, рассчитанных не на случай полного падения, а на случай надобности уменьшить скорость падения в дополнение к действию подъемной силы оболочки: автоторирующий винт, дополнительные лопасти в виде крыльев гондолы. В этой части есть некоторые весьма интересные предположения.

Следует признать исключительно интересным предложения нескольких авторов о замене гондолы планером с герметической кабиной. Это предложение имеет большое будущее по ряду причин, и поэтому над этим предложением совершенно необходимо усиленно работать.

Вторая часть вопроса, не менее важная — обеспечение условий жизни экипажа в герметической гондоле, а именно: приборы снабжения кислородом, поглотители углекислоты и влаги.

Используется для этих целей облегченная аппаратура, применяющаяся в подводных лодках. Это решение надо считать недостаточно удовлетворительным, и над усовершенствованием этого решения следует сосредоточить усилия лучших сил Союза.

Обширную и сложную работу необходимо провести в целях осуществления аппаратуры наблюдения аэронавигационного порядка: точные альтиметры, показатели вертикальной скорости, температуры газа в оболочке и т. п., так как без наличия этих приборов полет делается недостаточно управляемым. Кроме того, необходимо особо разрешить проблему

объективного и точного определения высоты и места нахождения стратостата в полете.

Вслед за развитием способов освоения стратосферы с помощью стратостата возникает целый комплекс вопросов освоения стратосферы на аппарате тяжелее воздуха.

В этой группе вопросов мы имеем документальные факты достижения высот свыше 13 км и скорости свыше 750 км. Это уже есть начало фактического освоения стратосферы.

Необходимость срочно форсировать достижение стратосферы на стратоплане подводит нас к ряду проблем: а) к изучению проблем аэродинамики околосвуковых скоростей и малых давлений и б) к проблеме наддува мотора, редуктора и винта с переменным шагом.

Эти вопросы требуют ряда мероприятий для своего более быстрого, чем до сих пор, развития: постройки труб больших скоростей, опытов по изысканию материалов, стойких против действия низких температур и солнечной радиации, изучения действия комплекса в стратосфере, работы магнето и др. систем.

Особо становится вопрос об отводе тепла („охлаждение“), являющегося результатом работы мотора. Этот вопрос угрожает большой сложностью, вследствие плохой теплопередачи среды стратосферы.

К сожалению, на Конференции мы сумеем говорить лишь о постановке этой исследовательской задачи.

Большие перспективы обещает развитие паровых и газовых турбин. Применение турбин даже с замкнутым циклом (без выхлопа в воздух) уже дает большое преимущество потому, что они работают с одинаковым коэффициентом полезного действия на оборотах от 12 до 18 тысяч в минуту, что дает возможность избежать применения винта с переменным шагом.

Область исследования вопросов, связанных с исследованием турбин применительно к полетам в стратосферу на аппарате тяжелее воздуха — область обширных перспектив, которая все же еще занимала очень мало места в умах наших физиков и теоретиков-механиков.

В частности, разрешение вопроса о питании турбины на высоте открывает гораздо большие перспективы, чем разрешение вопроса о питании поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Крайне интересны перспективы применения для летания в стратосфере реактивных источников движения; однако в настоящее время, очевидно, самый близкий ответ следует искать в применении реактивно-роторных двигателей.

Более подробное суждение о технической сущности этого вопроса уже приводит к таким вопросам, освещение которых возможно лишь в пределах специального совещания.

В продолжение многих лет, однако, проникновение в стратосферу неразрывно и совершенно правильно связывалось с исследованием реактивных аппаратов.

В этой области следует широко развернуть работу.

Особого внимания заслуживает исследование вопроса о стратодирижабле. Первые выводы из рассмотрения этой системы летательного аппарата дали выводы неудовлетворительные, но это ни в коем случае не следует рассматривать как основание к прекращению работы: есть основания ожидать, что более тщательное исследование всех сторон этого дела является задачей вполне современной и необходимой. Для разрешения этого вопроса следует собрать лучших специалистов дирижаблестроения.

В заключение следует заметить, что изучение стратосферы лишь в последний год поднято на должную высоту.

К Конференции, которая созвана Академией Наук, техникой предъявляются весьма высокие требования, которые выполнить в процессе работ самой Конференции невозможно.

Очевидно, опираясь на итоги работ Конференции, необходимо создать условия для дальнейшей плодотворной работы в области научного исследования стратосферы и методов ее практического освоения.

На базе успешного завершения первой пятилетки и новейших открытий, непрерывно растущей на этой базе нашей научной и технической мощи, под руководством нашей Партии, мы через непродолжительное время сумеем подвести итоги уже практического использования результатов работы над освоением стратосферы.

---

П. А. МОЛЧАНОВ

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРОЕНИИ СТРАТОСФЕРЫ

Начало исследований атмосферы относится к тем временам, когда начались первые подъемы человека в воздух; исследования же стратосферы начались значительно позже.

Можно было бы считать начало исследования стратосферы со времени ее открытия, т. е. с 1902 г., но в действительности эти исследования надо отнести к значительно более раннему времени. С некоторым приближением можно считать начало этих исследований со времени работ Глейшера, поднимавшегося до значительных высот: повидимому до высот 9—10 км, приближавшихся уже к слоям, близким к стратосфере. К сожалению, несмотря на то, что Глейшер был директором астрономической обсерватории в Гриниче, несмотря на точность методов, которые он должен был бы применять в своих исследованиях, им были допущены некоторые серьезные ошибки. В дальнейшем результаты этих работ подверглись чрезвычайно серьезной и основательной критике со стороны немецких метеорологов.

Основная ошибка исследований Глейшера заключается в том, что его термометрические установки находились на небольших столиках, помещенных в кабинке, в корзинке аэростата. При нагревании солнцем поверхность столика нагревалась и создавала конвекционные токи, нагревавшие термометры.

Надо сказать, что и сам Глейшер и анализировавший эти исследования Д. И. Менделеев пришли к заключению, что на высоте мы должны иметь постепенное уменьшение градиента температуры. Правда, их представления об этих верхних слоях замедленного падения температуры отличаются от представлений, которыми мы пользуемся для характеристики стратосферы. Тем не менее Д. И. Менделеев говорил определенно о том, что в верхних слоях мы имеем температуры, близкие к  $-35^{\circ}$ . Если ввести поправку на ту ошибку, которую допускал Глейшер, равную, как показал Ассман,  $15-18^{\circ}$ , то мы получим почти совершенно точную среднюю температуру, которую мы имеем в настоящее время для стратосферы, т. е.  $-50-55^{\circ}$ .

Д. И. Менделеев не ограничивался только теоретическим рассмотрением вопроса. Вся его деятельность в области исследования атмосферы

была направлена к тому, чтобы организовать эти исследования для рассмотрения возможно больших высот. На средства Д. И. Менделеева была издана книга Мона „Метеорология или учение о погоде“, причем целью издания этой книги было найти средства для пропаганды аэрологических исследований.

Д. И. Менделеев говорит, что „все процессы, определяющие погоду, находятся в верхних слоях, там лаборатория погоды, там образуются облака, там они движутся и там редко помещаются измерительные приборы“.

Он сделал весьма много для пропаганды этих исследований. Следует отметить, что он, повидимому, первый предложил ввести автоматические регистрации показаний различного рода метеорологических элементов и первый внес предложение построить аппарат, аналогичный нашему стратостату, предлагая построить герметическую гондолу из упругого материала, которая, при избытке давления внутри, могла бы сохранять свою форму и давать возможность наблюдателю работать в гондоле совершенно свободно.<sup>1</sup>

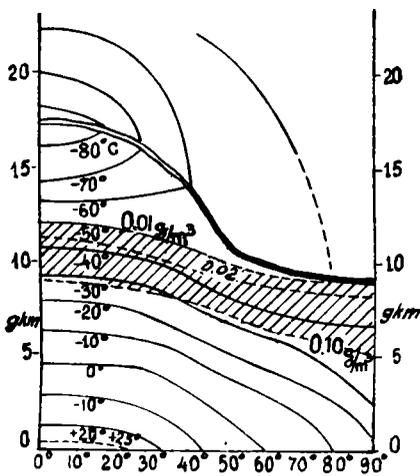
Нужно сказать, что основной метод исследования стратосферы — метод шаров-зондов — был предложен еще в 1893 г. и практически применен в широком масштабе Тейссераном де Бором во Франции. В Германии эти исследования еще в конце XIX в. дали ряд кривых, имеющих чрезвычайно типичные особенности распределения температуры, характерные для стратосферы. Тем не менее критика результатов работы Глейшера повела к тому, что все эти данные не считались достоверными.

Многочисленные зондировки в различных частях земного шара дали в настоящее время полную картину высоты стратосферы. На фиг. 1 приведена схема этого распределения по широтам, по Раманатану (K. R. Ramanathan, Nature, 125, № 3109, S. 834). В настоящее время эта схема требует некоторых исправлений в той части, которая относится к полярным областям. Благодаря данным радио-зондовых подъемов (полет „Цепелина“ в 1931 г., наблюдения на земле Франца-Иосифа в 1933 г.) мы можем предполагать, что высота стратосферы в полярных районах опускается в средних годовых не ниже 10 км и только в зимнее время достигает 8—9 км. Ход температур с высотой приведен по Раманатану на фиг. 2, и там можно видеть, что на экваторе, где высота стратосферы наибольшая и где достигаются наиболее низкие температуры (до  $-90^{\circ}$ ), ход температуры в слое стратосферы характеризуется резким повышением температуры с высотой. В районах, более удаленных от экватора, возрастание температуры с высотой оказывается менее заметным. Однако данные радио-зондовых подъемов в полярных районах заставляют признать, что и здесь в стратосфере происходит довольно резко выраженное повышение температуры с высотой, как это видно на фиг. 3, дающей распределение температуры по радио-зондам, выпущенным автором с „Цепелина“ в 1931 г.

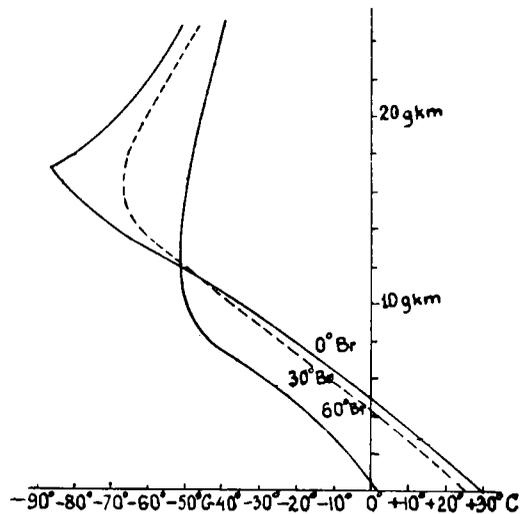
<sup>1</sup> Журнал Русского Хим. общ., т. VII, вып. 8, стр. 264.

На фиг. 4 приведена схема распределения температур в зимнее и летнее время, предложенная в последнее время (январь 1934 г.) Пальменом. Особенности этой схемы, полученной Пальменом на основании данных зондировок в Абиско (сев. Швеция,  $68^{\circ}21'$ ) и по данным подъемов радио-зондов автора с „Цепелина“, имеет следующие особенности.

В летнее время температуры в стратосфере резко повышаются по мере перехода на север. В то время как над экватором, на высоте 17 км, мы имеем температуры, близкие к  $-80^{\circ}$ , над полярными районами, на той же высоте, температуры приближаются к  $-35^{\circ}$ . Самый ход температуры



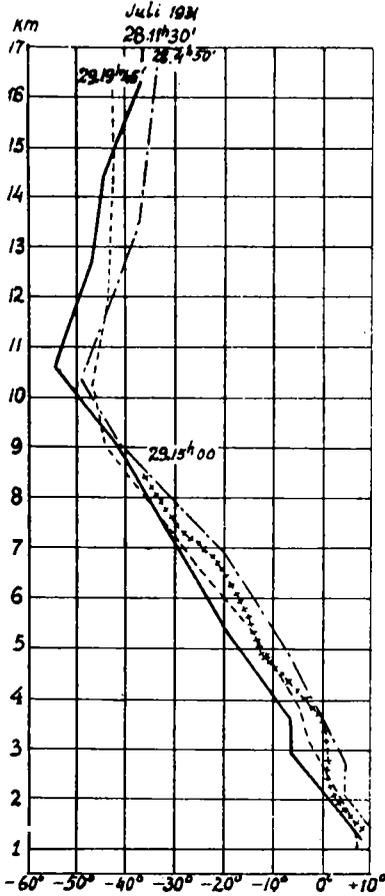
Фиг. 1.



Фиг. 2.

в полярных районах хорошо характеризуется данными подъемов радио зондов с „Цепелина“, очень близко совпавшими с данными подъемов простых зондов в Абиско. В зимнее время картина распределения температуры в стратосфере над различными широтами отличается от летней в том отношении, что горизонтальный градиент температуры, в летнее время имеющий очень большое значение и направленный к экватору, в зимнее оказывается значительно меньше, так как температуры в стратосфере и над полюсами оказываются очень низкими. По мнению Пальмена можно даже говорить о том, что в самых северных широтах (севернее  $55^{\circ}$ ) в стратосфере, так же, как и в тропосфере, градиент температуры по горизонтали направлен на север. На фиг. 5 приведены данные предварительной обработки подъемов радио-зондов над землей Франца-Иосифа. К сожалению, плохие качества оболочек лишили нас высоких подъемов. Однако кривые распределения температуры до 9 км дают уже наглядную картину того, что в течение полярной ночи (сплошная кривая) мы имеем резко выраженный слой тропосферы с очень низкими температурами в верхних слоях. Каковы температуры в самой стратосфере, судить можно

только по подъемам в Абиско. Мы надеемся, что уже в ближайшем году нам удастся организовать высокий зондаж в течение полярной ночи и над Землей Франца-Иосифа. Во всяком случае несомненно, что разность температур в стратосфере над экватором и полюсом в зимнее время значительно меньше, чем в летнее.



Фиг. 3.

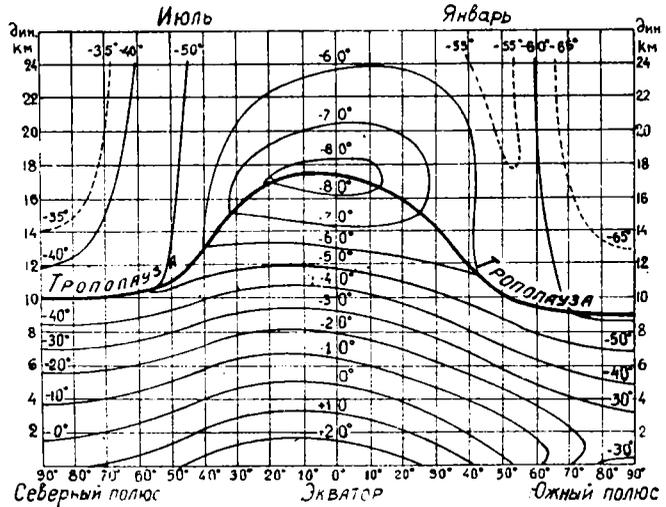
слоях тропосферы должен находиться слой с повышенной степенью излучения, под влиянием которого создается резкая граница между слоем тропосферы и стратосферы. Для выяснения всех особенностей данного процесса Альбрехт подробно рассмотрел влияние температуры и давления на распределение спектральных линий водяных паров. Используя для этой цели теоретический и фактический материал, Альбрехт приходит к заключению, что с понижением температуры наиболее интенсивные линии поглощения перемещаются к длинным волнам. У самой земной поверхности спектр поглощения оказывается почти сплошным, что и определяет указанный выше факт малого значения нижнего слоя, так как вся излучаемая им энергия почти полностью поглощается нижними слоями. Рассматривая детально

Сравнительное постоянство температуры с высотой в стратосфере наводит естественно на мысль, что здесь мы имеем дело с так называемым лучистым равновесием, при котором каждая воздушная частичка излучает за данный промежуток времени такое же количество энергии, как и получает. Теории лучистого равновесия развивались Гемфри, Эмденом, Гольдом и Хергезеллем. В последнее время этим вопросом занимались Мюгге, Симпсон и Альбрехт.

Согласно воззрениям Мюгге и Симпсона, баланс лучистой энергии необходимо рассматривать не для одного коэффициента поглощения, свойственного так называемому „серому“ излучению, а для различных частей спектра.

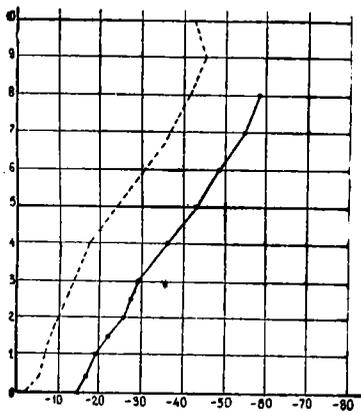
Они приняли для упрощения вопроса деление спектра на три части: с большим, средним и малым коэффициентом поглощения. Альбрехт развил теорию лучистого равновесия, рассматривая отдельные части спектра водяного пара. Он пришел к заключению, что тепловое изучение нижних слоев атмосферы, так же, как и земной поверхности, имеет очень малое значение для состояния стратосферы и что в верхних

спектры поглощения водяных паров на различных высотах, Альбрехт приходит к заключению о наличии в атмосфере трех основных слоев излучения. В самом нижнем слое у земной поверхности приход тепла больше потери, что вызывает соответствующее повышение температуры, регулируемое процессом конвективного перемешивания. Второй слой находится на высоте от 5 до 11 км и характеризуется преобладанием потери лучистой энергии сравнительно с получением той же энергии. Таким образом, в то время как в нижнем слое мы имеем тенденцию к повышению температуры,



Фиг. 4.

в указанном слое мы имеем понижение температуры. Окончательное состояние этих слоев, так же, как промежуточных между ними, определяется развивающимся процессом конвективного перемешивания. Иными словами, оба эти слоя определяют состояние тропосферы. Наконец, самый



Фиг. 5.

верхний слой — стратосфера — характеризуется равенством поступления и ухода лучистой энергии. В связи с тем обстоятельством, что высота среднего слоя неодинакова над различными широтами, Альбрехт получает возможность при помощи своей теории объяснить факт неодинаковой высоты стратосферы. Более низкие температуры над экватором объясняются, по мнению Мюгге, тем, что в районе экватора мы имеем увеличенные значения влажности. При повышенной же влажности слой, охлаждающийся излучением, повышается, и само охлаждение, вследствие потери тепла лучеиспусканием, увеличивается.

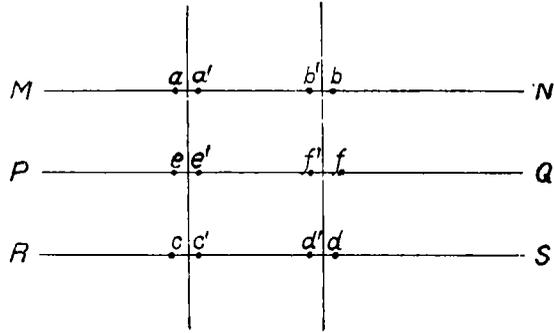
Особый интерес в теории Альбрехта представляет слой охлаждающихся воздушных масс, в котором понижение температуры в тропосфере связано с излучением тепла слоем атмосферы, в котором содержание водяного пара составляет величину, промежуточную между 0.015 и 0.15 мм.

На фиг. 1 высота этого слоя показана в виде заштрихованной полосы. Понижение температуры этого слоя, по мнению Альбрехта, и ведет к общему понижению температуры в тропосфере по мере поднятия. Приведенное объяснение не может быть, однако, полностью принято. Действительно, уже сам Альбрехт отмечает несоответствие своих рассуждений с тем явлением, что рассматриваемый им слой находится в непосредственной близости к стратосфере только над широтами, большими  $50^\circ$ . С другой стороны, эта теория не может объяснить значительных понижений температуры над экватором. Повидимому, теория Альбрехта может служить только для объяснения того увеличенного понижения температуры, сказывающегося на увеличении вертикальных градиентов температуры, которые наблюдаются в верхних слоях тропосферы и не может быть объяснено другими соображениями. Как видно из хода кривых на фиг. 2, вертикальные градиенты в верхних слоях тропосферы оказываются несколько увеличенными. Иногда в этих слоях наблюдаются даже сверхадиабатические градиенты (большие  $1^\circ$  на 100 м), наблюдающиеся обычно только у самой земной поверхности. Происхождение понижения температуры тропосферы можно связать с эффектами действия солнечной инсоляции на воздушные частички. В старых курсах метеорологии принималось, что для нарушения равновесия воздушной частички необходимо, чтобы падение температуры с высотой достигло величины  $3.5^\circ$  на 100 м, при каковом плотность воздуха с высотой будет возрастать. Впервые наш безвременно скончавшийся ученый А. А. Фридман опроверг эту нелепую теорию. Явление нарушения равновесия воздушных масс должно быть приписано исключительно неравномерному распределению плотности в горизонтальном слое. При этом, в развитие обычной формулировки закона Архимеда, мы должны указать,<sup>1</sup> что возникновение неравномерного распределения плотности будет связано не только с возникновением вертикальных движений, но и определенной системы горизонтальных движений. Рассмотрим частичку воздуха  $abcd$  (фиг. 6), плотность которой, вследствие тех или иных причин (нагревания, присутствия водяных паров и пр.), оказалась меньшей, чем в окружающем ее по горизонтали слое.

Проведем три горизонтальных поверхности  $MN$ ,  $PQ$  и  $RS$ . Допустим, что в слое  $PQ$  мы имеем по всему слою одинаковое давление и, следовательно, равновесие. Нетрудно видеть, что при этом допущении давление в точках  $c_1$  и  $d_1$  окажется меньшим, чем в точках  $c$ ,  $d$ , так как нарастание давления вниз в менее плотной среде должно происходить на меньшую величину, чем в более плотной среде. Обратное, давления в точках  $a_1$  и  $b_1$  окажутся большими, чем в  $a$  и  $b$ , так как убывание давления с высотой в менее плотной среде будет происходить медленнее, чем в более плотной. Соответственно этому, помимо вертикального движения частички, возникающего согласно обычной формулировке закона Архи-

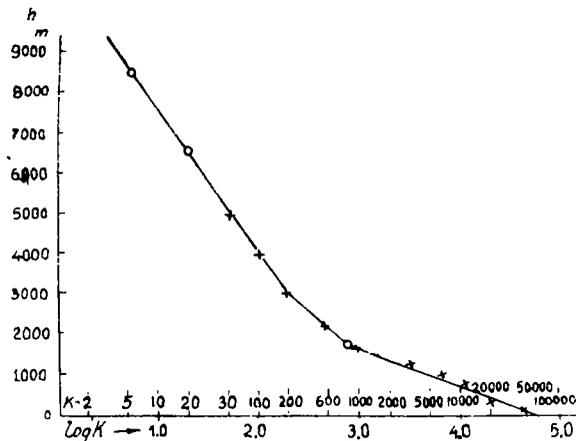
<sup>1</sup> См. П. Молчанов. Краткий курс аэрологии, стр. 99.

меда, мы получим систему горизонтальных движений, а именно приток воздуха в нижней части частички и отток в верхней ее части. Таким образом, возникновение неравномерного распределения плотности вызывает сложную систему перемешивания частички с окружающими массами. Вертикальная составляющая этих движений будет связана с адиабатическим понижением температуры. В результате возникновения во всем слое тропосферы бесчисленного количества ядер с уменьшенным значением плотности мы получим и явление понижения температуры с высотой по всему слою, где возможно возникновение таких ядер.



Фиг. 6.

Каковы же причины, могущие вызывать такие ядра не только у земной поверхности, где существование их бесспорно вследствие явно неравномерного нагревания земной поверхности солнечными лучами, но и в свободной атмосфере? Как известно, для возникновения пониженной плотности воздуха необходимо, чтобы частичка или имела повышенную температуру или повышенное содержание водяных паров сравнительно с окружающими частичками. Само собой разумеется, возможность возникновения неравномерного распределения давления для небольших частичек должна быть отброшена. Возникновение же неравномерного распределения температуры мо-



Фиг. 7.

жет быть объяснено следующим образом. Согласно обстоятельным исследованиям Виганда, Линке и ряда других немецких аэрологов, в тропосфере мы имеем значительное количество пылинок, наблюдаемых до самых верхних слоев тропосферы. Правда, количество пылинок с высотой быстро падает. На фиг. 7 приведен график изменения количества ядер конденсации с высотой по измерениям Виганда. По оси абсцисс отложены логарифмы числа ядер конденсации, по оси ординат — высоты. Из фиг. 7 видно, что выше 3000 м кривая логарифма числа ядер конденсации представляет прямую линию, что соответствует логарифмическому закону убывания

плотности и давления воздуха с высотой. Эффект присутствия пылинок в атмосферном воздухе должен быть не только в образовании элементов облаков, но также и в возникновении неравномерного распределения температуры. Действительно, совершенно очевидно, что каждая из пылинок поглощает тепловую энергию солнечных лучей значительно больше, чем окружающий воздух. Нагреваясь вследствие этого выше, чем окружающие ее воздушные частички, такая пылинка будет служить микроскопическим очагом нагревания окружающего воздуха. Наоборот, при отсутствии притока солнечных лучей, каждая пылинка, вследствие интенсивного излучения, получит температуру более низкую, чем окружающий воздух, и будет служить очагом охлаждения. В том и другом случае эффект присутствия такой пылинки будет состоять в образовании частичек воздуха, нагретых или охлажденных сравнительно с окружающим воздухом. Интенсивность этого процесса, разумеется, возрастает с увеличением интенсивности солнечного нагревания, т. е. с высотой и по мере приближения к экватору. С высотой увеличение интенсивности процесса компенсируется быстрым убыванием количества ядер конденсации. По мере приближения к экватору, возрастание интенсивности процесса сказывается в том, что он развивается и дает эффекты перемешивания и понижения с высотой температуры до больших высот, чем в средних широтах. Из сказанного выше видно, что процесс перемешивания должен происходить не только в периоды притока тепла от солнечной радиации, но и в периоды потери тепла излучением. Естественно, однако, что второй процесс будет всегда значительно более слабым. Поэтому для объяснения того, что тропосфера имеет значительную (в 7—8 км) высоту даже в полярную ночь, необходимо учесть мощный фактор горизонтальной циркуляции, характерный, как мы увидим далее, для слоя тропосферы и создающий непрерывный процесс перемешивания воздушных масс по меридианам. Соответственно этому режим тропосферы в полярных странах, составляющих не более 10% от поверхности земного шара, должен находиться под весьма значительным влиянием режима тропосферы в остальных районах земного шара. В результате этого следует считать, что распределение высоты стратосферы в различных широтах, представленное на фиг. 1, дает картину, сглаженную сравнительно с тем, что мы должны были бы иметь при отсутствии или малой мощности горизонтальной циркуляции планетарного масштаба.

Внешняя картина распределения температуры в слое стратосферы бывает различной. Шмайсс (Schmauss. Münchener Aerologische Studien, № 1. Bayer. Meteor. Jahrb., 1912) различает следующие 4 типа такого распределения. Нормальный тип характеризуется сменой падения температуры в тропосфере, более или менее изотермическим слоем в стратосфере, температура которого до значительных высот остается постоянной. Второй тип отличается от первого тем, что тропосфера отделяется от изотермического слоя стратосферы более или менее резко выраженной инверсией. Возможно, что возникновение слоя инверсии связано с усилен-

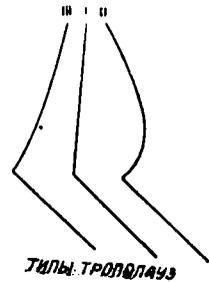
ной конвекцией в тропосфере или, как можно думать, следуя рассуждениям Альбрехта, в результате интенсивного излучения эффективного слоя с содержанием водяных паров от 0.015 до 0.15 мм. В третьем типе ход температуры в стратосфере имеет вид слабо выраженной инверсии, т. е. постепенного повышения температуры с высотой. Наконец, четвертый, сравнительно редко встречающийся тип распределения температуры в стратосфере характеризуется отсутствием резко выраженного слоя перехода от тропосферы к стратосфере, как это имеет место в других типах. Вместо этого переход проявляется в виде замедленного понижения с высотой, переходящего постепенно в изотермию.

Пальмен, подробно рассматривавший различные случаи распределения температуры в стратосфере, пришел к мысли о выделении следующих трех основных типов (фиг. 8). В первом случае понижение температуры тропосферы переходит в изотермию, остающуюся на всех высотах стратосферы. Этот тип он считает „нормальным“ типом. Во втором типе Пальмена температура при вступлении в стратосферу резко повышается, достигает максимального значения на расстоянии нескольких километров и выше начинает снова понижаться. Этот тип Пальмен считает характерным для циклонального режима. Наконец, третий тип — антициклональный — характеризуется тем, что температура в стратосфере повышается на всех высотах, хотя и с различной скоростью. При этом, по мнению Пальмена, циклонический тип имеет в стратосфере температуры выше нормальных, антициклональный — ниже нормальных. Таким образом, температура в обоих этих типах с высотой как бы стремится к приближению к нормальным значениям.

Из сравнения этих типичных случаев распределения температуры нетрудно видеть, что слой перехода от тропосферы к стратосфере в некоторых случаях может оказаться выраженным в виде отдельного слоя с той или иной характеристикой. Такой слой получил название тропопаузы и в ряде работ он рассматривается как самостоятельный слой. В некоторых случаях, по Пальмену, тропопауза может получить сложную структуру в виде нескольких несвязанных между собою слоев, развивающихся и исчезающих и имеющих по горизонтали ограниченные размеры (фиг. 9).

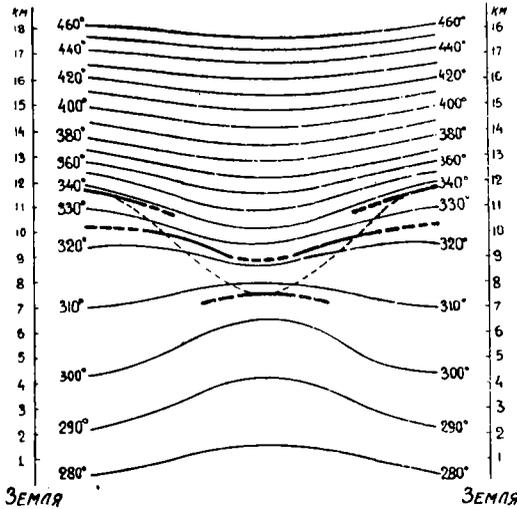
При изучении атмосферных процессов тропосферы естественно возникает мысль о той роли, которую может играть в этих процессах стратосфера. Является ли этот слой совершенно мертвым слоем, не имеющим значения для жизни тропосферы, или, наоборот, происходящие в нем процессы диктуют направление и характер развития процессов в тропосфере.

В настоящее время можно указать на две основные школы аэрологии, придерживающиеся совершенно противоположных взглядов. Первая школа, возглавляемая известным немецким метеорологом проф. фон-Фиккером, приписывает стратосферным процессам если не доминирующее, то



Фиг. 8.

во всяком случае руководящее значение в развитии атмосферных процессов тропосферы. На основании исследований строения холодных волн фон-Фиккер пришел к заключению, что волна холодного воздуха, несущая внизу повышение давления, в верхней своей части с некоторой высоты связана с областью падения. Кроме того, нередко при продолжающемся понижении температуры это падение наблюдается и у земной поверхности. Ана-



Фиг. 9.

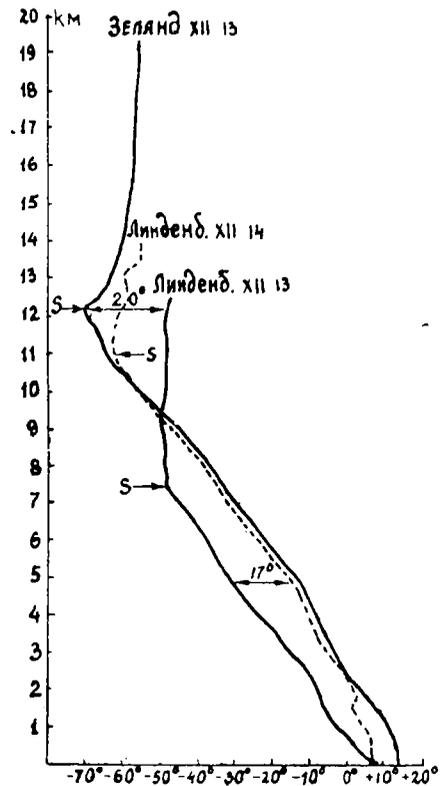
логичная картина получается и для теплых волн. Таким образом, по мнению фон-Фиккера, колебания давления у земной поверхности имеют сложное происхождение как результат противоположных по знаку колебаний в тропосфере и стратосфере. Волну в стратосфере фон-Фиккер назвал первичной, волну в тропосфере — вторичной. Взаимодействие этих волн может оказаться весьма разнообразным. В ряде случаев можно указать: как наступление первичной волны, развертывающейся в стратосфере, активизировало процессы у зем-

ной поверхности или, вернее, в тропосфере. В последнее время взгляды этой школы подробно разрабатывались Эртелем. Общая картина роли стратосферы по воззрениям этой школы хорошо выражается словами Н. Шоу; динамика атмосферы определяется верхними слоями, в то время как чисто физические процессы, связанные с конденсацией образованием облаков и пр., развертываются в тропосфере. Происхождение первичных волн может быть связано как с термическими, так и чисто динамическими причинами. Термические причины связаны с приходом теплых или холодных воздушных масс, перемещающихся по горизонтали. Таким образом, по мнению этой школы, в стратосфере мы можем иметь теплые и холодные волны, по образу тех, которые развиваются в тропосфере в области полярного фронта. К числу динамических факторов, вызывающих образование первичных волн, Дефант и Экснер относят волны гравитационного происхождения, распространяющиеся в области тропопаузы, подобно сейсмическим волнам.

Совершенно иных взглядов придерживается норвежская школа. Взгляды последней развивались Бергероном, Бьеркнесом, Пальменом и др. Эти авторы дали детальный разбор явлений в стратосфере на основании фактического материала по данным зондовых и радио-зондовых подъемов. Норвежская школа также принимает, что в стратосфере разви-

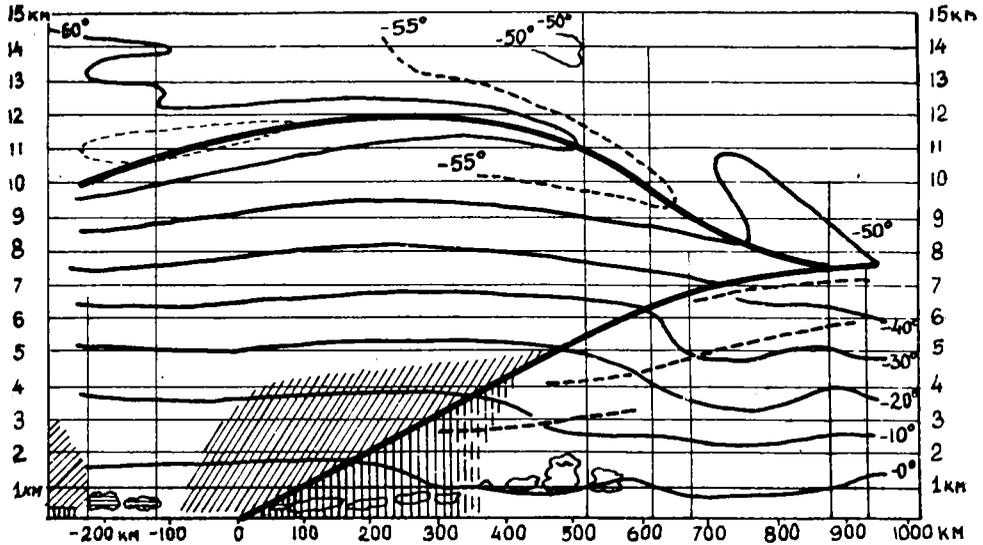
ваются температурные волны, но происхождение их она целиком связывает с процессами в тропосфере. Пальмен и Бьеркнес различают два основных фактора, могущих вызвать соответствующие колебания температуры в стратосфере. Первый фактор определяется термически-адвективными процессами, при которых в тропосфере развивается приток теплых или холодных масс. Особенно детально исследовал Пальмен явления, происходящие на полярном фронте. На основе фактического материала температурного зондирования Пальмен дал следующую картину распределения температуры в полярном и тропическом воздухе (фиг. 10). Из сравнения кривых для полярного (Линдеберг, XII 13) и тропического (Зеланд, XII 13) воздуха видны следующие особенности распределения в том и другом случае. Полярные массы характеризуются пониженными температурами в тропосфере и повышенными температурами в стратосфере. Тропопауза в полярных массах оказывается значительно ниже, чем в тропических массах. В отдельных случаях Пальмен констатировал опускание тропопаузы до 5 км. Наоборот, в тропических массах тропопауза находится на повышенном уровне, температуры в нижних слоях повышены, в стратосфере — понижены.

Из сравнения кривых для тропических и полярных масс видно, что наибольшая разность температур наблюдается на высоте 4—7 км и на высоте 11—13 км, причем эти разности температур имеют противоположный знак. Отсюда Пальмен приходит к выводу, что достаточно сильные вхождения теплых или холодных масс, происходящие в тропосфере, получают свое отражение и в стратосфере. При этом вторичная стратосферная волна смещена фазами, и в начальный момент развития волны в тропосфере связанная с ней волна получает противоположный знак. При этом Пальмен приходит к важному для норвежской теории заключению, что поверхность раздела между полярными и тропическими массами, как это и принималось в первоначальной теории Бьеркнеса, доходит до тропосферы, а не ограничивается слоем в 4—5 км. Наиболее ясно выражена поверхность раздела на средних высотах. На фиг. 11 дана схема строения тропосферы по данным температурных зондировок. На фиг. 12 дана картина последователь-

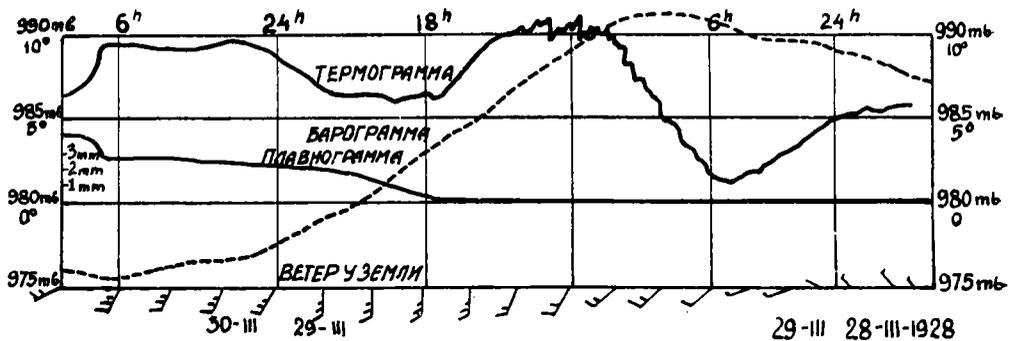


Фиг. 10.

ного смещения поверхности раздела от тропопаузы до земной поверхности. Следует, однако, отметить, как признает Пальмен, что активная поверхность восхождения исчезает на высоте 4—5 км, выше же остается как бы пассивная поверхность раздела.



Фиг. 11а.



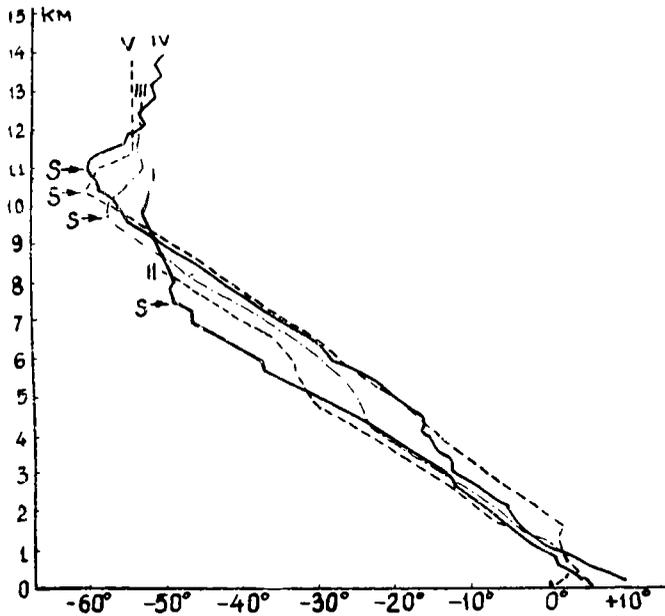
Фиг. 116.

Кроме термическо-адвективного происхождения стратосферных волн, Пальмен и Бьеркнес принимают во внимание также и волны, вызванные динамическими факторами. Не входя в детальное изложение этих явлений, укажем, что основная формула, определяющая изменение температуры в данной точке атмосферы, имеющая вид

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt} - \frac{T}{\theta} \left( u \frac{d\theta}{dx} + v \frac{d\theta}{dy} + w \frac{d\theta}{dz} \right) + \frac{ART}{C_p P} \frac{dp}{dt},$$

указывает, что, кроме температурных изменений, вызванных притоком тепла  $dQ$  или адиабатическим изменением давления  $dp$ , в стратосфере

большую роль могут играть температурные изменения, связанные с вертикальными перемещениями воздушных масс, вызванными соответствующими сжатиями или расширениями воздуха в тропосфере. Величина  $w \frac{d\theta}{dz}$ , определяющая температурные изменения от этого фактора, получает особенно большое значение именно в стратосфере, где потенциальные температуры с высотой резко возрастают. Наоборот, в тропосфере, где возрастание



Фиг. 12.

потенциальных температур сравнительно слабо, этот эффект выражается соответственно слабее.

Наконец, Пальмен рассматривает динамические эффекты в стратосфере циклонических вихрей в тропосфере. Эффекты циклонических вихрей вызывают, по Пальмену, углубление тропопаузы, придавая ей воронкообразный характер.

Статистическое изучение распределения температуры при различных значениях давления у земной поверхности дало следующую картину, приведенную на фиг. 13. Сравнивая полученные кривые с теми, которые были приведены ранее для характеристики полярных и тропических масс, нетрудно видеть, что распределение температуры в циклоне характерно для масс полярного происхождения, а в антициклоне — для масс тропического происхождения.

Вопрос о том, кто регулирует погоду, определяется по Пальмену также следующим обстоятельством. Обработка результатов температурного зондирования показала, что наибольшие температурные колебания

происходят в тропосфере в зимнее время, в стратосфере — в летнее время (Цистлер). С другой стороны, общеизвестно, что наибольшая активность атмосферных процессов наблюдается в зимнее время, совпадая, таким образом, со временем наибольших температурных разностей в тропосфере. Отсюда делается вывод, что руководящее значение для атмосферных процессов имеют тропосферные волны.

Однако, как отмечают и сам Пальмен и представители немецкой школы, в настоящее время трудно утверждать, чья точка зрения может считаться окончательно победившей. Совершенно несомненно, что только детальные исследования атмосферы, имеющие целевое назначение, могут дать материал для окончательного суждения в этом вопросе.

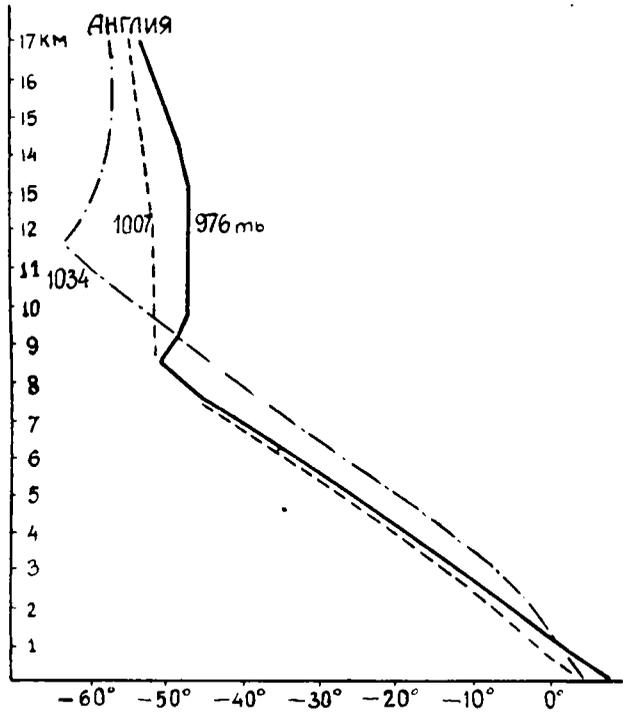
Следует остановиться на следующих обстоятельствах, могущих дать некоторые указания на особенности развития атмосферных процессов. Прежде всего необходимо поставить вопрос о том, в каком из этих слоев мы имеем непосредственный приток энергии, могущий вызвать те или иные динамические процессы. Под этим притоком энергии необходимо подразумевать неоднородный поток, создающий неравномерное нагревание или охлаждение. Очевидно, что наличие неравномерно нагревающейся земной поверхности, неравномерное распределение доходящей до земли солнечной энергии и пр. делают тропосферу несомненным очагом неравномерно поступающей энергии. Что касается стратосферы, то здесь мы имеем, с одной стороны, совершенно равномерную солнечную инсоляцию, так как наклон солнечных лучей практического значения для интенсивности солнечной энергии, приходящей к данному участку стратосферы, не имеет. С другой стороны, здесь совершенно отсутствуют облака, пылевые частички и пр. Таким образом, первоисточник всякого рода динамических возмущений — неравномерно поступающая энергия — здесь отсутствует.

Кроме того несомненно, что в стратосфере мы встречаемся с наличием резких колебаний температуры, констатируемым как по зондам за границей, так и зондажем при помощи ежедневных исследований радиозондами у нас. Приходится поэтому признать, что происхождение этих колебаний может быть связано, как указывает Пальмен, только с процессами, развивающимися в глубинах тропосферы. Стратосфера же представляет собой слой, отзывающийся на соответствующих процессах в тропосфере. Противоположность фаз тропосферных волн, отмеченная Пальменом, позволяет думать, что роль стратосферы в этих случаях заключается в противодействии развитию резких колебаний в тропосфере, связанному с поглощением некоторого количества энергии тропосферных процессов. Но, с другой стороны, стратосферные волны, будучи созданы, не могут не отразиться на развитии тропосферных процессов. Можно также предполагать, что, раз возникнув, стратосферные возмущения могут оторваться от соответствующего им первичного процесса в тропосфере и получить самостоятельную активную роль. Совершенно очевидно, что интерференция

стратосферных и тропосферных возмущений играет громадную роль в развитии явлений погоды.

Таким образом, роль стратосферы в развитии и в некоторых случаях даже возникновении тропосферных возмущений того же порядка — несомненна. При этом можно предполагать, что эта роль имеет стабилизирующий эффект, поглощая часть энергии, развиваемой сильными тропосферными возмущениями. Вследствие изотермического распределения температуры

слой стратосферы должен оказать чрезвычайно сильное сопротивление колебаниям воздушных масс по вертикали, возникающим при прохождении теплых или холодных волн. Таким образом, слой стратосферы представляет собой как бы эластичный слой, демпфирующий колебания нижнего слоя. Автор неоднократно указывал на проявление в атмосферных процессах своеобразного принципа стабилизации, заключающегося в том, что развитие атмосферных процессов, возникающих под действием какого-либо на-



Фиг. 13.

рушающего нормальное состояние атмосферы фактора, происходит в таком направлении, при котором действие указанного фактора или ослабляется, или совершенно исчезает. Сказанное выше относительно роли стратосферы позволяет думать, что и здесь мы имеем своеобразное проявление закона стабилизации атмосферных процессов. Естественно, что для правильного понимания происходящих в тропосфере явлений совершенно необходимо иметь подробные данные, характеризующие состояние и стратосферы. В особенности важны для составления анализа данные распределения температуры и влажности до слоя тропопаузы и в самом слое тропопаузы, так как высота тропопаузы и ее строение оказываются чрезвычайно характерными для происходящих в тропосфере процессов. Приведенная выше характеристика строения полярных воздушных масс (низкая тропопауза, низкие температуры в среднем слое тропосферы и высокие — выше тропосферы) проявляется чрезвычайно резко. Однако

противоположный тип не может считаться характерным только для масс тропического происхождения, а наблюдается также и в антициклонах полярного происхождения, но оказавшихся деформированными длительным притоком солнечной энергии в средних широтах. Во всяком случае, смена типов распределения температуры дает совершенно определенное указание на происходящие изменения в режиме тропосферы.

Какие же возможности исследования тропосферы и стратосферы имеются в настоящее время?

Я несколько останавлиюсь на методе шаров-зондов, который заключается в том, что самопишущий прибор той или иной конструкции, регистрирующий давление, температуру и иногда влажность, поднимается на свободном шаре в атмосферу. До начала этого столетия подъемы производились на матерчатых шарах, объемом 100—200—800 м<sup>3</sup>. Пионерами этих исследований были Эрмит, Тейссеран де Бор, Ассман, у нас в России В. В. Кузнецов и С. И. Савинов.

Ряд таких подъемов у нас и за границей давал уже в прошлом столетии резкую картину строения стратосферы, потому что значительная часть подъемов достигала высоты выше 12 км. Производство подъемов на матерчатых шарах оказалось, однако, чрезвычайно сложным и дорогим делом. Помимо того, что приготовление оболочки требовало значительных средств, самый пуск оболочки объемом 400 м<sup>3</sup> представлял ряд трудностей. Когда такая оболочка достигала некоторого уровня, подъемная сила приближалась к нулю, и шар-зонд, плавая в атмосфере, удалялся на очень большое расстояние. Только предложение Ассмана ввести вместо матерчатой резиновую оболочку дало совершенно новый поворот этому методу. Благодаря свободному растяжению резины объем шара при поднятии увеличивается, подъемная сила остается без изменения, пока резина не разрывается, и тогда шар опускается вниз. Вертикальная скорость шаров остается приблизительно постоянной, даже больше, вертикальная скорость, если форма шара не меняется, в стратосфере несколько возрастает.

Приведу некоторые числа, характеризующие растяжение резины. При подъеме до 30 км шар, начальный объем которого у земной поверхности был 4.2 м<sup>3</sup>, на максимальной высоте при давлении 7—8 мм достигал в объеме 365 м<sup>3</sup>. Диаметр шара увеличивался от 2 до 8.8 м. Толщина стенки — 0.17 у земной поверхности — уменьшалась до 0.0087 мм — меньше 0.01 мм. Естественно, что достижение еще большей высоты требует чрезвычайно высокого качества резины.

Опыт показывает, что чем тоньше оболочка, чем меньше вес ее, тем большую высоту применяя ее можно получить.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> В настоящее время проф. Регенер показал, что озон, вредно влияющий на качество резины, находится в слоях ниже 28 км. Соответственно этому Регенер рекомендует применять возможно большие скорости поднятия шаров, для уменьшения промежутка времени вредного влияния озона.

Метод шаров-зондов основан на том, что прибор, достигнув максимальной высоты, падает или с дополнительным шаром или с специальным парашютом и опускается где-нибудь на земную поверхность. Если место достаточно населенное, он находится кем-нибудь из обитателей данной местности и доставляется обратно в обсерваторию.

Естественно, что применение этого метода целиком связано с условиями данного района. Если местность необитаема, применение этого метода становится совершенно безнадежным; если место лесистое, богатое болотами, применение этого метода также вызывает затруднения, но в заселенных районах этот метод является одним из наиболее простых и наиболее точных.

В настоящее время мы имеем ряд приборов, построенных для этой цели. Одним из первых был прибор Тейссеран де Бор, затем прибор Хергезеля, который изготавливается до настоящего времени с небольшими изменениями. И тот и другой приборы ведут регистрацию давления и температуры, а также влажности. Последнее время у нас приборы для этой цели строились В. В. Кузнецовым и применялись ко всему пространству нашей страны, как, например, в Павловске, Москве, Ольчедаеве и ряде других пунктов, где были организованы такого рода подъемы. В последнее время был поставлен вопрос об уменьшении веса этих приборов и об удешевлении их.

Отметим здесь прибор Дайнса, весом 50 г., дающий запись настолько малой чувствительности, что ее приходится расшифровывать под микроскопом. Этот прибор в настоящее время усовершенствован Дайнсом (сыном) и затем Джомотом. Правда, прибор этот требует большой опытности в обработке полученных записей, но в виду дешевизны и легкости он в настоящее время является одним из наиболее распространенных.

У нас в Союзе изготовлялись в последнее время приборы автора, в которых часовой механизм, обычно применяющийся в подобного рода приборах, заменялся специальным пропеллером. Особенность этого пропеллера заключается в том, что он вращается в одну и ту же сторону, как при поднятии, так и при спуске прибора.

Надо сказать, что применение метода шаров-зондов в Институте аэрологии в Слуцке не дало хороших результатов, ввиду весьма малой находимости приборов. По этой причине Институт аэрологии вынужден был перейти на подъемы с ограниченной высотой до 5—6 км, в зависимости от ветра. Небольшая вертикальная скорость шаров с невысоким качеством оболочки, с которым и имели дело до сих пор, вызывала большое удаление от горизонта и уносила их в мало населенные районы, преимущественно к северо-востоку от Ленинграда.

Значительно лучшие условия оказываются в более южных районах, в районе Москвы, Киева и др., где этот метод получил значительно более широкое применение. В частности, уже после революции, мы имеем чрезвычайно высокие подъемы в Москве — до 23 км, а также

серию подъемов на Украине (до 300 подъемов) и в других районах Союза.

Нужно сказать, что и у нас и за границей ставился вопрос о достижении возможно больших высот при помощи шаров-зондов. В 1929 г. Виганд поставил себе целью достичь высоты 40 км, т. е. того слоя, который обладает свойствами отражения звуковых волн и отличается от нижнего слоя стратосферы. Виганду удалось получить сравнительно очень большие высоты, с максимальной высотой в 36 км. Для этой цели применялись лучшие оболочки германских фирм, предварительно испытанные.

Затруднения, вызванные применением метода шаров-зондов, поставили перед обсерваторией вопрос о разработке метода, который не был бы связан с нахождением самого прибора. Попытка развить идею этого метода относилась к весьма давнему времени: этот вопрос еще во время войны ставился, но не получил никакого применения. Примерно в 1923 г. эти работы поставлены были автором на несколько более серьезной основе; разработана была общая схема приборов и приступлено было к изготовлению их в Аэрологической обсерватории и затем в Главной Геофизической обсерватории. Автор и Гольцман в 1925 г. на конференции геофизиков в Москве делали уже первые доклады о сущности этих приборов, но мы были еще далеки от построения собственно радио-зонда. В 1927 г. автором сделан был доклад о принципах этих приборов и вообще о возможности применения их на конференции в Лейпциге, где эти предложения были встречены весьма сочувственно. Однако только в 1928 г. общество „Аэроарктика“, изучавшее вопросы исследования Арктики путем применения дирижаблей, заинтересовалось также возможностями, которые дает метод радио-зонда, и поставило вопрос об изготовлении опытных образцов этого прибора и вообще о разработке этого метода. Большое участие в этом принимал проф. Ф. Нансен. Эти работы значительно подвинулись вперед, начиная с конца 1929 г., когда Отдел научных учреждений при СНК выделил необходимые средства для разработки конструкции этих приборов, и через полгода, в начале 1930 г., Аэрологическая обсерватория могла выпустить первый радио-зонд. Радио-зонд достиг на высоте 9 км начала стратосферы. Впервые в мире радио-зонды были использованы и дали совершенно удовлетворительные результаты. Естественно, что с этого момента мы видим целый ряд попыток внести те или другие усовершенствования при использовании радио-зондов. Попытки эти имели, конечно, переменный успех; мы встречались и с случаями совершенного отказа прибора работать и с случаями удовлетворительной работы, но во всяком случае в течение 1930 г. мы имеем около 11 радио-зондов, давших вполне удовлетворительные результаты. В 1931 г., когда метод был значительно более разработан, нами была организована экспедиция в полярный район, в село Полярное, б. Александровск, для исследования верхних слоев атмосферы во время полярной ночи. Правда,

в Мурманске нельзя считать полярную ночь настоящей полярной ночью, но эти исследования были первыми, давшими исследование температуры.

В том же 1931 г. был организован полет дирижабля „Граф Цепелин“ в Арктику и поставлен вопрос о введении в программу научных работ этих экспедиционных исследований.

Немецкие метеорологи, которые в 1929—1930 г. разработали методы использования радио-зонда, построенного на несколько иных принципах, не могли дать своих приборов для полетов и ими применены были приборы нашей конструкции. Выпущено было всего 4 прибора, 3 из них с часовым механизмом были построены фирмой „Аскания“, а один построен был у нас в Союзе. Все 4 прибора дали удовлетворительные результаты, т. е. были получены по радио сигналы о состоянии температуры, причем максимальная высота составляла около 17 км. В последующем эти подъемы были использованы для составления схемы строения атмосферы в северных районах и они остаются до сих пор единственными исследованиями для этих высот в полярных районах.

В истекшем международном полярном году были сделаны попытки организации исследований радио-зондами стратосферы в полярных районах, в частности было сделано большое количество подъемов с Земли Франца-Иосифа. К сожалению, вследствие весьма низкого качества оболочки, которыми можно было тогда снабжать станцию, не было возможности получить большие высоты (максимальная высота подъема 10—11 км). Дальнейшая разработка метода позволила значительно упростить, усовершенствовать приборы, сделать их более дешевыми, и в настоящее время Аэрологический институт уже производит подъемы ежедневно. Высота подъемов в 1933 г. составляла около 10 км, вследствие невысокого качества оболочки; изготовление оболочки на заводе „Промтехника“ в настоящее время дает значительно лучшие результаты; в марте 1934 г. начала поступать более высокого качества оболочка, и высота подъемов сразу повысилась: вместо 8—10 км средняя высота стала 12—15 км. За март было больше шести подъемов выше 15 км, с максимальной высотой 21 км. Последнее достижение не может считаться окончательным: дальнейшее улучшение качества оболочки позволит достичь высоты в 25—30 км.<sup>1</sup> Особенно важным мы считаем достижения высоты 30 км, так как согласно исследованиям Велькена, Фреймана и Ермолаева на Земле Франца-Иосифа. Оказывается, что высота слоя, отражающего звуковые волны и обладающего рядом характерных особенностей, снижается здесь до 30—32 км, и исследование этого слоя непосредственно методами температурного зондирования представляет колоссальный интерес. Если пока невозможно достижение высоты 40 км — того слоя, где находится инверсия в наших широтах, то может быть удастся достигнуть этой инверсии в арктических условиях. Поэтому мы считаем необходимым обратить особое внимание

<sup>1</sup> В августе 1934 г. радио-зонд, выпущенный сотрудниками Института аэрологии А. А. Ершовым и Е. А. Сопочко достиг 25 200 м.

на то, чтобы в текущем году можно было организовать эти исследования на Земле Франца-Иосифа.

Разумеется, все автоматические методы — метод самопишущих приборов, метод подъема радио-зондов — обладают достоинствами и недостатками автоматических методов; с одной стороны, это прекрасный дешевый метод, при помощи которого можно исследовать атмосферу с сравнительно незначительными затратами, при небольшом оборудовании. С другой стороны, он дает ограниченное количество измерений и нуждается в тщательной проверке результатов работы приемников этих приборов.

Основной вопрос, возникающий перед исследователями стратосферы, — вопрос о действии солнечного нагревания на приемники температуры. Нужно поставить отдельно вопрос о тех условиях, которые следовало создать для правильной работы приемников в верхних слоях атмосферы. В настоящее время мы имеем значительный сдвиг в этом отношении. В докладах гг. Савинова, Гольцмана, Третьякова вы услышите об установках, которые позволят в дальнейшем производить измерение температуры с весьма высокой точностью, почти совершенно независимо от действия солнечных лучей, даже если приемник будет поставлен непосредственно на солнечную инсоляцию. Применяя такого рода приборы, мы можем ожидать весьма больших сдвигов. Для обычных приемников необходимо обеспечить достаточное количество воздуха, чтобы приемник имел температуру, близкую к температуре окружающего воздуха. Это легко достижимо в нижних слоях, но в верхних, где чрезвычайно малая плотность воздуха, с одной стороны, и весьма большая интенсивность солнечных лучей, с другой стороны, достижение правильной, необходимой вентиляции оказывается делом весьма трудным. Здесь речь идет не только о том, чтобы увеличить возможно больше скорость поднятия прибора. Увеличивая скорость, мы должны одновременно создать защитную меру против влияния быстрого изменения самой температуры. Отсюда вытекает большое значение инерции приемника, которая всегда имеет некоторое значение.

Таким образом, при исследовании атмосферы мы должны удовлетворить каким-то оптимальным условиям: найти минимальную скорость ветра, при которой работа приемника была бы совершенно удовлетворительной. Решение этого вопроса при помощи автоматического метода было довольно затруднительно. Работы, которые были произведены во время полета стратостата Пикара, были не совсем удачны: прибор оказался неисправным; часовой механизм прибора Пикара остановился почти в момент отрыва аэростата от земли и пошел, когда он опустился на землю. При полете стратостата „СССР“ приборы работали в течение всего подъема и позволили получить полную картину. Необходимая вентиляция приемников производилась при помощи электромотора. Предполагалось, что на максимальных высотах должен быть пущен венти-

лятор, который составит дополнение к естественной вентиляции. Скорость вентиляции под действием мотора составила около 3.5 м/сек. Таким образом, при небольшой скорости в 1—2 м/сек. можно было ожидать, что скорость вентиляции была бы достаточной. На высоте 16 800 м стратостат „СССР“ уравнился и дальше стал подниматься с постепенно замедляющейся вертикальной скоростью, которая уменьшалась от 6 м/сек. до 0 на высоте 17 км. При переходе точки, где скорость достигает 2 м/сек., скорость вентиляционного потока, в силу наличия там раструба, уменьшалась до 4 м/сек., и наступило резкое нагревание прибора. Когда вертикальная скорость достигала величины, близкой к 0, нагревание металлического приемника, защищенного от солнца двойной стенкой, дало —18°, вместо —54°. Совершенно естественно, что показания прибора были явно искажены действием солнечных лучей.

Повышение вентиляции до 3.5 м/сек. давало 3—4° разницы, сравнительно с температурой, которая была на этой высоте. Нагревание приборов с момента уменьшения скорости ниже 4 м/сек. позволяло определить минимальную скорость вентиляции, с которой должны работать приборы.

В дальнейших подъемах оказалось возможным проверить эту величину. При одном подъеме радио-зонда, когда вертикальная скорость поднятия составляла 3.5—3 м/сек., было получено повышение температуры, где начиналось такого рода замедленное поднятие, на 3—4°. После того как шар лопнул, прибор начинал опускаться на парашюте, и получалось понижение температуры, которое продолжалось в течение 2 мин. и составило около 3°. Отсюда мы видим, что 3.5 м/сек. является величиной близкой, но недостаточной. Таким образом, минимальная величина, полученная из результатов полета стратостата, подтверждается и другими исследованиями.

С тем комплексом методов исследования, который мы имеем в настоящее время для температурного зондирования стратосферы, мы получаем, конечно, мощное средство для исследования стратосферы, по крайней мере до высоты 20—30 км. Возникает вопрос о том, как должны быть организованы эти исследования? Надо сказать, что практика этих исследований, ведущихся с конца прошлого столетия так наз. Международной комиссией по исследованию верхних слоев атмосферы, которой руководил вначале и руководит в настоящее время Хергезель, сводился к тому, что в различных пунктах земного шара, во всех странах, производится зондирование стратосферы по преимуществу методом шаров-зондов. Подъемы расписаны на 10 лет вперед с таким расчетом, чтобы по истечении достаточно большого количества лет мы получили равномерное распределение подъемов по всему году и получили бы средние данные распределения температуры в различных районах земного шара.

В 1929 г. я выступил с предложением изменения этого метода в применении к полярному году. Применение этого метода к полярному году совершенно нерационально, потому что мы могли рассчитывать только на один-два года таких исследований, и распределение их по заранее

назначенным дням, через промежуток нескольких месяцев, не могло, конечно, дать существенных знаний строения атмосферы. Наше предложение сводилось к тому, чтобы, помимо этих исследований, организовать в полярных районах серию подъемов в течение определенного промежутка времени, не меньше двух недель, которые позволили бы выяснить строение атмосферы при различного рода процессах: образования холодных волн и т. д. К сожалению, это предложение не прошло, потому что мне не удалось защищать его лично; была послана только соответствующая докладная записка. Точно так же мне не удалось организовать такого рода исследования и в нашем Союзе. Но совершенно несомненно, что в дальнейшем мы должны организовать сериальное исследование атмосферы при помощи подъемов, близко расположенных друг от друга, как во времени, так и по пространству. С 1929 г. мною ежегодно предлагается проект организации такого рода исследований в наших южных районах, где можно применять метод шаров-зондов для выяснения структуры атмосферы. В настоящем 1934 году, повидимому, нам предстоит провести такую серию исследований. Я считаю, что, помимо систематических исследований, которые должны проводиться и по программе Международной комиссии и по другим программам, совершенно необходимо наличие таких сериальных исследований, посвященных специальным вопросам. Только при наличии такого рода детализированных исследований, о которых высказывался еще раньше А. А. Фридман, говоря о создании лаборатории в атмосфере, можно будет рассчитывать на получение детальной характеристики строения атмосферы.

Кроме температурных исследований, большой теоретический и практический интерес представляют исследования состава воздуха. В настоящее время мы имеем небольшой материал в этом отношении.

Попытки изучить состав воздуха верхних слоев относятся к давнему времени; первый Гей-Люссак поставил вопрос о составе воздуха в нижних слоях, а Тейссеран де Бор — в верхних слоях. Последний построил автоматический прибор для получения проб воздуха. К сожалению, была только одна удачная попытка подъема этих приборов в стратосферу: зонд Тейссеран де Бора в стратосферу достиг высоты 14 км. Анализ газов производил Рамзай; он дал полную тождественность состава воздуха на этой высоте с составом у земной поверхности. Этот результат не был принят с большим доверием, и теория убывания кислорода с высотой выше 12 км не считалась опровергнутой.

При полете стратостата „СССР“ Главная Геофизическая обсерватория организовала забор пробы воздуха. При этом получены были пробы с высоты 18 км, где состав воздуха оказался совершенно одинаковым с составом воздуха у земной поверхности.

Дальше мы имеем исследования, связанные с проверкой барометрической формулы. До настоящего времени мы имеем сравнительно немногочисленные исследования, которые позволили бы проверить правильность

барометрической формулы. Первая попытка была сделана русским ученым М. М. Поморцевым в 1870-х гг. При подъеме радио-зондов до высоты 8—10 км мы получили довольно точные данные, подтверждающие применение формулы. При полете стратостата „СССР“ тоже была сделана попытка проверить барометрическую формулу; правда, полная программа обсерватории не могла быть проведена, но все-таки мы имеем точки, для которых получается точное совпадение высоты по барометрической формуле, по записи метеорограмм и по наблюдениям с достаточно точным теодолитом, с достаточно большой базы.

Следующий вопрос, имеющий большое значение для практики, это — исследование распределения воздушных течений в стратосфере. В настоящее время мы имеем совершенно недостаточной материал для характеристики стратосферы с этой точки зрения. Правда, есть попытки обработать имеющийся материал, но этот материал не может считаться характерным для стратосферы, прежде всего потому, что при больших скоростях порядка 30—40 м/сек., как было при полете стратостата „Осоавнахим“, исследование верхних слоев обычно не достигает большой высоты, так как шары быстро исчезают у горизонта и наблюдения становятся затруднительными; поэтому получается естественный отбор скоростей в сторону малых по тем случаям, когда можно производить наблюдения. Нужно предполагать, что, в особенности в зимнее время, развиваются довольно большие скорости ветра. С другой стороны, значительное препятствие для исследований в верхних слоях атмосферы представляет облачность. Поэтому для получения картины строения тропосферы необходимо применять метод, который позволял бы исследовать и при наличии облачности. Такой метод заканчивается разработкой и заключается в том, что при полете радио-зонда, производя пеленгацию его с достаточно удаленных пунктов, получаем представление о движении зонда. Отсюда же можно получить распределение ветра в различных слоях. Могут быть применены и другие методы: при помощи, например, флажков, сбрасываемых с шара — метод, предложенный Рябушинским, и ряд других методов.

Исследование слоев выше 40 км при помощи методов непосредственного зондирования до сих пор остается еще не возможным. Может быть в ближайшее время техника даст нам средства продвинуться выше, но надо иметь в виду, что каждая сотня метров на этих высотах достигается с колоссальным трудом. На высоте 40 км мы имеем давление около 3 мм. Таким образом, объем шаров должен возрастать при прохождении последних 6—7 км в 2—3 раза сравнительно с тем объемом, который эти шары получают к 30 км. При этом значительное увеличение этих объемов уже на высоте 30 км требует чрезвычайно высокого качества резины, которое пока трудно достижимо.

Взамен непосредственного зондирования мы имеем прекрасные методы исследования верхних слоев при помощи изучения распространения звуковых волн. Этот метод был предложен де Борне.

В дальнейших докладах будут подробно обрисованы все явления, связанные с распространением звуков в атмосфере. Я укажу только на внешнюю картину. Оказывается, что слышимый взрыв, или интенсивный звук, отмечается только на сравнительно небольшом расстоянии по горизонтали от места взрыва. Это расстояние измеряется десятками километров (50—80 км). Дальше наступает зона, где звук совершенно не слышен, или слышен только случайно в отдельных точках. Это указывает на то, что звуковая волна уходит вверх от земной поверхности, что объясняется фактом понижения температуры с высотой.

Но дальше наблюдается гораздо более интересное явление: оказывается, что на расстоянии примерно 150—200 км от места взрыва мы имеем снова зону слышимости, в которой наблюдатель или специально установленный прибор снова регистрирует приходящий через известный промежуток времени до этого пункта звук взрыва.

Дальнейшими исследованиями были обнаружены вторичные зоны слышимости, т. е. после первой зоны молчания следует зона слышимости, после — опять зона молчания и опять зона слышимости, однако это явление наблюдается сравнительно редко.

Наличие зоны слышимости указывает на то, что звуковая волна, уйдя от земной поверхности, по каким-то причинам снова возвращается на землю.

В настоящее время существует несколько теорий, которые стараются объяснить этот чрезвычайно интересный факт возвращения звукового луча из верхних слоев атмосферы. Подробно эти теории будут рассмотрены в последующих докладах. Я укажу здесь лишь в совершенно кратких чертах на главнейшие из этих теорий.

Теория Эмдена связывает явление зон молчания с действием ветра на перенос звуковой волны. Совершенно несомненно, что сравнительно большая скорость воздушных масс в тропосфере имеет влияние на форму звуковой волны.<sup>1</sup> Но подсчеты и исследования показали, что одним влиянием переноса воздушных масс и образование зон молчания и образование зоны слышимости объяснить совершенно невозможно.

Были предложены и другие теории; в частности, Вегенером и Мейером рассматривался вопрос о том, что в верхних слоях на высоте 40—50 км переменные давления, которые создаются звуком, уже не могут передаваться вследствие большой разреженности воздушных масс. Отсюда делали вывод, что имеется возможность отражения звуковой волны от этой мертвой для звука зоны. Однако подсчеты показывают неправильность этой теории.

Следующая теория связывает отражение звуковых волн с увеличением скорости при поступлении в верхние слои, в которых могут быть более легкие газы, потому что скорость звука зависит от плотности

<sup>1</sup> Это обстоятельство ведет к тому, что всегда зоны слышимости и молчания наблюдаются не в виде правильных окружностей, а имеют деформацию в направлении ветра.

газа. Эта теория казалась наиболее вероятной, тем более, что все теории, которые касались изменения состава газов в атмосфере, показывают, что с высотой мы должны ожидать увеличения состава легких газов, и на высоте 40—50 км можно ожидать зоны настолько малой плотности воздуха, что здесь мы тоже получаем возрастание скорости и искривление звуковых волн с возвращением их на земную поверхность.

В настоящее время эта теория также не считается возможной для принятия: подсчеты показывают, что для соблюдения фактических соотношений, которые получаются, необходимо допущение на высоте 40—45 км не менее 20—25% содержания водорода. Возникает вопрос, можно ли допустить, что на этих высотах мы будем иметь такое богатое содержание водорода. Исходя из обычных формул, мы получаем значительно меньшее количество водорода.

Если мы будем стоять на точке зрения правильности барометрической формулы и статического распределения давления на этих высотах, мы должны допустить, что эта теория не может быть принята для объяснения данного явления

Правда, следует отметить другого рода предположение, высказанное проф. Ветчинкиным в одной из его работ о том, что на высоте 40 км мы имеем резкую поверхность раздела не только с точки зрения температуры, но и с точки зрения состава газов, т. е. здесь мы не можем применять барометрической формулы. Выше 40 км мы имеем, как-будто отдельно от нижнего слоя, слой скачка температуры, препятствующий вертикальной конвекции и связанный с ним слой чрезвычайно легких газов. Если можно допустить наличие резкого срыва в смысле распределения газов, то эта теория может оказаться правильной. Но, с другой стороны, считать, что такого рода допущение окажется правильным — чрезвычайно трудно: как ни мала плотность воздуха на этих высотах, тем не менее, под действием солнечных лучей, мы должны ожидать хотя бы слабого процесса конвекционного перемещения, и возможность различных поверхностей раздела можно допустить только при наличии сильного скачка температуры, т. е. при предположении, что на высоте 40 км мы имеем резко выраженную инверсию, сильное повышение температуры.

Однако, как показали вычисления, мы можем объяснить факт отражения звуковых волн, без допущения уменьшения плотности газов, только повышением температуры, которое должно составлять, правда, довольно большую величину; можно думать, что повышение температуры происходит примерно до 60 км и температура здесь от +30 до +40° вместо 55° ниже нуля ниже 40 км. Такого рода резкая инверсия объясняется наличием здесь слоя озона, поглощающего ультрафиолетовое излучение солнца и потому нагревающегося. Чрезвычайно важно было проверить эту теорию и выяснить различные детали этого явления. В настоящее время в Германии, Франции и ряде других стран организованы систематические исследования распространения звуковых волн.

Существуют специальные комиссии и приборы для этих исследований, о чем будет сказано в других докладах.

Все эти исследования, произведенные на различных широтах, дали в общем согласную картину, ту, о которой я говорил в начале своего доклада. Возник вопрос: если высокая температура верхних озонированных слоев вызывается действием солнечной радиации, — а только, казалось бы, одной солнечной радиацией и можно объяснить наличие этих условий, — то можно допустить, что в течение длительной полярной ночи эти слои успевают охлаждаться и влияние их на ход звукового луча ослабляется, или даже исчезает. Однако делать такой общий вывод рискованно. Я уже указывал на весьма большое значение горизонтальной конвекции, при которой строение воздушных масс на высотах получает общие черты, и в этом отношении нужно было бы ожидать в верхних слоях, даже при объяснении этого слоя действием солнечных лучей, какого-то следа инверсии на высоте 40 км, даже в течение полярной ночи. Во всяком случае, представлялось чрезвычайно важным произвести эксперимент для исследования этого явления в Арктике. Такой эксперимент и был поставлен в 1932 г. — международном полярном году. Об этих работах будет сказано в дальнейшем инж. Л. С. Фрейманом, участником этих работ. Я лишь укажу на то, что не только было доказано существование этого слоя, но выяснилось, что он имеет как-будто большую мощность. Это обстоятельство заставляет предполагать, что причины, вызвавшие этот слой, не могут быть связаны только с воздействием солнечной радиации и повидимому должны быть какие-то другие факторы, позволяющие разъяснить развитие этого слоя и без солнечной радиации и в течение полярной ночи. В настоящее время полная обработка результатов, полученных в Арктике, еще не закончена. Несомненно, результаты эти еще будут дебатироваться в соответствующей литературе. Я позволю себе только указать на одно обстоятельство, которое до известной степени может дать разъяснение этого явления.

Надо сказать, что воздушная масса в атмосфере, как и всякая масса, находится под действием двух сил — силы земного притяжения и центробежной силы — силы, создаваемой вращением земли. Равнодействующая этих сил и представляет собой то, что мы называем силой тяжести. У земной поверхности эта сила тяжести перпендикулярна земной поверхности, и мы имеем отсутствие свободной составляющей этой силы вдоль земной поверхности. Но по мере того, как мы будем подниматься в атмосферу, мы получаем, с одной стороны, уменьшение силы тяжести, а, с другой стороны, увеличение центробежной силы.

Вследствие этого возникает свободная составляющая (относительно земной поверхности) по направлению к экватору, которая создает силу, под действием которой находятся воздушные массы. Атмосфера, в частности стратосфера, имеет неодинаковую высоту в разных широтах; наибольшая высота наблюдается над экватором, в области, где имеется

наибольшее развитие этих сил, и таким образом допускается накопление воздушных масс над экватором.

При этом нужно считаться с тем обстоятельством, что составляющая этих сил незначительна по сравнению с силой тяжести. В остальном же мы имеем такую же картину, как и для равновесия воздушных масс под действием силы тяжести. Мы прекрасно знаем основные законы равновесия: для того, чтобы воздушные массы находились в равновесии по вертикали, необходимо, чтобы плотность этих масс была одинакова с плотностью окружающих воздушных масс. Если данная воздушная масса будет теплее, она будет подниматься вверх, совершая при этом сложный процесс конвективного перемешивания; если воздушная масса будет холоднее, она будет опускаться вниз.

Такая же картина должна иметь место и в горизонтальном направлении. Если допустим наличие направляющих сил по горизонтали, то мы должны принять, что воздушная масса, оказавшаяся более плотной, должна будет отброситься действием этих сил по направлению к экватору, а менее плотная воздушная масса будет отброшена к полюсам. Этот механизм, очевидно, в конечном итоге ведет к такому распределению воздушных масс в верхних слоях, когда более теплые массы сосредоточатся в полярных районах, а более холодные будут отброшены в экваториальные районы. Таким образом, мы получаем как бы некоторый сепаратор, который распределяет воздушные массы, в зависимости от их плотности, и так как в атмосфере мы имеем ряд причин, которые могут вызывать неравномерность распределения плотностей, то при действии этих сил будет происходить отбрасывание теплых, менее плотных масс в полярные районы и холодных, более плотных, в экваториальные районы. Этим можно объяснить, что в полярных странах мы имеем сильное развитие теплых слоев. Полную теорию дать в настоящее время затруднительно; требуется длительный ряд исследований для этой цели; интересно было бы их организовать одновременно на различных широтах. Независимо от долготы, можно было бы иметь несколько пунктов, исследующих распределение этого теплого слоя, для чего необходимо иметь соответствующую сеть пунктов, регистрирующих звуковые волны в полярных, средних и более южных районах. Пожалуй, только в одном Союзе мы встречаем благоприятные условия для этого метода, потому что мы имеем у себя равнинный характер страны, имеем и полярные, и средние, и субтропические широты, и потому не представляется никаких затруднений организовать такого рода исследования одновременно на различных широтах.

Исследования более высоких слоев (выше 70—100 км) производятся при помощи радио и у нас и за границей. Касаться этого вопроса я здесь не буду; укажу только, что мы имеем в последнее время ряд весьма важных в этом направлении данных, полученных на основании исследований М. А. Бонч-Бруевича. Этот вопрос будет также подробно освещен в дальнейшем на нашей Конференции.

В заключение, остановлюсь несколько на состоянии науки об атмосфере. Мы встречаем такой взгляд, что наука об атмосфере, обычно называемая метеорологией (правильнее может быть ее называть аэрологией), находится на очень низкой ступени развития. Очень часто эту науку относят к разряду сравнительно мало развитых дисциплин. Надо, конечно, бороться с такого рода взглядом. Несомненно, что наука об атмосфере должна в дальнейшем чрезвычайно широко развиваться. Она имеет еще очень много нерешенных проблем, но нерешенность этих проблем связана вовсе не с качеством применяемых методов и не с недостаточным развитием самой аэрологии. Это обстоятельство коренится в чрезвычайной сложности стоящих перед аэрологией проблем, которые связаны с исследованием динамических факторов, и для них мы имеем только отдельные, не связанные между собой иногда зондировки; часто мы имеем процесс, который быстро развивается и исследование которого оказывается невозможным после того, как процесс проходит, и мы уже теряем возможность когда-либо получить какие-либо сведения об этом процессе. Выходом из этого положения служил до сих пор статистический метод, который позволяет отбросить отдельные особенности развития тех или иных процессов, чтобы выделить из них более общую картину. Конечно, этот метод не является окончательным методом, и его наличие в метеорологии объясняется только недостаточным развитием техники исследования атмосферы. При дальнейшем развитии, при наличии подробного материала, характеризующего строение атмосферы при наличии точек, по возможности близко расположенных друг от друга по времени и в пространстве, можно будет составить гораздо более точную картину для всей атмосферы.

Совершенно несомненно, что в дальнейшем перед нами возникнет ряд весьма серьезных проблем, для решения которых необходимо привлечение самых широких кругов нашей науки — теоретиков-физиков и техников для преодоления встречающихся трудностей.

Можно рассчитывать, что при достаточно широко развитой методике исследования стратосферы и анализа результатов работы советская аэрология выйдет на широкий путь применения своих данных для социалистического хозяйства. Я надеюсь, что Конференция даст толчок дальнейшему развитию аэрологии. Пожелаем Конференции успешной работы в этом направлении.

---

Н. Е. КОЧИН

## БАРОМЕТРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА И СТРОЕНИЕ ВЕРХНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ

1. Барометрическая формула является одной из важнейших формул аэрологии. Эта же самая формула позволяет теоретически вывести, правда лишь при целом ряде добавочных допущений, количественный состав воздуха в стратосфере на различных высотах. В связи с этим представляется интересным дать обзор некоторых из тех работ, в которых с чисто механической точки зрения изучается распределение по высоте давления, плотности и состава воздуха.

2. Первый вопрос, который мы рассмотрим, касается применения барометрической формулы в тропосфере, точнее в том нижнем слое атмосферы, в котором, в силу конвективного перемешивания, состав воздуха можно считать однородным и который, судя по данным полета стратостата „СССР“, простирается до высоты не менее 20 км, захватывая таким образом и часть стратосферы.

Важным обстоятельством является то, что барометрическая формула, являясь по существу формулой гидростатики, может быть рассматриваема в тоже самое время как приближенная формула гидромеханики, причем ошибка, делаемая при таком приближении, является чрезвычайно малой. Это обстоятельство было с чрезвычайной ясностью выяснено в работе Фридмана и Гессельберга,<sup>1</sup> посвященной учету порядка величины различных метеорологических элементов. Обозначая через  $z$  — высоту, через  $p$  — давление,  $\rho$  — плотность,  $T$  — температуру,  $v_x$  — вертикальную скорость,  $v_y$  — составляющую скорость по параллели к востоку,  $\varphi$  — широту,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $\omega$  — угловую скорость вращения земли,  $\bar{\nu}$  — кинематический коэффициент вязкости, напишем одно из уравнений гидромеханики

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -g - \frac{dv_z}{dt} + 2\omega \cos \varphi v_y + \bar{\nu} \left[ \frac{1}{3} \frac{\partial \operatorname{div} \vec{v}}{\partial z} + \Delta v_z \right]. \quad (1)$$

<sup>1</sup> Th. Hesselberg und A. Friedmann. Die Größenordnung der meteorologischen Elemente und ihrer räumlichen und zeitlichen Ableitungen. Veröffentlichungen des Geophysikalischen Instituts der Universität Leipzig, 2 Serie, H. 6, Leipzig, 1914, 162—164.

Рассматривая порядок различных членов правой части и обозначая этот порядок знаком 0, приходим, согласно Фридману и Гессельбергу, к следующим оценкам (за единицы взяты метр и секунда):

$$0(g) = 10^1; \quad 0(2\omega \cos \varphi v_y) = 10^{-4} - 10^{-3};$$

$$0\left(\frac{dv_x}{dt}\right) = 10^{-8} - 10^{-5}; \quad 0\left(\frac{1}{3} \frac{\partial \operatorname{div} v}{\partial z} + \Delta v_z\right) = 10^{-8} - 10^{-7}.$$

Лабораторное значение  $\bar{\nu}$  при нормальных условиях есть  $\bar{\nu} = 1.3 \times 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$ . Но, как известно, в условиях атмосферной действительности проявляется вязкость турбулентная, которой соответствует значение коэффициента вязкости в несколько сот тысяч раз большее. Во всяком случае, даже принимая  $\bar{\nu}$  в 500 000 раз большим, мы получаем для  $\bar{\nu}$  величину порядка  $10^1$  и для членов уравнения (1), зависящих от вязкости, величину порядка  $10^{-7} - 10^{-6}$ .

Отсюда следует, что если мы в правой части уравнения (1) пренебрежем всеми членами, кроме  $g$ , то мы сделаем ошибку порядка 0.01% и в громадном большинстве случаев не больше 0.1%. Заметим, что пренебрегая влиянием изменения силы тяжести с высотой при определении давления на высоте 20 км, мы уже делаем ошибку порядка 1%, и затем эта ошибка возрастает сильнее, чем квадрат высоты. Но изменение силы тяжести с высотой, в силу его закономерности, очень легко учесть. Итак, мы приходим к формуле

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g\rho,$$

которая в соединении с уравнением Клапейрона дает обычную барометрическую формулу

$$p = p_0 e^{-\frac{g}{R} \int_0^z \frac{dz}{T}} \quad (2)$$

или обычную гипсометрическую формулу

$$z = \frac{g}{R} \int_p^{p_0} T d \log p.$$

На самом деле в эти формулы должна входить так называемая виртуальная температура, при помощи которой учитывается влияние влажности. Однако разница между обычной и виртуальной температурой не велика, и поэтому мы приходим к выводу, что для применения барометрической формулы самым важным является по возможности точное знание давления и плотности. Попутно отметим, что если имеющаяся на метеорограмме запись дает температуру, отличающуюся от истинной всюду на  $1^\circ$ ,

то при определении высоты порядка 20 км у нас получится ошибка на 80 м; если же давление по записи отличается от истинного на 1 миллибар, то получается ошибка уже в 150 м. Сравнивая высоту стратостата или шарозонда, измеренную геодезически, с высотой, получаемой путем исследования метеорограммы на основании барометрической формулы, мы получаем возможность оценить порядок ошибки записи температуры и давления.

3. Отметим далее, что барометрическая формула, являясь формулой гидростатики, выражает совершенно определенный механический факт, который грубо можно выразить так, что давление наверху какого-либо столба воздуха единичного поперечного сечения меньше давления внизу этого столба, как раз на вес этого столба. В настоящее время большой интерес вызывает вопрос о влиянии стратосферы на тропосферу и обратно. Некоторые метеорологи пытались обосновать доказательство зависимости тропосферных процессов от стратосферных на вытекающем из барометрической формулы соотношении, связывающем изменение давления наверху воздушного столба с изменением давления внизу и с изменением средней температуры этого столба. Такое доказательство нужно признать совершенно неприемлемым, ибо барометрическая формула только констатирует один из конечных результатов тех процессов, которые происходят в атмосфере, а именно результат, выражающийся в том или ином перераспределении масс. Так как перераспределение масс может произойти в результате самых различных процессов, а подсчеты, производимые при помощи барометрической формулы, могут дать сведения только о перераспределении масс, то отсюда следует, что применение барометрической формулы не может дать точных сведений о процессах, происходящих в атмосфере, а позволяет только сделать некоторые догадки об этих процессах. В частности тот факт, что при малом изменении давления в стратосфере и при неизменной средней температуре столба воздуха получается большое изменение давления внизу тропосферы, одинаково хорошо может получиться один раз в результате процессов, происходящих в стратосфере, а другой раз — в результате процессов, происходящих в тропосфере.

Такая ограниченность барометрической формулы компенсируется зато точностью результатов, ею доставляемых, если только в основу расчета положить опять-таки достаточно точные данные.

4. Переходим теперь к рассмотрению более высоких слоев атмосферы. В то время как в нижней части атмосферы большую роль играет конвективное перемешивание, приводящее, с одной стороны, к однородному составу воздуха, а, с другой стороны, к выравниванию потенциальной температуры и, следовательно, к падению обычной температуры с высотой, можно думать, что в более высоких слоях атмосферы конвективное перемешивание является гораздо менее интенсивным. Но, как учит кинетическая теория газов, если имеется смесь газов, — каковой является воздух, — которая находится под действием силы тяжести и на которую не действуют никакие возмущения, то будет

происходить процесс диффузии, состоящий в том, что более тяжелые молекулы будут иметь тенденцию опускаться вниз, а более легкие — подниматься вверх, пока не установятся такие градиенты концентрации составных частей воздуха, при которых тенденция более тяжелых молекул опускаться вниз будет компенсироваться более частыми ударами молекул, находящихся внизу. В результате устанавливается диффузное равновесие воздуха, при котором каждая составная часть воздуха распределяется по вертикали согласно своему молекулярному весу, а именно, согласно закону Дальтона, получается такое распределение плотности этой составной части воздуха по высоте, как если бы эта составная часть находилась в атмосфере изолированно. Поэтому для численных расчетов распределения давления и плотности каждой составной части по высоте можно пользоваться той же барометрической формулой, нужно только учесть, что газовая постоянная  $R = \frac{R_*}{m}$  будет обратно пропорциональна молекулярному весу  $m$  рассматриваемого компонента. Ясно, что тяжелые компоненты будут убывать с высотой быстро, в то время как более легкие компоненты убывают медленно. В результате на больших высотах должно получаться преобладание легких газов. Отсюда вытекает, что главное внимание нам нужно обратить на наличие в атмосфере легких газов, а именно водорода и гелия. Газы тяжелее воздуха, как аргон, ксенон и криптон, в силу своего большого молекулярного веса, уже на сравнительно небольшой высоте будут составлять весьма малый процент воздуха. Количество такого газа, как неон, более легкого чем воздух, настолько незначительно в атмосфере, что ни на какой высоте он не составляет значительного процента в общем составе воздуха. Молекулярный вес водяного пара тоже меньше молекулярного веса воздуха, — однако по термодинамическим соображениям его количество в верхних слоях атмосферы тоже не может составлять заметной доли атмосферы. Таким образом, главными составными частями атмосферы на больших высотах могут являться азот, кислород, гелий и водород.

Из сказанного видно, что для того, чтобы мы могли произвести расчет содержания этих составных частей воздуха на различных высотах, нам необходимо знать три следующих величины: 1) ту высоту  $H$ , на которой прекращается конвективное перемешивание воздуха и выше которой начинается уже диффузное равновесие; конечно, на самом деле такой резкой границы не существует, но для вычислений введение такой резкой границы является удобным; эту высоту следует принимать равной не ниже, чем 20 км и, как мы увидим далее, не выше, чем 100—150 км; 2) распределение температуры по высоте — на этот счет мы не имеем непосредственных измерений выше 35 км, а имеем только ряд предположений, выводимых на основании различных косвенных методов, как, например, звукового и, наконец, 3) состав воздуха на высоте  $H$ , мало отличающийся в отношении рассматриваемых элементов от состава воздуха вблизи по-

верхности земли. По этому пункту нужно заметить, что мы имеем очень согласные определения различных авторов относительно азота, кислорода и гелия, в то время как содержание водорода определяется чрезвычайно различно. Некоторые авторы, как, например, Чэпман, считают возможным даже выставлять гипотезу об отсутствии водорода в стратосфере.

5. Не останавливаясь на формулах, по которым можно рассчитать содержание воздуха на различных высотах и которые имеются, например, в работе Чэпмана и Мильна<sup>1</sup>, приведем только вытекающие из этих формул результаты.

Уже на высоте 3 км над тем уровнем, выше которого имеет место диффузное равновесие, состав воздуха должен измениться заметным образом, а именно в нем должно быть одним процентом азота больше и соответственно одним процентом кислорода меньше. Таким образом, исследование проб воздуха, взятых с больших высот, сразу позволяет сказать, принадлежит ли этот воздух к зоне диффузного равновесия или еще нет.

В области диффузного равновесия относительное содержание более высоких газов все время убывает, относительное содержание более легких все время возрастает.

Чем выше находится нижняя граница слоя диффузного равновесия, тем больше на данной высоте плотность и давление тех составных частей воздуха, плотность которых больше средней плотности воздуха, тем больше будет, следовательно, относительное количество более тяжелых компонентов воздуха и тем, следовательно, медленнее будет происходить их разделение с высотой. Полное давление при этом уменьшается, полная же плотность на данной высоте, рассматриваемая в функции высоты  $H$ , имеет минимум, при высоте  $H$ , примерно на 6 км ниже рассматриваемой высоты.

Рассмотрение фиг. 1, на которой по оси абсцисс нанесены высоты, по оси ординат значения  $\lg p$  (эта фигура построена в предположениях, что водород отсутствует и что температура стратосферы равна — 55°С), показывает, что до высоты, примерно 100 км, влияние высоты начала диффузного равновесия на полное давление (и аналогично плотность) почти отсутствует. Видно далее, что соответствующие кривые состоят из двух кусков, мало отличающихся от прямых; первая прямая, наклонная под более крутым углом к оси абсцисс, соответствует смеси азота и кислорода, а вторая — остающемуся в верхних слоях более легкому газу. Соединяющая эти две прямые кривая соответствует слою, в котором происходит разделение более легких от более тяжелых газов, и видно, что это разделение происходит более резко при малых высотах  $H$ .

Рассмотрим теперь влияние изменения температуры. Чем выше температура стратосферы, тем больше будет на какой-либо высоте полное давление и на достаточной высоте также и полная плотность, тем больше

<sup>1</sup> S. Chapman and E. A. Milne. The composition, ionisation and viscosity of the atmosphere at great heights. Quart. Journ. R. Meteorol. Soc., vol. 46, 1920, 357—398.

будет относительное содержание более тяжелых компонентов воздуха и тем медленнее будет разделение воздуха с высотой.

Наконец, что касается состава воздуха внизу, то здесь существенное значение имеет не столько вопрос об относительных количествах наиболее легкого компонента, сколько вопрос вообще об его наличии в атмосфере, так как если только легкий газ содержится в воздухе, то на достаточно больших высотах он наверное должен играть преобладающую роль. Следует заметить еще, что если водород присутствует в атмосфере, то давление и плотность на больших высотах порядка 150—200 км будут в десятки и сотни раз превосходить те величины, которые соответствуют гелиевой атмосфере.

Необходимо далее отметить наличие в атмосфере определенного количества озона. Однако это количество настолько незначительно, что не может оказать существенного влияния на подсчеты давления, плотности и состава воздуха в атмосфере. Существование озона можно объяснить только наличием механизма, который образует атомный кислород посредством расщепления молекул кислорода.<sup>1</sup> Можно думать, что разложение молекул кислорода производится ультрафиолетовой радиацией, поглощаемой в верхних слоях атмосферы. На больших высотах, в силу малости давления, реакции соединения будут протекать слабо, и, следовательно, озона будет образовываться мало, в силу чего в этих слоях должно быть велико содержание атомного кислорода; последний, диффундируя вверх, должен вместе с атомным азотом составить главнейшие компоненты воздуха наверху, помимо гелия и водорода, если последние присутствуют. В результате мы должны ожидать быстрое уменьшение концентрации озона с высотой над уровнем максимальной концентрации и особенно над уровнем конвективного перемешивания и соответственное увеличение концентрации атомного кислорода кверху.

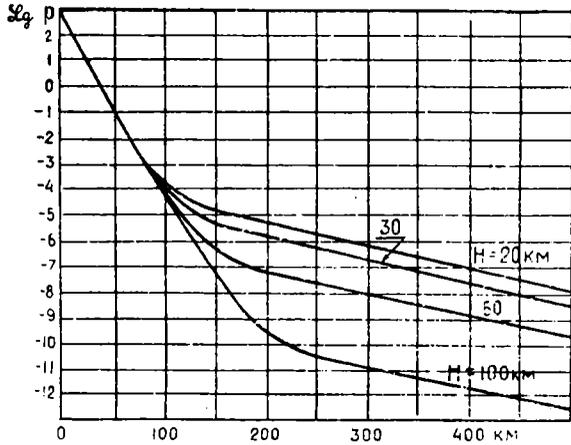
В результате всех этих соображений можно прийти к следующим заключениям: для атмосферных явлений, в которых играют роль плотность, давление и состав воздуха и которые происходят в слое атмосферы толщиной порядка 100 км, наличие легких компонентов воздуха и высота начала диффузного равновесия существенного значения не имеют. Напротив, эти обстоятельства чрезвычайно влияют на процессы, происходящие выше 150 км. Поэтому, если бы можно было произвести, например, определение плотности воздуха на высоте, скажем, 150 км, то это могло бы пролить свет и на вопрос о составе воздуха в верхних слоях стратосферы и о той высоте, на которой начинается диффузное равновесие. При этом очень малая плотность будет указывать на большую высоту начала диффузного равновесия, низкую температуру и отсутствие легких компонентов воздуха, в то время как сравнительно большая плотность соответствует противоположным условиям.

<sup>1</sup> См., напр., S. Chapman. On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere. *Phil. Mag.*, (7) 10, 1930, 369—383.

6. Возвращаясь к вопросу о той высоте, на которой начинается диффузное равновесие, приведем соображения теоретического характера, сюда относящиеся и указанные в работах Эпштейна и Мариса.<sup>1</sup>

Допустим, что в силу некоторых причин произошло такое перемешивание воздуха, при котором он на всех высотах оказался однородным по своему составу и пусть затем этот воздух предоставлен самому себе; тогда начнется процесс диффузии, и естественно поставить вопрос о том, какими темпами будет совершаться этот процесс. Оказывается, что в то время как на высотах свыше 150 км диффузное равновесие устанавливается весьма быстро в течение нескольких минут и часов,

на высоте около 100 км темпы установления диффузного равновесия весьма замедляются; тут требуется уже время порядка нескольких месяцев, чтобы установилось состояние, близкое к диффузному равновесию. Принимая во внимание возможность перемешивания атмосферы в верхних слоях, в силу хотя бы того, что ночью и днем, летом и зимой условия излучения и поглощения лучистой энергии чрезвычайно различны, — мы должны учитывать возможность того, что, быть может, нижняя граница области диффузного равновесия лежит очень высоко — на высоте примерно 100 км. В этом случае на высотах выше 200 км плотность будет значительно меньше, чем дают обычные вычисления.



Фиг. 1.

Принимая, для упрощения задачи, что диффузии подвергается газ, концентрация которого в воздухе не велика и считая температуру воздуха постоянной, можем считать, что плотность воздуха, вследствие диффузии газа, не меняется и определяется формулой

$$\delta = \delta_0 e^{-\mu z},$$

где

$$\mu = \frac{Mg}{R_* T}$$

( $M$  — молекулярный вес воздуха).

В соответствии с этим коэффициент диффузии, который, как известно, обратно пропорционален плотности, имеет значение

$$\kappa = \kappa_0 e^{\mu z}.$$

<sup>1</sup> P. S. Epstein. Über Gasentmischung in der Atmosphäre, Gerlands Beiträge zur Geophysik, 35, 1932, 153—165. — H. B. Maris. The upper atmosphere, terrestrial magnetism and atmospheric electricity, 33, 1928, 233—255; 34, 1929, 45—53.

Рассмотрим теперь поток газа через горизонтальную плоскость (рассчитанный на единицу площади в единицу времени). Прежде всего, в силу разности концентраций по высоте, существует поток газа направленный снизу вверх, если концентрация книзу возрастает, и равный

$$\frac{dq_1}{dt} = -\kappa \frac{\partial \rho}{\partial z} = -\kappa_0 e^{\mu z} \frac{\partial \rho}{\partial z},$$

где  $\rho$  — плотность газа. С другой стороны, в силу действия силы тяжести будет происходить поток газа сверху вниз со скоростью

$$v = mgB, \quad (3)$$

где  $m$  — молекулярный вес газа, диффузию которого мы рассматриваем, а  $B$  — некоторый коэффициент. Этой скорости  $v$  соответствует поток газа

$$\frac{dq_2}{dt} = -v\rho = -mgB\rho,$$

так что полный поток будет

$$\frac{dq}{dt} = -\kappa \frac{\partial \rho}{\partial z} - mgB\rho.$$

Но если имеется диффузное равновесие газа, т. е. если

$$\rho = \rho_0 e^{-\nu z},$$

где

$$\nu = \frac{mg}{R_* T},$$

то полный поток газа через каждую горизонтальную плоскость должен обращаться в нуль. Это приводит к условию

$$mgB = \kappa\nu, \quad (4)$$

и, следовательно, в общем случае мы находим следующее выражение для потока газа

$$\frac{dq}{dt} = -\kappa \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \rho \right) = -\kappa_0 e^{\mu z} \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \rho \right). \quad (5)$$

Теперь обычным способом составим уравнение, определяющее изменение  $\rho$  с течением времени

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \kappa_0 \frac{\partial}{\partial z} \left[ e^{\mu z} \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \rho \right) \right]. \quad (6)$$

Эпштейн полностью интегрирует это уравнение и в результате его исследования получает возможность сделать те заключения, о которых было сказано выше.

7. Мы применим тот же метод к решению еще двух задач.

Прежде всего мы можем рассмотреть вопрос о падении озона в атмосфере. Известно, что озон находится в слое атмосферы, лежащем между высотами от 20 до 80 км, причем его распределение по высоте не подчиняется барометрической формуле. В силу только что сказанного мы можем ожидать, что диффузия озона происходит чрезвычайно медленными темпами, так что мы можем ею пренебречь. Но возникает вопрос, не будет ли озон, в силу большей своей тяжести, падать вниз и таким образом передаваться в более нижние слои атмосферы. Чтобы рассмотреть этот вопрос, вычислим вертикальную скорость, с которой перемещается вниз центр тяжести столба озона; она, очевидно, равна

$$V = - \frac{\int_0^{\infty} z \frac{\partial \rho}{\partial t} dz}{\int_0^{\infty} \rho dz},$$

что, в силу уравнения (6), после простого интегрирования по частям приводит к формуле

$$V = \kappa_0 \frac{\int_0^{\infty} e^{\mu z} \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \rho \right) dz}{\int_0^{\infty} \rho dz}.$$

Обозначая через  $z_m$  высоту максимальной концентрации озона, примем следующий закон распределения озона по высоте

$$\rho(z) = C e^{-a(z-z_m)^2}.$$

Тогда простые вычисления приводят к следующей формуле

$$V = \kappa_0 e^{\mu z_m} (\nu - \mu) e^{\frac{\mu^2}{4a}}.$$

Если принять что озон сосредоточен в тонком слое, находящемся на высоте 50 км, то нужно принять  $a = \infty$ , и, подставляя вычисленные согласно формулам динамической теории газов значения  $\kappa_0 = 0.05 \frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$ ,  $\mu = 1.25 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{см}}$ ,  $\nu = 2.1 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{см}}$ , находим  $V = 1.8 \frac{\text{м}}{\text{сутки}}$ . Эта же самая оценка имеет место и в том случае, когда мы принимаем главную массу озона находящейся в слое от 20 до 80 км, так как величина  $\frac{\mu^2}{4a}$  оказывается очень малой. Это означает, очевидно, не что иное, как то, что для вычисления скорости падения озона мы можем воспользоваться формулами (3) и (4), применяя их к слою максимальной концентрации озона.

Заметим, что Рокар,<sup>1</sup> определяя скорость падения озона на основании методов динамической теории газа, получил для нее величину  $22 \frac{\text{м}}{\text{сутки}}$ , т. е. величину того же порядка, что и мы. В результате мы приходим к заключению, что изменение состояния слоя озона нужно объяснять исключительно процессами озонообразования и озоноразрушения или же атмосферными движениями больших масштабов.

8. По существу теми же самыми уравнениями что и Эпштейн пользуется и Петерсен,<sup>2</sup> высказывая ряд соображений, относящихся к содержанию гелия в атмосфере. Содержание гелия в нижних слоях атмосферы определяется довольно согласно различными авторами, как  $0.0004\%$  по объему. Смотря по тому, какие предположения мы сделаем о распределении состава воздуха с высотой, этому соответствует содержание гелия от  $0.0004$  до  $0.0006$  г на каждый кв см поверхности земли или объем  $10^{14}$ — $10^{13}$  м<sup>3</sup> при нормальных условиях. Но подсчеты показывают, что в одной Северной Америке выделяется ежегодно  $17 \times 10^6$  м<sup>3</sup> гелия; следовательно, имеющееся в атмосфере количество гелия могло бы быть получено из земли за 1 млн. лет. Следовательно, этот поток гелия из земли в атмосферу не может считаться незначительной величиной, и возникает вопрос, как учесть его влияние на изменение содержания гелия с высотой. Обозначая поступающий в атмосферу поток гелия через  $Q$ , будем иметь, согласно формуле (5), в предположении стационарности процесса,

$$-\kappa_0 e^{\mu z} \left( \frac{\partial \varrho}{\partial z} + \nu \varrho \right) = Q,$$

интегрирование которого уравнения дает

$$\varrho(z) = \varrho_0 e^{-\nu z} - \frac{Q}{\kappa_0(\mu - \nu)} [e^{-\nu z} - e^{-\mu z}].$$

Обозначая плотность гелия при отсутствии потока через  $\bar{\varrho}(z)$ , будем иметь

$$\frac{\varrho(z)}{\bar{\varrho}(z)} = 1 - \frac{Q}{\kappa_0 \varrho_0 (\mu - \nu)} [1 - e^{-(\mu - \nu)z}].$$

Но при температуре  $T = 0^\circ\text{C}$  мы имеем для азота  $\mu = 1.21 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{см}}$ , для гелия  $\nu = 1.73 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{см}}$ , поэтому на высоте свыше 50 км показательный член уже очень мал ( $< 0.01$ ), и мы приходим к приближенной формуле

$$\frac{\varrho(z)}{\bar{\varrho}(z)} = 1 - \frac{Q}{\kappa_0 \varrho_0 (\mu - \nu)},$$

<sup>1</sup> Y. Rocard. Chute d'un gaz lourd dans un gaz léger. Stabilité de l'ozone dans la haute atmosphère. Comptes Rendus, 188, 1929, 1336—1338.

<sup>2</sup> Helge-Petersen. On the influence on the composition of the air of a possible high temperature in the highest strata of the atmosphere, Publikationer fra det Danske Meteorologiske Institut, Communications magnétiques, Nr. 6, 1928.

показывающей, что в случае стационарного потока гелия через атмосферу, когда в самых верхних слоях атмосферы испускается в мировое пространство количество гелия, равное тому, которое поступает в земную атмосферу из земли, количество гелия в верхних слоях будет меньше, чем в обычном статическом случае. Принимая для численных подсчетов  $x_0 = 0.53 \frac{\text{см}^3}{\text{сек.}}$ ,  $\rho_0 = 7.25 \times 10^{-10} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  и считая, что  $Q$  равно  $1 \frac{\text{м}^3}{\text{сек.}}$  для всей земли (что соответствует удвоенной обильности гелиевых полей, находящихся в Северной Америке), т. е.  $Q = 3.6 \times 10^{-7} \frac{\text{г}}{\text{см/сек.}}$ , получаем

$$\frac{Q}{x_0 \rho_0 (\mu - \nu)} = 0.09.$$

Таким образом, получается уменьшение содержания гелия в верхних слоях на  $10^0\%$ . Однако нужно отметить, что значение  $Q$  является величиной, определенной очень неточно. Отметим, что если бы значение  $Q$  оказалось гораздо большим, то мы поток гелия через атмосферу ни в коем случае не могли бы считать стационарным и должны были бы вернуться к общему уравнению (6). Если, например, принять, что поступающий из земли гелий целиком остается в атмосфере, то нужно интегрировать уравнение (4) при условиях

$$-x_0 e^{\mu z} \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \rho \right) = \begin{cases} Q & \text{при } z = 0 \\ 0 & \text{при } z = \infty \end{cases}.$$

Всякое решение, удовлетворяющее этим граничным условиям, стремится при  $t \rightarrow \infty$  к следующему частному решению уравнения (6), удовлетворяющему поставленным граничным условиям

$$\rho(z) = (C + Q\nu t) e^{-\nu z} + \frac{Q}{\mu(\mu + \nu)x_0} [(\mu + \nu) e^{-(\mu + \nu)z} - \nu e^{-\mu z}],$$

где  $C$  — некоторая постоянная. В этом случае мы имеем:

$$\rho_0 = C + Q\nu t + \frac{Q}{(\mu + \nu)x_0}, \quad \rho(z) = \rho_0 e^{-\nu z} - \frac{Q}{\mu x_0} e^{-\nu z} [1 - e^{-\mu z}]$$

и

$$\frac{\rho(z)}{\rho_0} = 1 - \frac{Q}{\mu x_0 \rho_0} [1 - e^{-\mu z}].$$

Для больших высот имеем

$$\frac{\rho(z)}{\rho_0} = 1 - \frac{Q}{\mu x_0 \rho_0},$$

причем, при тех же предположениях, что выше

$$\frac{Q}{x_0 \rho_0 \mu} = 0.077,$$

так что получается уменьшение содержания гелия в верхних слоях на  $8^0\%$ .

Однако в этом последнем случае должно происходить накопление гелия в атмосфере, и, следовательно, нужно было бы ожидать большего его содержания, чем это наблюдается. Поэтому необходимо допустить возможность улетучивания гелия в междупланетное пространство.

9. Нужно заметить, что вопрос об улетучивании гелия и водорода из атмосферы не представляется совершенно ясным. Дело в том, что оставаясь на чисто механической точке зрения, мы должны считать, что силы притяжения к земле настолько велики, что улетучивание даже таких легких газов, как гелий и водород, происходит чрезвычайно медленными темпами, как это показано например у Джинза<sup>1</sup> и более детально выяснено Мильном<sup>2</sup> и Джонсом.<sup>3</sup> Однако при этом не учитываются два обстоятельства. Во-первых, температура самых верхних слоев атмосферы может быть столь велика, что улетучивание легких газов будет происходить гораздо более быстрыми темпами; в особенности это может относиться к водороду. Во-вторых, в слоях атмосферы, находящихся на очень большой высоте, самое понятие температуры может утратить свой смысл, ибо там перестает иметь место закон распределения скоростей. В самом деле, верхние слои атмосферы пронизаны потоками энергии, исходящими от солнца, и эти потоки, действуя на сравнительно редкие молекулы, лежащие в верхних частях атмосферы, могут значительному количеству из них сообщить гораздо большие скорости, чем это полагается по закону распределения скоростей. В результате получится возможность значительному числу молекул вылететь навсегда за пределы атмосферы. Подсчеты потребной для этого энергии показывают, что те потоки энергии, которые пронизывают атмосферу, во много раз превосходят то количество энергии, которое потребно для того, чтобы сообщить надлежащие для вылета за пределы атмосферы скорости количеству молекул гелия, находящихся в 1 м<sup>3</sup> при нормальных условиях.

---

<sup>1</sup> J. H. Jeans. *Dynamical Theory of Gases*. Cambridge.

<sup>2</sup> E. A. Milne. The escape of Molecules from an Atmosphere, with special reference to the Boundary of a Gaseous Star. *Trans. of the Cambridge Phil. Soc.*, vol. XXII, № 26, 1923, 483—517.

<sup>3</sup> J. E. Jones. Free Paths in a Non-uniform Rarefied Gas with an Application to the Escape of Molecules from Isothermal Atmospheres. *Trans. of the Cambridge Phil. Soc.*, vol. XXII, № 28, 1923, 535—556.

В. И. ВИТКЕВИЧ

## О РАБОТАХ ПО ИЗУЧЕНИЮ СТРАТОСФЕРЫ, ВЫПОЛНЕННЫХ В МОСКВЕ

Работы по изучению стратосферы в Москве были начаты еще в 1905 г. известным основателем русской аэрологии В. В. Кузнецовым. В течение 9 лет, с 1905 г. по 1914 г., В. В. Кузнецов выпустил в Кучине под Москвой 60 шаров-зондов; наибольшая достигнутая высота была 19 км. На основании этих подъемов В. В. Кузнецов построил изоплеты распределения температуры по месяцам до высоты 12 км. Обработка до больших высот была затруднительна вследствие сравнительно малого числа произведенных подъемов. Результаты, полученные В. В. Кузнецовым, даны на фиг. 1. Несколько ранее небольшую серию подъемов шаров-зондов в Москве произвел швейцарский аэролог де-Кервен.

Эти подъемы были выполнены с башни Геофизического института на Пресне; однако число этих подъемов было невелико и не давало возможности сделать какие-либо обобщающие выводы о строении атмосферы над Москвой.

Далее, работы по изучению распределения ветра в стратосфере были поставлены в 1918—1920 г. В. А. Ханевским.

В основу обработки были положены международные подъемы с 1905 по 1912 год.

В своих работах: „Circulation générale de l'atmosphère“ (Bulletin de l'Institut de Physique Cosmique de Moscou, fasc. I, 1923) и „Общая система ветров между экватором и 70° с. ш. (журнал „Геофизика и Метеорология“, т. I, вып. 2, 1925 г.) В. А. Ханевский использует результаты зондовых и пилотных подъемов в международные дни за период времени с 1905 по 1912 г. и дает распределение ветра до высоты 20 км на меридианах Западной Европы и в северном полушарии. Им устанавливаются для различных высот: 1) наклон изобарических поверхностей между экватором и полюсом, 2) ход изотермических поверхностей, а вместе с тем и направление градиента температуры, 3) направление и скорость ветра. Направление ветра в умеренных широтах западное с северным компонентом, причем этот компонент растет с поднятием вверх, и на высоте 20 км ветер принимает почти северное направление.

Распределение влажности по вертикали В. А. Ханевский дает в своей работе „Die Verteilung der Feuchtigkeit in der Atmosphäre“ (Met. Ztschr., Н. 7. 1926). Он устанавливает четыре слоя, в каждом из которых влажность в своем вертикальном распределении подчиняется особой закономерности, и попутно указывает, что данная Хергезеллем формула распределения относительной влажности в атмосфере приложима только ко второму слою.

В работе „Zur Frage über die Konstitution und Entstehung hoher Antizyklonen“ (Met. Ztschr., Н. 3, 1929 г.) В. А. Ханевский показывает, что в стратосфере происходят вторжения холодных воздушных масс не только со стороны экватора, но и со стороны полюса и высказывает при этом точку зрения на возникновение высоких антициклонов: как на запруживание холодных воздушных масс, идущих с севера.

Наконец, в работе „О структуре стратосферы“ (журнал „Геофизика“, т. III, вып. 3) В. А. Ханевский дает обзор работ о стратосфере.

Следующая работа по изучению верхних слоев атмосферы при помощи звуковых волн принадлежит В. И. Виткевичу и напечатана в изданиях Государственного Геофизического института в Москве (см. Научные исследования атмосферы, вып. 2, бюлл. № 6, 1925 г. В. И. Виткевич. Звуковой луч как метод исследования атмосферы. Стр. 14—42; см. также W. Witkewitsch. Über die Zonen der Hörbarkeit von Explosionswellen. Meteorolog. Ztschr., Н. 3, 1926, S. 91—96).

Материалом для исследования послужили взрывы артиллерийских складов, происшедшие 9 мая 1920 г. на Ходынском поле в Москве. Взрывы шли отдельными группами. Они начались в 16 час. 1 мин. 9 мая и продолжались до 18 час. 20 мин. 10 мая.

Большая модель рижаровского барографа в Обсерватории на Пресне показала следующие наиболее сильные колебания давления:

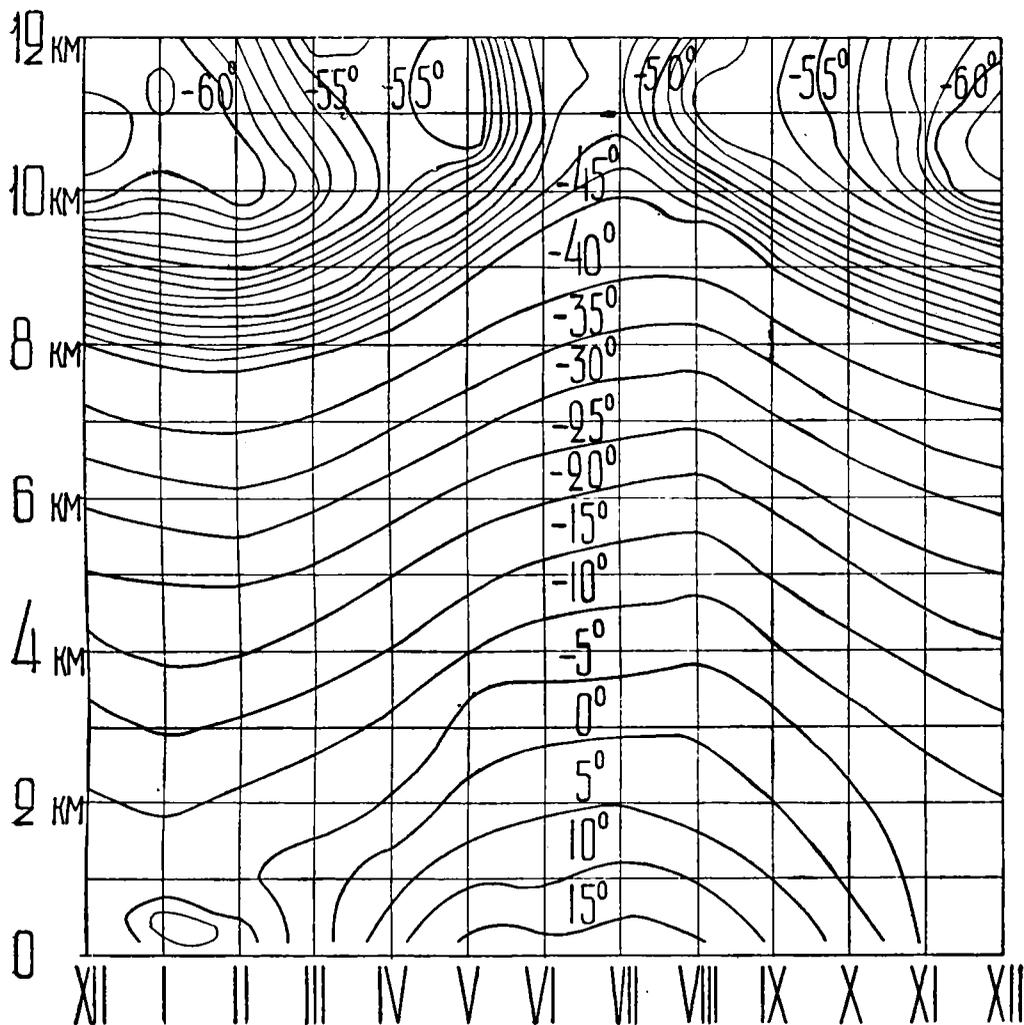
час. мин.		амплитуда в мм	
в 16	18	.....	2.26
16	21	.....	3.05
16	25	.....	3.39
16	34	.....	2.43
16	43	.....	4.50
18	12	.....	2.21

Каждый из отмеченных взрывов сопровождался до и после него рядом более мелких взрывов.

Сравнение этого результата с записью малого барографа на Новинском бульваре — в расстоянии приблизительно 1 км от Обсерватории в сторону удаления от места взрыва — показало, что максимальные колебания малого барографа дали 4.2 мм.

Таким образом, на расстоянии примерно 1 км ослабление волны было на 0.3 мм.

Метеорологические условия во время взрыва по наблюдениям Московской обсерватории были следующие (см. табл. 1).



Фиг. 1.

Таблица 1

Время		Направление ветра	Время		Направление ветра
День	Часы		День	Часы	
9 V	16—17	SE	10 V	15—16	NE
9 V	17—18	SSE	10 V	16—17	E
10 V	10—13	NNE	10 V	17—18	SE
10 V	13—14	E	10 V	18—19	SE
10 V	14—15	ENE			

Сила ветра на башне ко времени взрывов 9 мая была 6—7 м/сек. Во время взрыва сила ветра, вероятно, соответствовала силе страшного урагана. Перо анемометра, дающего ступенчатую кривую (ширина ступени характеризует силу ветра), пошло почти вертикально вверх. Температура воздуха была 19—20 °С.

Особенно благоприятным обстоятельством для изучения взрыва было то, что 9 и 10 мая, а также в предыдущие и последующие дни согласно бюллетеням Военно-метеорологического отдела — по всей Центральной Европе была ясная антициклоническая погода.

9 мая в 7 час. утра: высокое давление с центром на юго-востоке Союза — почти во всей Европе, за исключением северо-западной Финляндии.

Днем температура в северных губерниях 16—19°, ночью 5—12°, в средних и южных губерниях днем 20—26°, ночью 11—15°. Дожди прошли на Верхней Волге.

10 мая в 7 час. утра: высокое давление в большей части Европы (в Казани 770 мм, в Аахене 770 мм). Пониженное давление в Прибалтийском крае (в Стокгольме 761 мм) и на Средиземном море (Мессина — 746 мм).

Температура днем в приозерных губерниях 11—14°, в центральных — около 25°, ночью в западной полосе — 10—12°, на Оке и Средней Волге — 7—11°. Осадки выпали на озерах.

Хорошая ясная погода — ясное небо — была благоприятна, так как гул от взрывов не мог быть смешан с отдаленным громом и гораздо более обращал на себя внимание, и потому получилась большая успешность сбора сведений об аномальной зоне слышимости.

Сказанное не совсем подходит к северо-восточной области аномальной зоны слышимости, которая находится на Верхней Волге и в которой 9 мая прошли дожди.

Сила взрыва была такова, что во многих помещениях, в том числе и в Обсерватории университета, были выбиты стекла, в некоторых местах срывались с петель двери, перебрашивало мебель, открывались шкафы. Вблизи места взрыва было значительное число пострадавших и страшная паника разбегающегося населения.

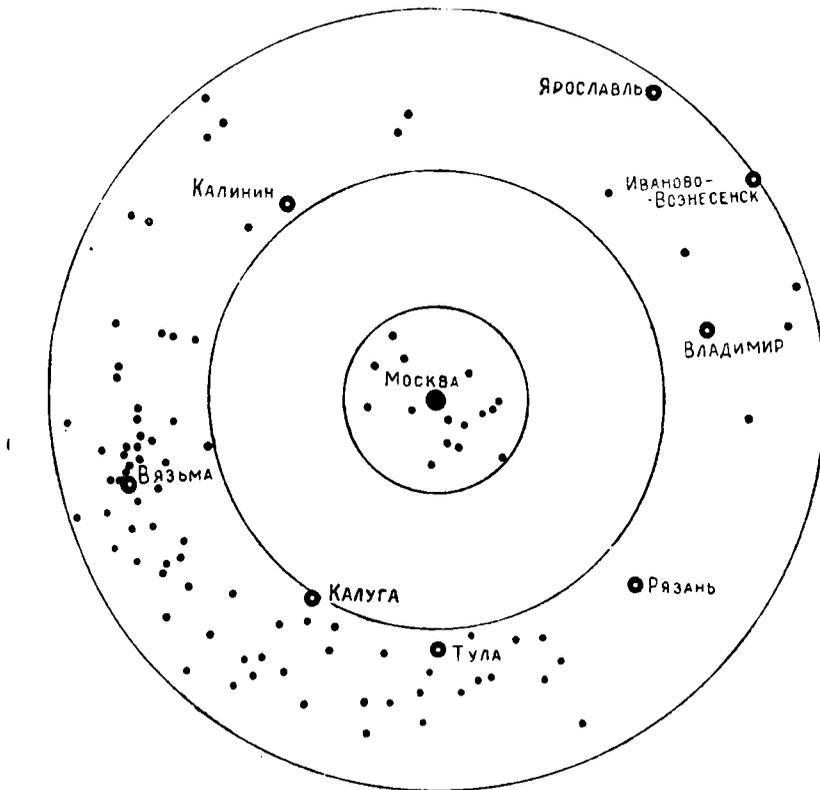
Во время взрыва два раза наблюдались вихревые кольца; одно из них удалось сфотографировать (см. Научн. иссл. атм., вып. 2, стр. 20).

Сведения, собранные о слышимости взрывов, дали возможность построить прилагаемую диаграмму (фиг. 2). В центре диаграммы находится Москва; точками обозначены места слышимости взрывов.

Концентрические круги проведены из центра через крайние точки слышимости.

Внутренняя зона имеет радиус приблизительно 55 км. Зона молчания имеет ширину около 100 км. Далее простирается зона аномальной слышимости.

Следует обратить внимание на то, что юго-западная и южная части гораздо более ясно слышали взрывы. Из 6. губерний Смоленской, Калужской и Тульской мы имеем громадное число положительных ответов, между тем из Владимирской, Иваново-Вознесенской, Ярославской и Калининской их очень мало.



Фиг. 2. Зоны слышимости.

Является ли это следствием того, что на Верхней Волге прошли дожди, а следовательно удары могли быть приняты за отдельный гром, или малая на востоке слышимость есть следствие особых условий в высоких слоях атмосферы — сказать трудно; однако более вероятно второе предположение.

Попытаемся дать теоретическое обоснование наблюдаемого явления.

Предположим, что на протяжении траектории луча вертикальный температурный градиент есть величина постоянная. Если же такого постоянства градиента для слоя, в котором идет звуковой луч, не наблюдается, то допустим, что слой можно разделить на такие интервалы, в каждом из которых температура изменяется равномерно, т. е. выполняется указанное выше условие.

Если давление воздуха может быть выражено в функции его плотности  $\rho$

$$p = \psi(\rho),$$

то, как известно, скорость распространения звука  $V$  выражается по закону Laplace'a

$$V = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\psi'(\rho)}.$$

Принимая адиабатический характер движения воздуха при прохождении звуковых волн по формуле Poisson'a, имеем

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\gamma,$$

где  $\gamma$  есть отношение теплоемкостей; отсюда и получаем выражение Laplace'a

$$V = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}.$$

Приняв за переменную температуру воздуха  $T$ , мы получим

$$V = \sqrt{R\gamma T},$$

где  $R$  есть газовая постоянная воздуха.

Основное соотношение хода звуковой волны имеет вид

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}, \quad (1)$$

где  $T_0$  есть начальная температура в начале траектории звука, где она составляет с вертикалью угол  $\varphi_0$ .

Обыкновенно с высотой наблюдается падение температуры.

Поэтому положим

$$T = T_0 - ay; \quad (2)$$

$y$  означает высоту, и в этом уравнении допускается, что в случаях инверсий градиент  $a$  принимает отрицательные значения.

Обозначая далее через  $\varphi$  угол, составленный касательной к траектории звуковой волны с вертикалью, можем написать

$$-\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \varphi. \quad (3)$$

Для упрощения вычислений выразим координаты точек траектории звука в функции угла  $\varphi$ .

Из уравнения (2) имеем

$$y = \frac{T_0 - T}{a}.$$

Из основного уравнения (1) имеем:

$$\sin \varphi = \sin \varphi_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} = \sin \varphi_0 \sqrt{\frac{T_0 - \alpha y}{T_0}}.$$

Полагая для краткости

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha}{T_0} &= \beta \\ K &= \sin \varphi_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

и исключая  $T$ , получим

$$y = \frac{1}{\beta} - \frac{\sin^2 \varphi}{K^2 \beta}.$$

Откуда на основании соотношения (3)

$$dx = -\operatorname{tg} \varphi dy = \frac{2 \sin^2 \varphi}{K^2 \beta} d\varphi.$$

Интегрируя, получаем для траектории, проходящей через начало координат, которые мы выбрали в источнике звука

$$x = \frac{\varphi - \varphi_0 - [\sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi_0 \cos \varphi_0]}{K^2 \beta} \quad (5)$$

Переходя к двойному углу, уравнения (4) и (5) можно написать в виде

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{1}{\beta} - \frac{1}{2K^2 \beta} \cos 2\varphi; \\ x &= \frac{\varphi_0 - \sin \varphi_0 \cos \varphi_0}{K^2 \beta} + \frac{1}{2K^2 \beta} [2\varphi - \sin 2\varphi]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения (6) показывают, что траектория есть циклоида, получаемая окружностью радиуса

$$R = \frac{1}{2K^2 \beta},$$

катящейся по нижней стороне горизонтальной прямой, лежащей на высоте, равной  $\frac{1}{\beta} = \frac{T_0}{\alpha}$  от источника звука.

При этом вертикальная ось ординат  $OY$  пересекает циклоиду в той ее точке, для которой  $\varphi = \varphi_0$ .

С подъемом луч приближается к вертикальному направлению, так как циклоида пересекает под прямым углом ось, по которой катится образующая окружность.

Рассмотрим случай инверсии температуры. Предположим, что по той или иной причине, в каком-либо слое атмосферы, луч, падающий в него под углом  $\varphi_0$  к вертикали, проходит среду, постепенно более теплую.

Предполагая (с достаточным приближением для определения общего характера явления), что температура увеличивается равномерно, мы можем сохранить также уравнение, изменив лишь знак у  $\alpha$  и  $\beta$ .

Мы получим ту же циклоиду, но обращенную своей вогнутостью вниз; полагая  $b = -\beta$ , и  $R = \frac{1}{2K^2\beta}$ , получим ее уравнения в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} y &= -\frac{1}{b} + R \cos 2\varphi \\ x &= R(2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0) - R(2\varphi - \sin 2\varphi). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Образующая окружность тоже катится по прямой, но находящейся под горизонтом на таком расстоянии, что при сохранении того же температурного градиента температура должна была бы обратиться в нуль.

Определим точку возврата луча во втором случае при  $a < 0$ .

Луч возвратится при пересечении вновь исходного горизонтального уровня.

Мы должны принять для этой точки  $N$ , на основании симметрии кривой, угол  $\varphi$  равным  $\pi - \varphi_0$ ; для точки возврата  $N$  из уравнения (7) получим:

$$y_N = 0; \quad x_N = \frac{(\pi - 2\varphi_0) - \sin 2\varphi_0}{b \sin^2 \varphi_0}. \quad (8)$$

Рассмотрим полученное выражение дальности точки возврата в зависимости от первоначального уклона луча  $\varphi_0$  от вертикали.

$\pi - 2\varphi_0$  есть величина не только конечная, но и всегда положительная. Точно так же  $|\sin 2\varphi_0| < 1$ .

Зато знаменатель  $b \sin^2 \varphi_0$  при малых углах  $\varphi_0$ , т. е. при крутом восхождении луча от источника звука, может принимать сколь угодно малые значения, а тем самым и точка возврата  $N$  может быть отброшена очень далеко.

Расстояние точки возврата  $N$  от источника звука стоит, конечно в связи с тою высотой, где луч испытывает полное отражение, т. е. где

$$\varphi = \frac{\pi}{2},$$

в точке максимума ординат циклоиды.

Высота эта равна

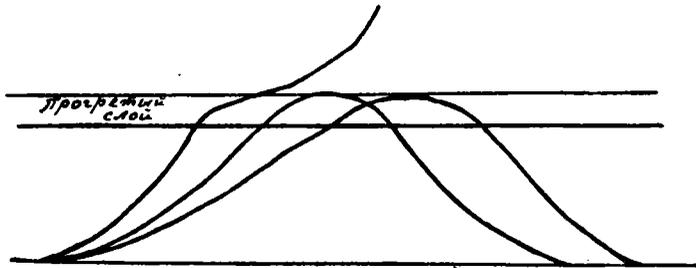
$$H = 2R - \frac{1}{b} = \frac{1}{K^2 b} - \frac{1}{b} = \frac{1}{b \operatorname{tg}^2 \varphi}. \quad (9)$$

Высота эта также зависит от угла  $\varphi_0$ , исходного луча. Как дальность точки возврата, так и высота  $H$  точки спуска луча в них зависит не только от исходного угла  $\varphi_0$ , но и от величины градиента инверсии.

При этом знаменатель выражения (9)  $b \operatorname{tg}^2 \varphi_0$  может быть достаточно велик, чтобы высота  $H$  достигала допустимых значений, а знаменатель  $b \sin^2 \varphi$  выражения (8) может оставаться достаточно небольшим, чтобы дальность  $XN$  была очень велика.

Предположим, что звуковой луч, начав подниматься под сравнительно небольшим наклоном к горизонту, попадает в струю или слой слегка нагретого воздуха.

При легком повышении температуры (малой величины  $H$ ) и незначительности наклона к горизонту (т. е. большого угла  $\varphi_0$ ), при котором  $\operatorname{tg}^2 \varphi_0$  может принять любые большие значения, будет достаточно очень небольшой толщины теплого слоя, чтобы отбросить звук в почти горизонтальном направлении на очень далекое расстояние. Если теплый слой слишком сильно прогрет, то кривизна траектории будет очень велика, и луч, быстро преломившись, будет отброшен к земле на сравнительно недалеком расстоянии. При переходе звуковых лучей из слоя теплого воздуха, с темпе-



Фиг. 3.

ратурной инверсией, снова в область с нормальным градиентом, они претерпят рассеяние. Часть из них может уйти вверх. Другая часть лучей начнет преломляться и спускаться по той же циклоиде, образуя зону вторичной слышимости.

Картина пути представится в виде фиг. 3.

При такой картине хода лучей ясно, что граница, где прекращается обычная нормальная слышимость, будет очерчена очень неясно. Зато граница, где начинается вторичная аномальная слышимость, будет очерчена резко.

Очень характерно при этом, что на примере изученного нами взрыва на Ходынском поле мы видим действие антициклональной погоды, на образование зоны вторичной слышимости. Не случайность, что в сев.-вост. направлении от Москвы, где прошли к этому времени дожди, мы как раз имеет наименьшее число определенных, благоприятных ответов.

Приведенные рассуждения показывают, что изменения температуры с высотой могут вполне объяснить существование вторичных аномальных зон слышимости.

Каждая достаточно мощная инверсия, при соответственном угле выхода звуковых лучей, может дать явления полного внутреннего отражения звука и выбрасывание звуковых волн на достаточно далеком расстоянии от звучащего центра.

Следовательно, места выхода звуковых волн, их интенсивность и наклон к горизонту могут служить характеристикой физического состояния верхних слоев атмосферы.

Естественно ожидать, что при наличии нескольких инверсий мы можем получить несколько различных зон аномальной слышимости. Конечно, кроме распределения температуры, на образование зон слышимости оказывает некоторое влияние и ветер.

Звуковой луч мы можем рассматривать как метод исследования атмосферы.

Все изложенное было впервые доложено В. И. Виткевичем в Москве 6 сентября 1920 г. I Съезду Российской ассоциации физиков.

Пленум Съезда по зачитанному докладу принял резолюцию о желательности постановки опытов по исследованию траекторий звукового луча в свободной атмосфере. Однако попытка поставить соответствующие опыты в Главном Артиллерийском управлении успеха не дала.

Через несколько лет такие опыты по изучению траектории звукового луча были поставлены в Германии.

Следующей работой, имеющей целью изучение стратосферы была разработка конструкции ракетного метеорографа. Эта работа была выполнена В. И. Виткевичем и В. В. Колюбакиным.

Новая система метеорографа имеет своей целью:

- 1) замену часового механизма балансиrom, который приводится в действие силою тяжести самого метеорографа;
- 2) придание метеорографу формы, удобной для постановки прибора на ракете, т. е. формы удлиненного цилиндра;
- 3) сохранение и даже увеличение точности записи измеряемых аэрологических элементов.

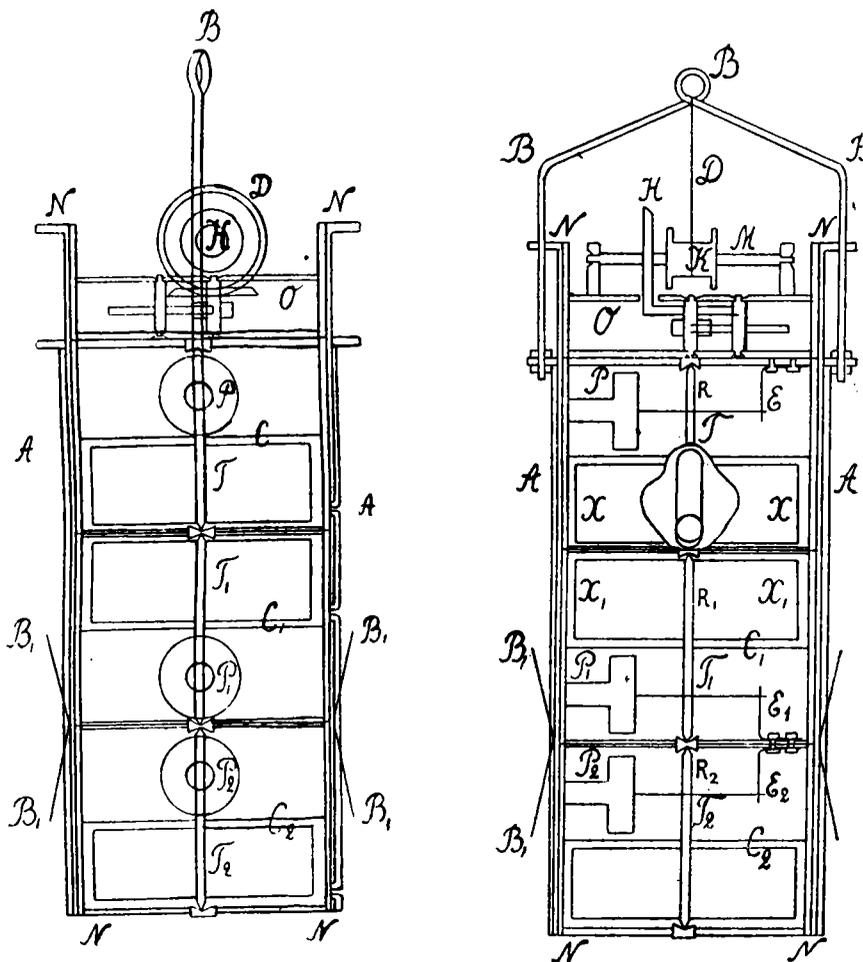
Расположение основных осей метеорографа должно быть таким, чтобы прибор способен был выдержать те ускорения, которые возникают при быстром поднятии ракеты. Общий вид ракетного метеорографа, удовлетворяющего поставленным условиям, схематически показан на фиг. 4 и 5, которые дают два взаимно-перпендикулярных вертикальных разреза.

Метеорограф состоит из двух частей:

- 1) наружной трубки  $AA$  без дна, которая в верхней своей части имеет дужку с кольцом;
- 2) самого метеорографа, расположенного в трубке  $NN$  и имеющего удлиненную цилиндрическую форму, который как одно целое вместе со своим чехлом-трубкой  $NN$ —может свободно передвигаться внутри трубки  $AA$  в продольном направлении. Если поднять весь прибор за дужку  $B$ , то метеорограф, предоставленный самому себе, выпал бы из трубки  $AA$ , если бы не нить  $D$ , которая одним концом своим закреплена за кольцо  $B$ , а другим обмотана вокруг цилиндра  $K$ . При выпадении из трубки метеорограф разматывает нить и вызывает вращение цилиндра  $K$ , связанного с балансиrom. Балансир регулирует выпадение метеоро-

графа и может сообщать ему любую равномерную скорость движения в трубке  $AA$ .

Таким образом, сила тяжести, заставляющая метеорограф падать внутри трубки, в то же время — приводит в движение балансир и заменяет часовой механизм, который должен был бы выполнять ту же работу.



Фиг. 4 и 5.

Расположенные ниже балансира три ячейки служат для записи давления, температуры и влажности воздуха. Допустим, что приемник давления расположен в первой ячейке и схематически изображен прямоугольником  $P$ . От него идет нить  $T$  к пружине  $E$ . Пружина натягивает нить. Если давление воздуха усиливается, то приемник давления сжимается, и нить  $T$ , перемещаясь в сторону приемника, усиливает натяжение пружины. Если же давление воздуха ослабевает, то пружина тянет нить в обратном направлении. Таким образом, изменение величины давления сопрово-

ждается горизонтальным перемещением нити  $T$ . Нить  $T$  обернута вокруг оси  $R$  и одной своей точкой закреплена на этой оси. Благодаря этому всякое перемещение нити сопровождается вращением оси  $R$  и посаженного на ней цилиндра  $X$ , покрытого светочувствительной бумагой.

Вдоль цилиндрической трубки  $NN$  — чехла метеорографа — сделана вертикальная щель. Против нее в наружной трубке  $AA$  имеется небольшое отверстие  $A$ . Таким образом, луч света может проникнуть через отверстие  $A$  и щель и достигнуть светочувствительной бумаги, закрепленной на цилиндре  $X$ .

Если допустить, что давление остается неизменным, а метеорограф внутри трубки  $AA$  падает, то луч света запишет на цилиндре вертикальную линию. Если же допустить, что метеорограф остается на месте, а изменяется только величина давления, то на цилиндре луч света запишет горизонтальную прямую.

Если же допустить, что изменяются одновременно и давление и положение метеорографа в трубке, т. е. если допустить, что метеорограф падает, то луч света запишет на цилиндре некоторую кривую давления, которая по одной оси будет давать значения давления, а по другой оси — время.

Все, что сказано выше относительно приемника давления — полностью может быть повторено в применении к ряду других приемников, регистрирующих температуру, влажность или какой-либо другой аэрологический элемент.

Все эти приемники располагаются один над другим, и каждый из них для записи измеряемого элемента имеет соответственный цилиндр, покрытый шкалой.

Весь прибор имеет систему жалюзей, которые при падении прибора обеспечивают достаточную вентиляцию во всех приемниках. На фиг. 4 и 5 жалюзи показаны лишь схематически, как два тупых угла  $B_1 B_1$ .

Весь прибор закрепляется на ракете и вместе с нею забрасывается в верхние слои атмосферы. В максимальной точке подъема ракета сбрасывает метеорограф, который падает на специальном парашюте.

Возможны следующие видоизменения прибора:

1. Запись может производиться не только при помощи светового луча, но и просто пером на закопченной бумаге.

2. Нить  $T$  может быть закреплена роликовой цепочкой на зубчатку, посаженную на ось или рычаг.

3. Прибор может быть приспособлен для измерения любого аэрологического элемента: облачности, тумана, плотности воздуха, электрических свойств и проч.

4. Прибор может быть построен большого размера и быть пригодным для стационарных обсерваторских установок, обеспечивающих большую точность измеряемых элементов.

5. Прибор может быть сконструирован так, что если внутренняя часть при своем движении в трубке достигла конца, то весь прибор о п р о

кидывается, и движение метеорографа продолжается в обратном порядке.

С 1927 г. В. И. Виткевичем были приняты меры к организации в Москве выпуска шаров-зондов. Однако осуществить это удалось только тогда, когда были выписаны из за границы зондовые метеорографы, в количестве 30 шт.

Большие затруднения были также и с резиновыми оболочками, которые были изготовлены Резинотрестом лишь по специальному заказу и в ограниченном количестве. Подъемы начались в январе 1930 г. Вследствие малого количества приборов, подъемы производились только в международные дни. Подъемы 1930—1931—1932 гг. могут быть представлены следующей таблицей:

Таблица 2

Год	Месяц	Выпущено	Найдено	Вошло в стратосферу	Не найдено
1930	Январь . . . . .	3	2	1	1
	Май . . . . .	3	3	1	—
	Сентябрь . . . . .	5	4	4	1
	Всего . . . . .	11	0	6	2
1931	Февраль . . . . .	6	5	3	1
	Июнь . . . . .	6	6	2	—
	Октябрь . . . . .	6	6	1	—
	Всего . . . . .	18	17	6	1
1922	Апрель . . . . .	2	2	1	—
	Май . . . . .	3	3	3	—
	Июнь . . . . .	3	2	—	1
	Июль . . . . .	3	3	2	—
	Август . . . . .	1	1	—	—
	Сентябрь . . . . .	1	1	1	—
	Октябрь . . . . .	2	2	—	—
	Ноябрь . . . . .	2	2	1	—
	Декабрь . . . . .	2	2	—	—
Всего . . . . .	19	18	8	1	

Из табл. 2 мы видим весьма большой процент находимости прибора.

Всего за 3 года было выпущено 48 приборов, из них не найдено 5. В стратосферу вошло 17 приборов.

Дальнейшее развитие подъема шаров-зондов потребовало выпуска новой партии метеорографов, что, как увидим, удалось выполнить благодаря содействию т. Уншлихта и т. Тухачевского.

Раньше чем переходить к этой последней части выполненных работ по исследованию стратосферы, остановимся кратко на той организационной работе, которая была выполнена в 1932 г., и упомянем о тех первых комиссиях по изучению стратосферы, которые впервые выдвинули и поставили вопрос об изучении стратосферы во всем его современном масштабе.

Первое заседание по изучению стратосферы было созвано 6. Председателем Гидро-метеорологического комитета РСФСР т. Н. Н. Сперанским и состоялось под его председательством 19 января 1932 г.

Доклад о задачах изучения стратосферы был сделан В. И. Виткевичем (см. журнал „Самолет“, № 3, 1932). В результате была образована первая Комиссия по изучению стратосферы под председательством В. И. Виткевича.

Первое заседание Комиссии по изучению стратосферы состоялось 22 января 1932 г. и постановило вести работу в следующих направлениях:

1. Собрать всю имеющуюся литературу по вопросам стратосферы и составить обзор ее.

2. Развить зондовые наблюдения в Москве и организовать сеть станций по выпуску шаров-зондов в различных местах Союза.

3. Организовать подъемы шаров-зондов до больших высот (40 км).

4. Организовать производство зондовых метеорографов.

5. Построить стратостат для подъема с людьми до 20—25 км.

6. Произвести опытные работы с радио-зондами, дающими возможность принимать кривые измеряемых элементов.

7. Осуществить постройку опытного прибора — ракетного метеорографа.

8. Поручить члену Комиссии М. Н. Канищеву разработать проект стратосферного аэростата.

За недостатком средств, Комиссии не удалось в должном размахе развернуть свою работу, тем более, что Гидрометкомитет РСФСР, как самостоятельный орган, весной 1932 г. был расформирован.

Комиссия имела несколько заседаний, к участию в которых были привлечены представители различных учреждений: ЦАГИ, УВВС, Диржаблестрой НИИ ГВФ и другие. М. Н. Канищев разработал проект стратостата, который и был заслушан и обсужден в заседании Комиссии. В начале мая 1932 г. В. И. Виткевич сделал доклад в редакции газеты „Техника“, которая открыла сбор средств под лозунгом „На штурм стратосферы“ (см. „Техника“ от 9 V 1932 г.).

Из других заседаний Комиссии отметим заседание 21 VI 1932 г. с широким участием представителей различных ведомств; по докладу В. И. Виткевича заседание высказалось за расширение работ по всем вышеперечисленным пунктам программы.

Однако попытки Комиссии получить необходимые средства не увенчались успехом, и осенью 1932 г. решено было обратиться в Госплан

к т. Уншлихту, который приказал образовать при Госплане Комиссию по изучению стратосферы. Председателем Комиссии был назначен т. Соловьев и заместителем по научной части В. И. Виткевич. Комиссия работала в течение полугода. Реальными результатами Комиссии было получение из за границы сотни прекрасных метеорографов, которые и дали возможность широкого развертывания зондовой работы в Москве. Эта партия метеорографов и была выписана благодаря прямому содействию т. Уншлихта и т. Тухачевского.

Постройка же стратостатов пошла по линии Осоавиахима и УВВС.

Новая партия метеорографов была получена летом 1933 г. и дала возможность увеличить число подъемов шаров-зондов.

Таблица подъемов в 1933 г. имеет следующий вид (см. табл. 3).

Таблица 3

Месяц	Выпущено	Найдено	Вошло в стратосферу	Не найдено
Январь . . . . .	2	2	1	—
Февраль . . . . .	3	3	1	—
Март . . . . .	3	3	1	—
Апрель . . . . .	3	3	2	—
Май . . . . .	1	1	—	—
Июнь . . . . .	3	3	—	—
Июль . . . . .	2	2	1	—
Август . . . . .	12	11	3	1
Сентябрь . . . . .	7	5	4	2
Октябрь . . . . .	6	3	2	3
Ноябрь . . . . .	6	2	1	4
Декабрь . . . . .	6	2	2	4
Всего . . . . .	54	40	18	14

Большой процент не найденных во второй половине 1933 г. приборов уменьшится, так как, когда стает снег, большинство приборов несомненно будут найдены.

Таким образом, сводная таблица подъема шаров-зондов в Москве, может быть написана в следующем виде (см. табл. 4).

Таблица 4

1930—1933 г.				
Месяц	Выпущено	Найдено	Вошло в стратосферу	Не найдено
Январь . . . . .	5	4	2	1
Февраль . . . . .	9	8	4	1
Март . . . . .	3	3	1	—
Апрель . . . . .	5	5	3	—
Май . . . . .	7	7	4	—
Июнь . . . . .	12	11	2	1
Июль . . . . .	5	5	3	—
Август . . . . .	13	12	3	1
Сентябрь . . . . .	13	10	9	3
Октябрь . . . . .	14	11	3	3
Ноябрь . . . . .	8	4	2	4
Декабрь . . . . .	8	4	2	4
Всего . . . . .	102	84	38	18

Высоты, достигнутые при этих подъемах шаров-зондов, следующие (см. табл. 5).

Таблица 5

	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.
Средняя высота (в метрах) . . . . .	12 250	14 690	15 760	17 300
Максимальная высота (в метрах) . . . . .	14 450	22 960	21 000	23 300

Квадранты, в которых были найдены выпущенные шары-зонды, распределяются следующим образом (см. табл. 6).

Таблица 6

Годы	NE	SE	SW	NW
1930 . . . . .	5	2	—	2
1931 . . . . .	6	7	—	4
1932 . . . . .	10	8	—	—
1933 . . . . .	10	19	4	7

Табл. 6 показывает преобладание квадрантов с восточным компонентом.

По расстоянию от места выпуска, на котором были найдены шары-зонды, они распределяются следующим образом (см. табл. 7).

Таблица 7

	25	50	50—100	100—150	150—200	200
1930 г. . . . .		2	—	4	2	1
1931 „ . . . . .	3	1	6	5	2	—
1932 „ . . . . .	3	—	6	8	1	1 >200
1933 „ . . . . .	7	9	8	9	5	1
Всего . . . . .	13	12	20	26	10	3

Табл. 7 показывает, что шары-зонды спускаются по преимуществу на расстояниях от 50 до 150 км. Однако нередки случаи, когда шар-зонд спускается в пределах 25-километровой зоны.

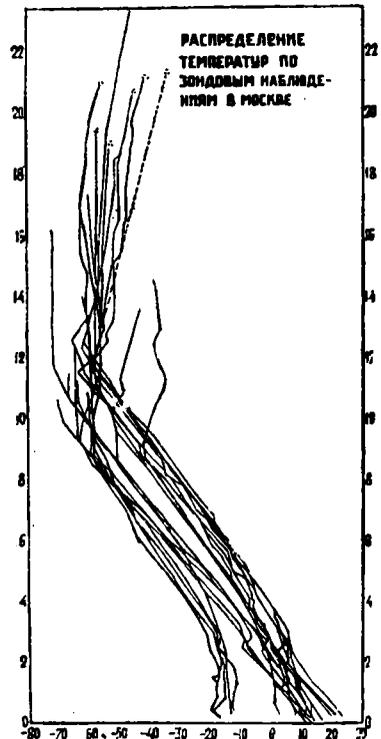
Кроме указанных выше выпусков шаров-зондов, были произведены еще выпуски на одной оболочке по два метеорографа: метеорограф Боша и метеорографы, изготавливаемые в Ленинграде.

Всего было произведено таких выпусков 13.

Обработки метеорограмм в Москве поставлены В. И. Виткевичем по образцам лучших зарубежных обсерваторий. Материалы обработки располагаются по схемам Мюнхенской обсерватории.

Кроме того, вычерчиваются тефиграммы, и для каждого подъема дается детальная синоптическая карта, позволяющая произвести синоптический анализ подъема.

Фиг. 6 дает подъемы тех шаров-зондов, которые вошли в стратосферу.



Фиг. 6.

Ясно видно деление кривых, по высоте границы стратосферы, на две группы: летнюю—с более высокой границей стратосферы и зимнюю—с более низкой границей.

Детальные результаты обработки подъемов шаров-зондов будут опубликованы в особом выпуске Московского Аэрологического института.

---

С. И. САВИНОВ

## К ВОПРОСУ О ТОЧНОМ ИЗМЕРЕНИИ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АТМОСФЕРЕ ПРИ ПОДЪЕМАХ

Распределением температуры по высоте характеризуется состояние атмосферы и ее расслоение; как известно, разделение атмосферы на нижний слой — тропосферу и более высокий — стратосферу происходит по роду изменения температуры с высотой.

Давление воздуха — вместе с температурой — служит для вычисления высоты подъема. Таким образом, эти два элемента являются основными, и на более точные измерения их при подъемах должно быть обращено особое внимание.

С какой точностью следует измерять названные элементы?

Для характеристики распределения температуры и для пользования данными температуры при вычислении высот точность  $\pm 0.5$ , даже  $\pm 1^\circ$ , является уже удовлетворительной. Что касается давления, то потребная точность определяется требованием к точности измерения высоты. В следующей табличке приведены данные, позволяющие ответить на этот вопрос.

В первой строке помещены величины давления, выраженные в долях „атмосферы“; во второй — давление в миллиметрах ртутного столба; в третьей — соответствующие высоты, вычисленные для некоторого среднего распределения температуры с высотой; в четвертой — ошибки в высоте, вызванные ошибкой в давлении на 1 мм; в пятой — ошибки, вызванные ошибкой в  $1^\circ \text{Ц}$  определения средней температуры столба.

Давление в атм. . . . .	1	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
Давление в мм ртутного столба	760	380	152	76	38	15.2	7.6
Высота в км . . . . .	0	5.2	11.5	16.6	21.5	28.3	33.5
Ошибка в м на 1 мм давления .	10.5	21	52	105	210	525	1050
Ошибка в м на $1^\circ \text{Ц}$ . . . . .	0	19	42	61	79	104	123

Как видно из чисел строки 4-й, ошибка в высоте, происходящая на 1 мм ошибки в давлении, быстро возрастает с высотой, вместе с чем возрастают и требования к точности измерений давления. Для стратосферных высот 21.5, 28.3 и 33.5 км, если мы желаем получить точность до  $1\%$ , т. е. до 215, 283 и 335 м, потребуется точность в измерении

давления соответственно: 1 мм, около 0.5 мм и 0.33 мм. Таким образом, для более значительных стратосферных высот 25—35 км требуется точность в измерении давления до немногих десятых долей миллиметра.

Последняя строка показывает, что ошибка на  $1^\circ \text{Ц}$  в средней температуре столба вызывает неточность в вычисленной высоте на величины, меньшие  $1\%$  размера высоты.

Итак, имея в виду стратосферные высоты (до 35 км), можем заключить, что результаты, получаемые при точности измерения температуры до  $1^\circ$  и измерении давления до 0.5—0.3 мм, должны быть признаны удовлетворительными.

При наблюдениях в нижнем приземном слое атмосферы достигается и большая точность измерения давления и температуры, чем только что указанная. Но в условиях свободной атмосферы, особенно в более высоких слоях, имеется ряд причин, препятствующих достижению желаемой точности измерений.

Одной из этих причин является то обстоятельство, что измеряемые элементы при полетах непрерывно изменяют свою величину и тем с большею скоростью, чем быстрее происходит вертикальное перемещение летательного аппарата, несущего приборы. Вследствие инерции, свойственной в той или иной мере приемникам давления и температуры, происходит отставание показаний приборов от действительных значений этих элементов. Во избежание происходящих отсюда ошибок требуется, во-первых, не давать летательным аппаратам слишком больших вертикальных скоростей (особенно в более низких слоях, в тропосфере, где изменения обоих элементов с высотой происходит быстрее, чем на стратосферных высотах), и, во-вторых, избирать приемники, обладающие возможно малой инертностью. То и другое вполне достижимо, так что ошибки, происходящие от инерции, могут быть доведены до незначительных размеров.<sup>1</sup>

Анероидные приемники, обычно употребляемые для изготовления барографов, необходимы и незаменимы, так как дают возможность простым и удобным способом получить непрерывную запись значений давления. Но в условиях полета на большие высоты, вследствие температурных влияний и особенно вследствие наличия упругих последствий, нельзя ожидать от анероидных приемников той степени точности, которая выше была указана. Если говорить о еще более значительных высотах 40, 50, 60 км, куда представляется мыслимой посылка летательных аппаратов с приборами, то там понадобится еще более значительная точность в измерении давления. Так, например, на высоте 51—52 км, где давление составляет 0.001 атмосферы, т. е. 0.76 мм ртутного столба, понадобится измерение давления с точностью до 0.05 мм рт. ст.; на высоте 68—69 км,

<sup>1</sup> Подробно об инертности температурных приемников см. в статье В. Д. Третьякова „К вопросу о методах измерения температуры воздуха в свободной атмосфере“.

где давление равно 0.0001 атмосферы, или 0.076 мм рт. ст., для получения высоты с точностью до 1% потребуются измерение давления с точностью до 0.007 мм.

Существующие пишущие приборы такой точности далеко не достигают, почему измерение больших высот барометрическим путем не может быть произведено с удовлетворительной точностью.

При подъемах стратостатов с наблюдателями необходимо пользоваться для измерения давления таким прибором, как ртутный барометр, помощью которого даже в условиях полета можно достигнуть точности до 0.1—0.2 мм. Еще большей точности можно достигнуть при помощи легкожидкостного барометра, например масляного; полагая плотность масла 0.9 и ртути 13.6, получаем, что столбу ртути в 1 мм соответствует столб масла в 15 мм, или, обратно, столбу масла в 1 мм соответствует столб ртути в  $\frac{1}{15}$  мм.

Представляется возможным konstruировать минимальный ртутный барометр,<sup>1</sup> показание которого измеряется после возвращения на землю. Такой прибор пригоден и для подъемов на аппаратах без наблюдателей.

Для проверки высот, измеряемых барометрически, в особенности же больших высот, для которых барометрическое измерение может оказаться недостаточно точным, следует предпочитать для стратостатных подъемов ясную и тихую погоду, когда можно организовать ряд базисов с угломерными приборами и определить высоту подъема геометрическим путем.

Так это было сделано при подъеме стратостата „СССР“ 30 IX 1933 г. и дало чрезвычайно хорошее согласие между барометрическим и геометрическим определением максимальной высоты подъема.

В практике воздухоплавания для ориентировки пилота необходимы приборы, которые по своей шкале дают прямо высоту (альтиметры или высотомеры). Эти anerоидные приборы подвержены тем источникам ошибок, которые были указаны выше (отставание, влияние упругого последействия), но, кроме того, шкала высот, вычисленная для определенных средних условий температуры, не может быть вполне пригодной для всех отдельных случаев. Отсюда, при больших высотах, могут быть несогласия между показаниями альтиметра и истинными высотами — размером в несколько сотен метров. Так, например, на основании помещенной выше таблички можно определить, что на высоте 21.5 км, если альтиметр с абсолютной точностью выражает давление, но шкала высоты составлена так, что для данного случая средняя температура столба отличается на 10° от принятой при изготовлении шкалы высоты, то ошибка в показании альтиметра будет 790 м. На этого рода приборы следует смотреть как на такие, которые служат лишь для ориентировочных целей.

На точность измерения температуры, сверх указанного выше отставания вследствие инертности, большое вредное влияние оказывают ради-

<sup>1</sup> Имеется конструкция, предложенная В. Д. Третьяковым.

ационные действия. С радиационными вредными влияниями приходится бороться и при обычных приземных наблюдениях над температурой; с высотой же это влияние вследствие увеличения радиации солнца еще более возрастает. Отсюда — необходимость в устройстве защит и в производстве искусственного продувания прибора. Это последнее необходимо также и для уменьшения отставания. Как известно, при подъемах приборов на шарах-зондах искусственное продувание не производится, и оно получается лишь вследствие вертикального перемещения шара. В нижних слоях скорость вертикального перемещения бывает вполне достаточной для надлежащего продувания, но на больших высотах, где по мере приближения к потолку вертикальное перемещение даже замедляется, продувание оказывается недостаточным.

Наряду с мерами, которые принимаются для усовершенствования защиты приборов и для обеспечения потребного продувания, следует особенно указать на возможность конструирования приемника, который даже без защиты и даже без продувания принимает с значительной точностью температуру воздуха, не испытывая вредных влияний радиации. Этот приемник изготавливается из тонкой платиновой проволоки, которая составляет одну из ветвей мостика Уитстона, или соединяется с омметром.<sup>1</sup> Весьма существенно, что, как показали экспериментальные работы М. И. Гольцмана, действие солнечной радиации на такие приемники остается незначительным и в условиях весьма разреженного воздуха.

Из изложенного краткого обзора можно вывести заключение, что до высот 30—35 км имеющимися в распоряжении методами можно получить достаточную точность измерения как температуры, так и давления и отсюда — также и высоты. Что же касается более значительных высот, то для обеспечения надлежащей точности, в особенности в отношении давления, требуется изыскание новых методов.

---

<sup>1</sup> См. Изв. ГГО, 1934, № 1. Стетья М. И. Гольцмана. Также см. в настоящем издании статью В. Д. Третьякова.

В. Д. ТРЕТЬЯКОВ

## К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ<sup>1</sup>

### I

Важнейшим фактором комплекса сложных явлений в атмосфере является распределение температур, т. е. скалярное поле температур всей атмосферы.

Трудность определения температуры воздуха в данный момент по приборам, поднимаемым самостоятельно на шарах-зондах или с наблюдателем на воздушных шарах, зависит от отставания показаний термодатчика от температуры воздушной среды и от влияния солнечной радиации на прибор.

Расхождение между показаниями приборов и температурой воздуха, как показывают наблюдения, может достигать нескольких градусов, а в некоторых случаях даже нескольких десятков градусов.

Известно, что неспособность моментального показания действительной температуры исследуемой среды применяемыми в настоящее время инструментами (метеорографами), в которых показателем служит биметаллический приемник, зависит, как подтвердил Hergesell, от физических свойств приемника, характеризуемых коэффициентом инерции  $a$ , и скорости изменения температуры со временем  $\left(\frac{dt}{dz}\right)$ , а именно:

$$t_B - t_n = a \frac{dt}{dz}; \text{ где} \quad (1)$$

$$a = \frac{M \cdot c}{hs} \quad (2)$$

$t_B$  — температура воздуха,  $t_n$  — показание прибора,

$M$  — масса приемника,

$c$  — удельная теплоемкость материала, из которого сделан приемник,

$h$  — коэффициент конвективной теплопроводности воздуха,

$s$  — поверхность приемника.

На основании материала по изучению этого вопроса Hergesell'ем, de Quervain'ом, Maurer'ом и др. и опытов, проводимых автором в Институте

<sup>1</sup> Материал к докладу „Вопросы точного измерения температуры и давления в стратосфере“.

поверки метеорологических приборов Главной Геофизической Обсерватории в 1934 г., были получены коэффициенты инерции для приемников-метеорографов системы Боша и системы Молчанова, как единственных, употребляющихся для исследования атмосферы в СССР при помощи шаров-зондов.

Коэффициенты представлены графически на фиг. 1. Там же для сравнения изображены коэффициенты инерции для приборов Assmann'a и Hergesell'я по данным de Quervain'a.

Исследование производилось с двумя биметаллическими термографами системы Боша и Молчанова путем нагревания их до некоторой постоянной температуры. Термографы затем внезапно охлаждались вентилирующим током постоянной температуры и скорости. Кривые охлаждения (амплитуды 20—30° С, интервал от +45° до +14°) двух приборов записывались на одной закопченной ленте, наклеенной на барабан часового механизма.

Часовой механизм вращал барабан со скоростью 10 мин. полный оборот.

Приборы устанавливались на тонком штативе в средней части воздушного потока камеры Эйфеля большой аэродинамической трубы, установленной в вышеупомянутом институте.

Тщательное исследование аэродинамического поля трубы, диаметром в 1 м, показало высокую однородность потока по всему сечению. Скорость потока могла регулироваться по желанию экспериментатора от десятых долей метра в секунду до 22 м в секунду.

Постоянство заданной скорости гарантировалось специальным электрическим агрегатом с точностью до десятых долей процента. Продувание приборов производилось при скоростях потока в 4.75 м/сек., 2 м/сек. и 0.75 м/сек., атмосферном давлении  $p = 999.8 \text{ mb.}$  и  $t^\circ = 14.1 \text{ C.}$

Исследуемые приборы устанавливались, как уже упоминалось, в средней части воздушного потока трубы; их положение по отношению к потоку было таким же, как во время подъема на шаре-зонде.

Такая установка дает правильную картину охлаждения.

Приспособление для нагревания, легко регулируемое добавочными реостатами, было изготовлено в виде вытянутой трехгранной проволочной призмы.

На призму, защищенную фарфоровыми изоляторами, была намотана спираль из нихромовой проволоки диаметром 0.4 мм. Нагревание производилось от осветительной сети городского тока напряжением 110 V.

Нагреватель устанавливался под приборами и вне потока.

Расстояние от приборов до нагревателя было около 50 см. Для лучшего использования теплоты, отдаваемой нагревателем, последний вместе с приборами заключался в кожух.

Кожух был изготовлен в виде колпака эллиптической формы, закрытого с одного конца. В качестве материала для изготовления был взят картон в 2 мм. Для уменьшения теплоотдачи картон сверху и с боков

обертывался толстым слоем лигнина, поверх которого весь кожух оклеивался плотной бумагой.

Для контроля температуры потока применялся платиновый термометр сопротивления с омметром. Термометр сопротивления изготовлялся из платиновой проволоки, диаметром 0.0204 мм с сопротивлением около 100 ом. Сопротивление было тщательно подобрано к градусной шкале омметра. К омметру приключался аккумулятор напряжением 6 В.

Достижимая точность отсчета, по указанной шкале, превышала 0.°1С

Незначительное отставание (фиг. 1), выражаемое долями секунды, относится за счет инерции вращающейся системы омметра.

Приемник устанавливался перед метеорографами на расстоянии 3—4 см.

Кроме этого приемника температуры, которым производилось измерение температуры охлаждающего потока, для наблюдения над нагреванием приборов применялись два ртутных термометра большой модели психрометра Ассмана.

Эксперимент производился следующим образом.

Установленные приборы вентилировались в течение 15 мин. потоком воздуха заданной скорости, причем наблюдалась температура потока.

За одну минуту до нагревания включались часы метеорографов, и на барабане прочерчивалась линия, соответствующая температуре потока. Затем на приборы надевался колпак, и включался нагреватель.

Внутри кожуха вводились резервуары ртутных термометров. Термометры располагались на разных высотах с той целью, чтобы иметь понятие о температурном градиенте внутри кожуха. Предварительное нагревание до заданной температуры производилось в течение 12—15 мин., после чего, путем регулирования нагревателя, достигалось уравнение показаний всех термометров, т. е. двух ртутных и платинового. Такая „выдержка“ требовала затраты времени в 2—3 часа.

Показания термометров, по истечении указанного промежутка времени, различались на доли градуса.

Интересно отметить, что платиновый приемник тотчас по включении нагревателя стал отмечать температурное пульсирование, в то время как ртутные термометры показывали медленный рост температуры заклю-



Фиг. 1.

ченного внутри кожуха объема воздуха. Амплитуда колебаний по платиновому термометру была около  $2-3^{\circ}\text{C}$ .

За час или полтора до окончания нагревания начиналось обдувание всей установки. Благодаря этому температура внутри кожуха успевала принять постоянное значение. Приборы сразу после удаления кожуха подвергались вентилированию потоком с установившейся скоростью. За одну минуту до снятия кожуха включались часы приборов, и ровно через минуту кожух, с минимальной затратой времени, поднимался вверх, освобождая приемники.

Характер полученных результатов можно наблюдать на фиг. 2а и 2б, где представлены записи приборов: метеорографа системы Молчанова — выше расположенная кривая и метеорографа системы Боша.

Первая (фиг. 2а) запись кривых произведена при скорости охлаждающего потока в 4.75 м/сек., вторая (фиг. 2б) — при скорости вентилиции 0.75.

Расшифровка записанных кривых производилась через каждые 10 сек. Этот 10-секундный интервал на ленте соответствовал 5.5 мм.

Интегрированием вышеприведенной основной формулы (1), при  $t_B = \text{const}$ , получаем:

$$\text{для начала интервала времени: } t_1 - t_B = ce^{-\frac{1}{\alpha} z_1}, \quad (1a)$$

$$\text{для конца интервала времени: } t_2 - t_B = ce^{-\frac{1}{\alpha} z_2}. \quad (16)$$

Беря отношение (1а) и (16), исключаем постоянную интегрирования  $c$ :

$$\frac{t_1 - t_B}{t_2 - t_B} = e^{-\frac{1}{\alpha}(z_2 - z_1)};$$

логарифмируя, находим:

$$\ln \frac{t_1 - t_B}{t_2 - t_B} = \frac{1}{\alpha}(z_2 - z_1),$$

откуда окончательно:

$$\alpha = \frac{z_2 - z_1}{\ln \frac{t_1 - t_B}{t_2 - t_B}} \quad (3)$$

Из вычислений для ряда интервалов мы получили следующие средние значения инерции ( $\alpha$ ), при скорости вентилирующего потока в 4.75 м/сек.:

для зондового метеорографа сист. Молчанова  $\alpha = 0.466$   
 ” ” ” ” Боша  $\alpha = 0.349$ .

Кроме определения коэффициентов инерции  $\alpha$  по формуле (3), производился проверочный расчет по методу, предложенному Schmidt'ом.

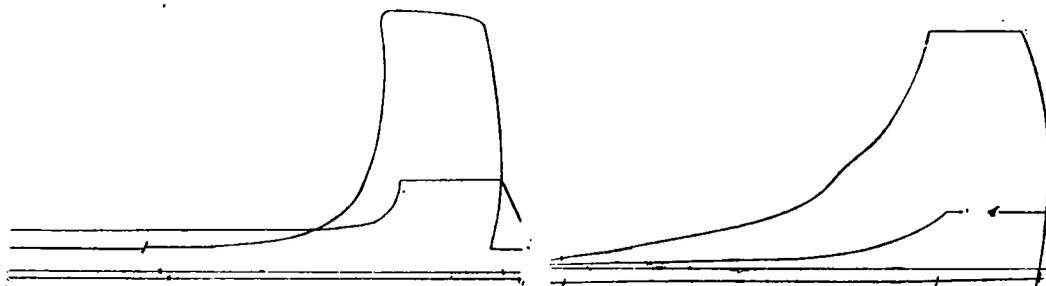
Метод заключается в том, что  $t_1$  и  $t_2$  выбираются таким образом, чтобы  $t_1 - t_B = 2(t_2 - t_B)$ , тогда формула (3) переписывается в следующем виде:

$$a = \frac{z_2 - z_1}{\ln 2} \quad (4)$$

Выражение  $z_2 - z_1 = a \ln 2$  может называться периодом температурного изменения.

Числовые величины  $a$ , полученные по этому методу, совпали с результатами, вычисленными по формуле (3).

В заключение приведем табл. 1 численных значений коэффициентов инерции  $a$  при некоторых скоростях, как полученных нами, так и по данным de Quervain'a.



Фиг. 2а.

Фиг. 2б.

Т а б л и ц а 1

Метеорограф Ассмана:	$v = 5$ м/сек.	$a = 0.594$	$v = 2$ м/сек.	$a = 0.832$
„	Боша $v = 4.75$ м/сек.	$a = 0.349$	$v = 2$ м/сек.	$a = 0.537$
„	Молчанова $v = 4.75$ м/сек.	$a = 0.466$	$v = 2$ м/сек.	$a = 0.716$
„	Хергезеля $v = 5$ м/сек.	$a = 0.130$	$v = 2$ м/сек.	$a = 0.198$

Ртутный термометр большой модели Ассмана по данным:

de Quervain'a	$v = 5.12$ м/сек.	$a = 0.274$	$v = 2.15$ м/сек.	$a = 0.366$
автора	$v = 4.75$	$0.284$	$v = 2$ м/сек.	$a = 0.436$

Проанализируем картину отставания в показаниях термометра от истинной температуры воздуха.

Представим себе, что наш метеорограф (т. е. прибор, регистрирующий не только температуру, но одновременно и давление и влажность) поднимается, причем температура воздуха равномерно понижается.

Если принять  $t_0$  — за температуру воздуха в начальный момент,  $z$  — время, выраженное в минутах,

$k$  — вертикальный температурный градиент  $\frac{dt}{dz}$ , выражающий закон изменения температуры с высотой (причем  $k$  может представлять собою и положительные и отрицательные величины, в зависимости от того, происходит ли в данный момент опускание прибора или его поднятие), имеем:

$$t_B = t_0 + kz, \quad (5)$$

подставляя в основное уравнение (1), которое напомним как  $t_B - t_n = a t'_n$ , получаем

$$t'_n + \frac{1}{a} t_n = \frac{1}{a} (t_0 + kz),$$

откуда путем интегрирования получаем

$$t_n = e^{-\frac{1}{a}z} \left( \frac{1}{a} \int (t_0 + kz) e^{-\frac{1}{a}z} dz + c \right) = e^{-\frac{1}{a}z} (t_0 + kz - ak + c) = t_0 + kz - ak + ce^{-\frac{1}{a}z} = t_B - ak + ce^{-\frac{1}{a}z} \quad (6)$$

В начальный момент, при  $z=0$ ,  $t_n = t_B = t_0$ , исходя из вышеприведенной формулы (6), получаем  $t_0 = t_0 - ak + c$ ; делая приведение, находим значение постоянной  $c$ , равное  $ak$ .

Формула (6)  $t_n = t_B + ak(e^{-\frac{1}{a}z} - 1)$  приводит нас к выводу, что с возрастанием времени  $z$  величина  $e^{-\frac{1}{a}z}$  стремится к нулю и абсолютное значение разности  $t_n - t_B$  возрастает, но никогда не превосходит абсолютного значения.

Поясним примером: имеем коэффициент инерции  $a = 0.349$  (для прибора Боша), скорость изменения температуры среды  $= -2^\circ$  в минуту, при  $v = 5$  м/сек. и при падении температуры воздуха с высотой через каждые 100 м в  $0.67^\circ$ , тогда отставание не превзойдет величины  $ak = 0.349 \times 2 = 0.698$  градуса. Найденное нами значение величины отставания будет справедливым только при условии, что плотность воздуха не изменяется. Если плотность воздуха меняется, как происходит в действительности, тогда коэффициент инерции  $a$  необходимо определить для интересующей нас плотности по формуле, исследованной Wigand'ом для биметаллических приемников.

Вид этой зависимости  $a = f(\varrho)$  следующий:

$$\frac{a}{a_0} = \left( \frac{\varrho_0}{\varrho} \right)^{0.60} \quad (7)$$

Рассмотрим этот вопрос на примере:

пусть

$$a_0 = 0.349, \quad \varrho = \frac{1}{10} \varrho_0,$$

тогда

$$\frac{a}{0.349} = \left( \frac{\varrho_0}{\frac{1}{10} \varrho_0} \right)^{0.60}, \quad \text{откуда } a = 0.349 \times 10^{0.60} = 1.392.$$

При новом значении  $a = 1.392$ , величина  $(ak)$  отставания выразится числом  $1.392 \times 2 = 2.784$ .

Таким образом, при уменьшении плотности воздуха с высотой отставание приемника от истинной температуры увеличивается до целых градусов.

Обобщая вышеизложенное, можно формулировать, что термографы, снабженные биметаллическими приемниками, с физической точки зрения являются лишь грубыми приборами, дающими только приблизительные значения истинного распределения температур в свободной атмосфере.

Закончив краткое исследование первого из двух упоминавшихся в начале работы факторов, затрудняющих возможность определения температуры воздуха свободной атмосферы — отставание показания термоприемника от температуры воздушной среды, переходим к рассмотрению второго фактора, имеющего не меньшее значение в вопросе получения истинной температуры воздуха — влиянию солнечной радиации на прибор.

Приведем опубликованные W. Кёррен'ом величины влияния излучения на показания различных типов термометров, свободно подвешенных для доступа прямой и рассеянной радиации и ветра.

Таблица 2

Величина отклонения от температуры воздуха вследствие радиации (в гр. С)

1. Для термометра палочного типа, наполненного ртутью, с цилиндрическим резервуаром; деление  $1/2^{\circ}$  . . . . . 2.7
2. Для минимального термометра, наполненного спиртом . . . . . 3.0
3. Для термометра от психометра Августа; деление  $1/5^{\circ}$  . . . . . 2.9
4. Для ртутного термометра с увеличенным шариком; деление  $1/2^{\circ}$  . . . . . 2.9

Опыт производился на небольшой высоте от поверхности земли; малая величина отклонения температуры термометров, подверженных действию солнечной радиации, объясняется влиянием сильных конвективных токов в приземных слоях воздуха. С ослаблением этого влияния, т. е. по мере удаления от поверхности земли, расхождение показаний термометра с окружающей температурой воздуха, как показали опыты, возрастает. С целью возможного приближения показаний прибора к действительной температуре воздуха исследователями этого вопроса были разработаны и применялись на практике различные, имеющие больший или меньший успех методы.

Простейшим мероприятием является достаточная защита от источников излучения. Чем лучше защищен приемник от постороннего излучения и чем быстрее движение воздушных частичек, тем ближе показания термоприемника соответствуют истинной температуре среды.

Как показала практика, экраны должны быть двойными, разделенными воздушной прослойкой, обладать блестящей поверхностью и минимальной массой; кроме того требуется надежная вентиляция.

Пример измерения температуры воздуха в стратосфере, когда неполное соблюдение вышеперечисленных условий повлекло за собой нагревание приемника от защиты, а тем самым дало ложное представление о температуре исследуемого слоя атмосферы, — будет приведен несколько ниже, после описания метода использования платиновых термометров.

## II

Перехожу к описанию метода, который применялся для исследования малейших колебаний температуры воздуха и сопоставления их с детальной структурой других элементов погоды. Частично он уже использован в полете стратостата „СССР“; с некоторыми усовершенствованиями (см. заключение) он будет применен и при дальнейших полетах.

Этот метод измерения температуры воздуха заключается в применении электрического термометра сопротивления.

Принцип действия прибора основан на изменении электрического сопротивления тонкой проволоки из чистой платины от повышения температуры; изменение температуры выражается зависимостью

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \text{ для интервала от } 0^\circ \text{ до } 650^\circ \text{C} \quad (8)$$

$$R_t = R_0[1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma(t - 100)t^3] \text{ для температур от } -195^\circ \text{ до } 0^\circ \text{C} \quad (9)$$

Критерием чистоты платины установлены два неравенства

$$\frac{R_{100}}{R_0} \geq 1.390 \text{ и} \quad (10)$$

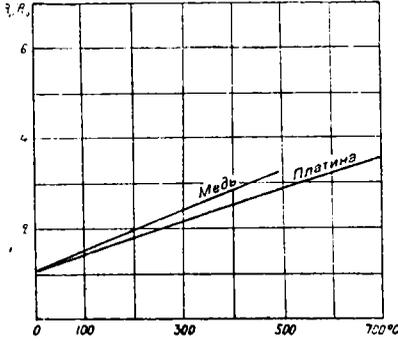
$$\frac{R_{444.6}}{R_0} \geq 2.645. \quad (11)$$

В уравнениях (8), (9), (10), (11)  $R_t$  есть сопротивление платиновой проволоки при температуре  $t$ ;  $R_{100}$  — сопротивление при температуре кипения воды ( $100^\circ\text{C}$ ),  $R_{444.6}$  — сопротивление при температуре кипения серы ( $444.6^\circ\text{C}$ ),  $R_0$  — сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  — постоянные, одинаковые, как для (8), так и (9) уравнений ( $\alpha = 3.978 \times 10^{-3}$ ;  $\beta = 5.8 \times 10^{-7}$ ). Эти значения коэффициентов могут быть приняты для весьма чистой платины); коэффициент  $\gamma$  приблизительно равен  $5.10^{-12}$ . График на фиг. 3 характеризует изменения сопротивления металлов  $\frac{R_t}{R_0}$  в зависимости от температуры.

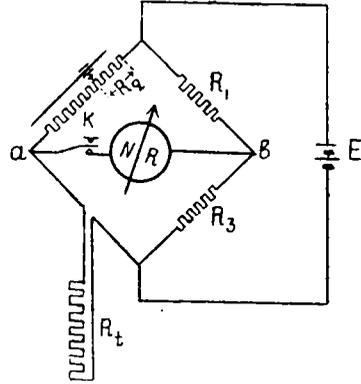
Прибор состоит из двух основных частей: приемника и регистрирующего прибора. Одним из наиболее удобных видов приемника для измерения температуры воздуха в свободной атмосфере является спираль из тонкой платиновой проволоки, растянутая по плоскости внутри тонкого стального кольца.

Проволока прикрепляется к кольцу тонкими шелковинками, расположенными радиально внутри кольца.

Приемник включается в измерительный прибор или при помощи: 1) моста Уитстона с нуль-аппаратом типа Дебрэ, используемым в качестве указателя равновесного состояния моста (фиг. 4) или в качестве измерителя сопротивления при мосте, заведомо выведенного из равновесия, или 2) непосредственно измеряющего сопротивление приемника-омметра (фиг. 5).



Фиг. 3



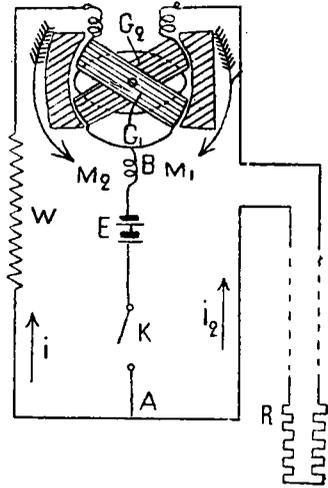
Фиг. 4.

Измерение сопротивления мостом Уитстона основано на сравнении потенциала двух промежуточных точек в параллельно включенных ветвях.

При равенстве потенциалов в точках  $a$  и  $b$  сопротивления  $R_1, R_2, R_3, R_t$  связаны между собою уравнением:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_t} \quad (12)$$

Омметры измеряют отношения сил токов двух цепей, питаемых от одного источника тока; в одну из этих цепей входит переменное сопротивление термометра, а в другую — некоторое постоянное сопротивление. Ток каждой цепи проходит через одну из двух независимых рамок (катушек), скрепленных между собой и могущих поворачиваться в поле постоянного магнита. Изменение силы тока в какой-либо цепи дает преобладание того или другого момента; рамки, вместе с укрепленным на них указателем, поворачиваются на некоторый угол в сторону действия большего вращающего момента.



Фиг. 5.

$$M_1 = K \cdot H \cdot i \cdot \cos \alpha, \quad \text{где } i = \frac{E}{W}, \quad (13)$$

$$M_2 = K H i_2 \sin \alpha, \quad \text{где } i_2 = \frac{E}{R}, \quad (14)$$

$K$  — постоянная прибора,  
 $H$  — напряжение магнитного потока,  
 $i$  и  $i_2$  — сила тока в  $m$  А,  
 $W$  и  $R$  — сопротивление в омах,  
 $E$  — электродвижущая сила в вольтах,  
 $\alpha$  — угол, определяющий положение рамок в магнитном поле.

Преимущество схемы (фиг. 5) с омметром перед схемой (фиг. 4) моста Уитстона заключается в том, что показания омметра не зависят от изменения напряжения, если последнее происходит в пределах  $\pm 30\%$ .

Присоединение приемника к прибору осуществляется изолированными проводами соответствующего диаметра. Диаметр проводов выбирается таким, чтобы погрешность проистекающая от изменения сопротивления этих проводов при колебаниях температуры окружающей их среды была достаточно мала.

Погрешность можно подсчитать по формуле

$$\Delta r = \frac{r_0(t_2 - t_1)}{462}, \quad (15)$$

где  $r_0$  — сопротивление провода при  $0^\circ \text{C}$ ,

$t_2 - t_1$  — колебание средней температуры среды,

$\frac{1}{462}$  — коэффициент, справедливый только для медных проводов при колебаниях температуры от  $0^\circ$  до  $100^\circ$ .

Для выражения величины погрешности отсчета по плановому термометру в градусах Цельсия, пользуемся формулой

$$\Delta t = \frac{\Delta r}{\alpha R_0} \text{ } ^\circ \text{C}, \quad (16)$$

где  $\alpha = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{dR_0}{dt}$ , знаменатель  $\alpha R_0$  — прирост сопротивления платинового термометра при повышении температуры на  $1^\circ \text{C}$ .

Если величина погрешности  $\Delta t$  превышает заданную величину и изменение значений  $r_0$  и  $R_0$  в пределах, технически целесообразных, не приводит к желаемому результату, тогда необходимо воспользоваться трех- или четырехпроводной системой включения термометров. (Исчерпывающий материал по этому вопросу можно найти в книге Г. П. Кульбуша „Электрические пирометры“).

Исследования Albrecht'a, Brückmann'a и Гольцмана выявили, что показания платинового термометра, при наличии радиации, отличаются от соответствующих показаний, при отсутствии радиации, лишь на десятые доли градуса.

Исследователи Albrecht и Brückmann выразили эту зависимость эмпирической формулой

$$\theta = \frac{s \cdot d}{a}, \quad (17)$$

где  $\theta$  — сверхтемпература или, другими словами, температурное превышение облучаемой платиновой проволоки над температурой окружающей среды,

$s$  — напряжение лучистой энергии,

$d$  — диаметр проволоки,

$a$  — коэффициент, зависящий от скорости ветра и формы поверхности.

В спокойном воздухе  $a$  имеет минимальные значения, соответственно чему величина  $\theta$  сильно возрастает.

При помощи продолжительных наблюдений вышеназванными исследователями было установлено, что наибольшее значение  $\theta = 0.17^\circ$ , при общей радиации в 1.5 м кал/см<sup>2</sup> мин., при полном штиле и диаметре проволоки в 0.025 мм.

Известно, что при малых диаметрах отдача тепла цилиндром (в данном случае платиновой проволокой) почти не зависит от диаметра. В этом случае постоянная  $a$  не зависит от диаметра, и сверхтемпература  $\theta$  увеличивается почти пропорционально диаметру платиновой проволоки термометра при условии, что излучение и скорость ветра остаются постоянными.

Так, например, термоприемник из платиновой проволоки диаметром в 0.2 мм показывает повышение температуры на 1.4°С, при тех же внешних условиях, в которых протекал опыт с проволокой диаметром в 0.025 мм.

При расчетах платинового приемника необходимо учитывать нагревание самой проволоки от проходящего по ней тока.

Нагревание проволоки, как показали исследования, не должно превышать 0°1, чтобы возможная ошибка, в приведенном выше примере влияния инсоляции на показания приемника, не превышала 0°2. Диаметр проволоки 0.025 мм.

Таблица 3

Нагрузка проволоки $d = 0.025$ мм в миллиамперах	Сверхтемпература платиновой проволоки (в гр. С)
2.5 . . . . .	0.0
5.0 . . . . .	0.10
7.5 . . . . .	0.49
10.0 . . . . .	0.76
12.5 . . . . .	1.16

Из табл. 3 видно, что сверхтемпература, с увеличением нагрузочного тока в приемнике, также возрастает. Возрастание сверхтемпературы от силы тока и физических свойств окружающей среды выражается следующей зависимостью:

$$\Delta\theta = -ai + bi^3, \quad (18)$$

где  $i$  — сила тока в приемнике,

$a$  — коэффициент, зависящий от скорости ветра и формы поверхности приемника,

$b$  — коэффициент теплопроводности среды.

Вышеизложенный принцип электрического термометра был полностью использован для измерения температуры воздуха при подъеме стратостата „СССР“ 30 сентября 1933 г. Сущность измерения заключалась в применении неравновесного моста Уитстона, одна из ветвей которого представляла собою приемник температуры. Этот последний состоял из платиновой проволоки диаметром 0.08 мм и сопротивлением в 65 ом, навитой спиралеобразно на слюдяные пластинки.

Приемник был подвешен снаружи гондолы, внутри вентиляционной шахты стратосферного метеорографа системы Молчанова.

Отсчеты производились визуально по стрелке гальванометра, помещенного внутри гондолы. Для возможности непосредственного получения температурных данных внешнего состояния атмосферы в обычных единицах измерения, деления шкалы гальванометра были нанесены через каждый градус, соответствуя температурам от  $-70^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$ .

Подобно всем применявшимся при полете приборам электрический термометр подвергся в Институте поверки метеорологических приборов ГГО тщательной проверке при температурах от  $+20^{\circ}$  до  $-63^{\circ}$  С. Результаты проверки дали основание считать, что прибор при достаточной вентиляции сможет обеспечить точность показаний до  $\pm 0.5^{\circ}$  С.

При описываемом полете платиновый термометр вместе с приемником метеорографа вентилировался естественным потоком воздуха, а при прекращении или уменьшении последнего — искусственным потоком, создаваемым электровентилятором типа „сирокко“. При полном отсутствии естественной вентиляции вентилятор обеспечивал скорость потока в 3.5 м/сек., при нормальном давлении. Для увеличения вентиляции конструкцией метеорографа предусмотрен в верхней части вентиляционной шахты раструб, который, как показали измерения в аэродинамической трубе, ускорял поток воздуха в шахте вдвое против наружного потока. Это отношение справедливо в том случае, если плотность воздуха близка к нормальной.

Однако на высоте, достигнутой стратостатом, где плотность воздуха значительно меньше нормальной, скорость вентиляционного потока, обеспечиваемая раструбом, оказалась недостаточной (см. сборник „Главная Геофизическая Обсерватория и полет в стратосферу 30 сентября 1933 г.“).

Вследствие слабой вентиляции, несмотря на хорошую никелировку, как наружных, так и внутренних частей шахты с двойными стенками, влияние инсоляции увеличилось настолько, что заключенные внутри шахты приемники, в том числе и температурные приемники, показали сильное повышение температуры, по сравнению с действительной температурой окружающего воздуха (см. сборник „Главная Геофизическая Обсерватория и полет в стратосферу 30 сентября 1933 г.“, рис. 13).

В заключение опишем способ, при помощи которого возможно избежать влияния солнечной радиации на показания прибора.

Как упоминалось выше, сверхтемпература платиновой проволоки, незащищенной от прямого действия радиации, повышается пропорционально диаметру проволоки, если диаметр очень мал. Исходя из этого, автором сконструирован прибор, при помощи которого можно измерять температуру воздуха с большой точностью, даже при наличии сильной радиации.

Такого рода измеритель особенно необходим для определения температуры воздуха на больших высотах, например в стратосфере, где напряжение солнечной радиации сильно возрастает.

Принцип основан на наблюдении показаний двух платиновых термометров, отличающихся толщинами взятых проволочек.

Естественно, что оба приемника должны находиться на достаточно близком расстоянии друг от друга, чтобы температурные условия измеряемой среды для них были по возможности однородными.

Пусть  $\theta$  — сверхтемпература более тонкого приемника; диаметры термометров относятся как  $1 : m$ ; тогда сверхтемпература второго приемника будет  $m\theta$ .

Итак

$$t_B = t_{n_1} - \theta \quad (19)$$

$$t_B = t_{n_2} - m\theta. \quad (20)$$

Умножая первое уравнение (19) на  $m$  и вычитая из него второе уравнение (20), получаем:

$$t_B = \frac{mt_{n_1} - t_{n_2}}{m - 1}. \quad (21)$$

Таким образом, приведенный метод измерения истинной температуры воздуха, с помощью сдвоенного термометра, исключает необходимость экрана, требующего усиленной вентиляции. При отсутствии вентиляции, как указывалось выше, показания прибора с экраном могут значительно отличаться от действительной температуры воздуха.

Кроме того, всякие дополнительные части, необходимые для правильного действия экрана, увеличивают в значительной степени вес прибора, что является весьма нежелательным дополнением при подъемах на максимальную высоту.

## ВАЖНЕЙШИЕ ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Albrecht, F. Thermometer zur Messung der wahren Lufttemperatur. Meteorol. Ztschr., 1927.
2. Brückmann, W. Über Versuche mit elektrischen Thermometern. Meteorol. Ztschr., 1920.
3. Hergesell, H. Theoretische und experimentelle Untersuchungen über das Verhalten von Thermometern insbesondere solcher, die schnellen Wechseln der Temperaturen ausgesetzt sind. Meteorol. Ztschr., 1897.
4. Kleinschmidt. Über die Formänderung der Burdon-barometer, -thermometer und Bimetallthermometer. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre, 1931.
5. Коерпен, W. Eine bisher unterlassene Thermometerprüfung. Meteorol. Ztschr., 1918.
6. Maurer, J. Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten des Trägheitskoeffizienten ventilierter Thermometer unter variablem Druck des aspirierenden Mediums. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre, 1904—1905.
7. Гольцман, М. Известия ГГО, № 1, 1934.
8. Панченко, М. Исследование высоких слоев земной атмосферы. Зап. Русск. Геофизич. общ., т. XLVII, 1883—1908.
9. Quervain, A. de. Untersuchungen über die Vergleichbarkeit der Temperaturregistrierungen in der freien Atmosphäre, mit experimenteller Bestimmung der Trägheitskoeffizienten der verschiedenen Thermographen. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre, 1904—1905.
10. Robitzsch, M. Die Beobachtungsmethoden des modernen Meteorologen, 1925.
11. Schmidt, W. Besprechungen M. Robitzsch. Meteorol. Ztschr., 1925.
12. Главная Геофизическая Обсерватория и полет в стратосферу 30 IX 1933 г. Изд. Гл. Геофиз. обсерв., Л., 1934.

В. А. ХАНЕВСКИЙ

## СТРОЕНИЕ СТРАТОСФЕРЫ В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ В НЕЙ

Применение метода шаров-зондов к исследованию атмосферы привело к открытию, что на высоте приблизительно 11 км, в умеренных широтах, падение температуры с высотой, характерное для нижних слоев атмосферы, прекращается, и далее вверх температура или остается постоянной или даже несколько повышается. Это открытие, сделанное Teisserenc de Bort'ом<sup>1</sup> в 1899 г. и независимо от него Assmann'ом<sup>2</sup> в 1902 г., было столь неожиданно и настолько противоречило тогдашним воззрениям, что Teisserenc de Bort не решился о нем опубликовать до тщательной проверки. Ведь даже в результатах наблюдений при научных воздушных полетах в Берлине в 1888—1899 гг. не было указаний на то, что падение температуры может прекратиться на некоторой высоте; напротив, получалось так, что это падение температуры не имеет иной границы, кроме границы самой атмосферы.<sup>3</sup> Соответственно этому вся атмосфера в целом принималась за место циркуляции между экватором и полюсами.

Первоначально думали, что открытое Teisserenc de Bort'ом и Assmann'ом явление представляет собою обыкновенную инверсию ограниченного вертикального протяжения, откуда произошло не совсем правильное название „верхняя инверсия“. Дальнейшие зондирования показали, что это мнение ошибочно, так как перехода к новому падению температуры с высотой не обнаружили и очень высокие поднятия.

Выдвинуто было затем новое объяснение, по которому высокие теплые массы воздуха происходят из экваториальных областей и представляют собою части общей циркуляции атмосферы между экватором и полюсами.<sup>4</sup> Это объяснение скоро также было оставлено как несостоятельное. Действительно, необходимым звеном общей циркуляции атмосферы являются вертикальные движения; в высоких изотермических слоях таких движений не может быть. Итак, из этих слоев общая циркуляция исключается и отодвигается в нижние слои атмосферы, в тропосферу.

<sup>1</sup> L. Teisserenc de Bort. Sur la décroissance de température dans les hautes régions d'après 258 ballons ayant atteint ou dépassé 11 km. Protokoll über die vom 20 bis 25 Mai 1902 zu Berlin abgehaltene dritte Versammlung der Intern. Kommission für wissenschaftliche Luftschiffahrt. S. 69.

<sup>2</sup> R. Assmann. Там же, S. 31.

<sup>3</sup> Wissenschaftliche Luftfahrten. Bd. I—III. Braunschweig, 1899—1900.

<sup>4</sup> R. Assmann. Protokoll über die dritte Versammlung der Internat. Komm. f. wiss. Luftschiffahrt, 1902, S. 32.

Таким образом, открытие Teisserenc de Bort'a и Assmann'a разделило земную атмосферу, считавшуюся единой, на две совершенно различные части: нижнюю — тропосферу и верхнюю — стратосферу. В тропосфере доминирующими чертами физического состояния являются восходящие и нисходящие токи, турбулентность, образование облаков и осадков. Стратосфера представляет сферу лучистого равновесия, т. е. равновесия между притоком лучистой энергии и отдачей ее вследствие лучеиспускания; в ней изменение  $t^\circ$  становится, в сущности, независимым от высоты.

Тропосфера и стратосфера разделены между собою переходящим слоем субстратосферы (или тропопаузы), в котором происходит ясно выраженное изменение степени падения температуры с высотой.

Вследствие недостаточности прежних методов аэрологических исследований, а следовательно за отсутствием соответствующих материалов, долго считали, что стратосфера охватывает целиком всю атмосферу выше тропосферы, что она является внешней оболочкой атмосферы. Однако, открытия последних лет показали, что стратосфера простирается лишь до высоты 40—45 км, а дальше следует озоносфера с иными термическими условиями, главной чертой которой является содержание в ней озона. Верхняя граница озоносферы лежит на высоте около 80 км, откуда начинается последняя внешняя сфера атмосферы — ионосфера.<sup>1</sup> Характерная черта внешней сферы — своеобразные электрические свойства, вытекающие из относительно очень высокой степени ионизации крайне разреженных газов, образующих состав атмосферы на этих огромных высотах.

Из всех этих сфер наибольший интерес возбуждает стратосфера. С одной стороны, о ней мы еще мало знаем, а с другой — суперавиация, для которой стратосфера интересна как место, где, несомненно, пройдут пути мировых сообщений, требует полного и всестороннего ее освоения. Также не выяснены взаимодействия между явлениями и процессами в стратосфере и тропосфере; они могут играть важную роль в деле прогнозов погоды. Особенно же важно завоевание стратосферы для обороны СССР.

Рассмотрим прежде всего тепловые условия, которые имеют место в стратосфере. Табл. 1 и фиг. 1 дают распределение средней температуры в тропосфере и нижней части стратосферы в зависимости от широты в северном полушарии, приблизительно на меридианах Западной Европы. Из хода линий равных температур, или изотерм, ясно видно, что до высоты 12 км горизонтальное понижение температуры направлено от экватора к полюсу и выше, наоборот, от полюса к экватору. Следовательно, в тропических странах тропосфера теплее, а стратосфера холоднее, чем в полярных. Например, на высоте 13 км мы имеем на широте  $68^\circ$  температуру  $-52.8^\circ$  и на экваторе  $-57.0^\circ$ , на высоте 20 км соответственно  $-48.0^\circ$  и  $-84.3^\circ$ . Наиболее сильный контраст между температурой у земной поверхности и в стратосфере над экватором, где разность температур

<sup>1</sup> Watson Watt. The Ionosphere. Nature, 1933, July 1, p. 13.

Таблица 1

Распределение температуры в тропосфере и в нижней части стратосферы

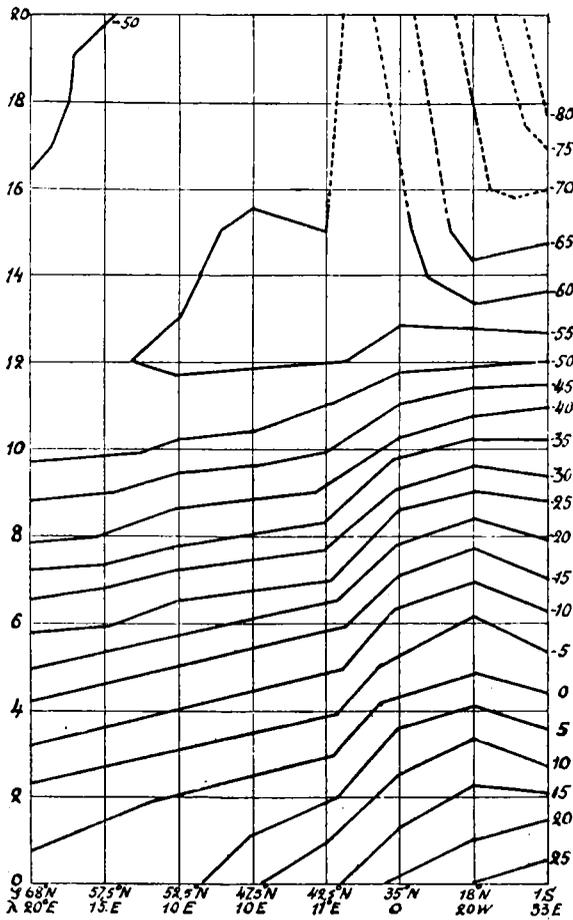
Высота в км	Шир. 69° N	57 $\frac{1}{2}$ ° N	52 $\frac{1}{2}$ ° N	47 $\frac{1}{2}$ ° N	42 $\frac{1}{2}$ ° N	35° N	18° N	1° S
	Долг. 20° E	15° E	10° E		11° E	0°	20° W	33° E
0	1.0	3.8	8.8	9.8	14.2	22.3	25.5	27.0
1	— 0.6	0.9	5.5	7.1	9.9	16.9	20.0	23.2
2	— 4.6	— 3.3	1.4	3.3	4.1	12.6	16.3	15.4
3	— 9.1	— 8.0	— 3.5	— 1.3	— 0.6	7.9	11.6	7.8
4	—14.1	—13.0	— 9.1	— 7.4	— 6.6	3.0	5.5	1.7
5	—20.2	—19.1	—15.0	—13.5	—12.5	— 1.8	— 1.0	— 3.8
6	—26.6	—25.5	—21.2	—20.3	—19.1	— 7.5	— 4.8	— 9.6
7	—33.5	—32.4	—28.1	—27.5	—26.2	—14.7	—10.6	—15.0
8	—40.8	—39.9	—35.4	—35.1	—33.5	—21.7	—17.1	—20.8
9	—46.6	—45.7	—42.5	—42.7	—39.7	—29.0	—25.4	—26.9
10	—51.2	—51.7	—48.5	—48.2	—45.6	—37.3	—34.8	—34.1
11	—53.0	—53.9	—52.9	—52.9	—50.3	—46.2	—43.5	—41.6
12	—53.8	—54.5	—55.8	—55.6	—53.3	—52.9	—51.6	—50.4
13	—52.8	—53.2	—55.0	—56.2	—55.5	—56.6	—58.1	—57.0
14	—52.3	—52.6	—54.6	—55.8	—55.3	—58.3	—63.2	—62.2
15	—51.8	—52.4	—54.5	—55.3	—55.0	—58.6	—68.8	—66.2
16	—50.5	—51.6	—54.6	—54.7	—54.8	—	—	—70.4
17	—49.2	—51.5	—53.8	—54.0	—54.1	—	—	—75.4
18	—48.3	—51.0	—53.8	—53.9	—53.8	—	—	—82.5
19	—48.7	—50.9	—53.1	—58.2	—53.3	—	—	—83.9
20	—48.0	—49.7	—51.4	—52.0	—52.1	—	—	—84.3

составляет около 110°, тогда как за полярным кругом эта разница не превышает 50°. Такой характер распределения температуры по вертикали строго закономерен и наблюдается при каждом отдельном поднятии.

На фиг. 2 представлено распределение средней температуры из 10 очень высоких подъемов в Южной Калифорнии (Авалон) в июле — августе 1913 г.;<sup>1</sup> от начала стратосферы до высоты 32 км имело место повышение температуры на 18°, а именно от —58° до —40°.

На максимальной высоте в 36 км, достигнутой при одном из подъемов шаров-зондов на Гамбургской обсерватории, зарегистрирована была температура около —46°. Этот факт говорит нам о том, что нижняя граница слоя с аномально высокими температурами должна лежать выше 36 км.

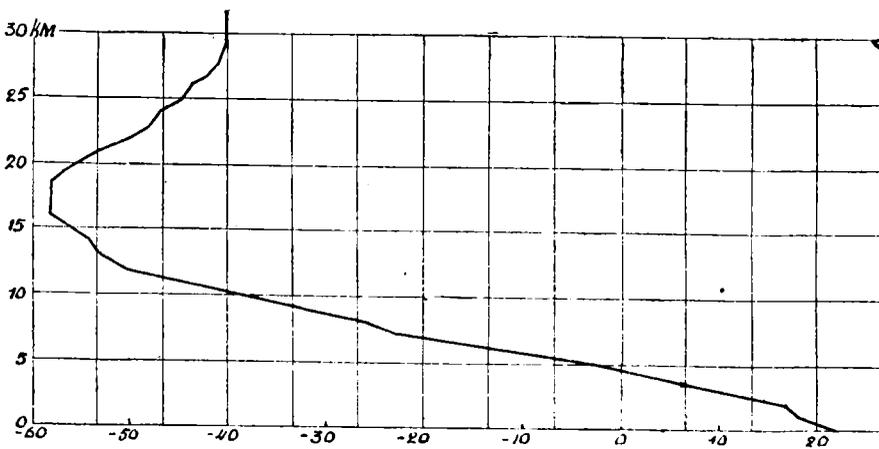
<sup>1</sup> Monthly Weather Review. July., 1914. См. также Meteor. Zeitschr, 1917, S. 325.



Фиг. 1.

Температура в стратосфере обнаруживает колебания в течение года (табл. 2, фиг. 3) с максимумом летом и минимумом зимой, причем амплитуда этих колебаний достигает в среднем  $6^{\circ}$ — $10^{\circ}$ .<sup>1</sup>

В стратосфере наблюдаются значительные непериодические колебания температуры, достигающие 10 и более градусов и являющиеся результатом перемещений теплых и холодных масс. Так как стратосфера холоднее над экваториальными странами, чем над полярными, то обыкновенно предполагают, что вторжение холодных воздушных масс происходит со стороны экватора, что существует „экваториальный фронт“ наподобие полярного в тропосфере. Однако наблю-



Фиг. 2.

<sup>1</sup> Die Arbeiten d. Preus. Aeron. Obs. bei Lindenberg, Bd. XVI, 1930. Beitr. d. Physik d. freien Atmosphäre, Bd. XVII, H. 2, 1931.

Таблица 2

## Годовой ход температуры над Линденбергом

Высота км	Зима	Весна	Лето	Осень	Ампли- туда	Высота км	Зима	Весна	Лето	Осень	Ампли- туда
0	0°	8°	17°	8°	17°	13	-57°	-53°	-50°	-54°	7°
1	-1	3	10	5	11	14	-56	-52	-50	-55	6
2	-5	-2	4	0	9	15	-56	-51	-50	-55	6
3	-10	-8	-1	-4	9	16	-56	-51	-50	-55	6
4	-16	-14	-6	-10	10	17	-56	-51	-49	-54	7
5	-22	-21	-12	-16	10	18	-57	-50	-48	-53	9
6	-30	-28	-18	-23	12	19	-57	-50	-47	-53	10
7	-37	-35	-25	-30	12	20	-58	-49	-46	-53	12
8	-45	-42	-33	-37	12	21	-	-49	-46	-52	-
9	-51	-48	-40	-43	11	22	-	-49	-45	-52	-
10	-56	-53	-46	-49	10	23	-	-	-45	-51	-
11	-59	-55	-50	-53	9	24	-	-	-44	-51	-
12	-59	-54	-50	-54	9						

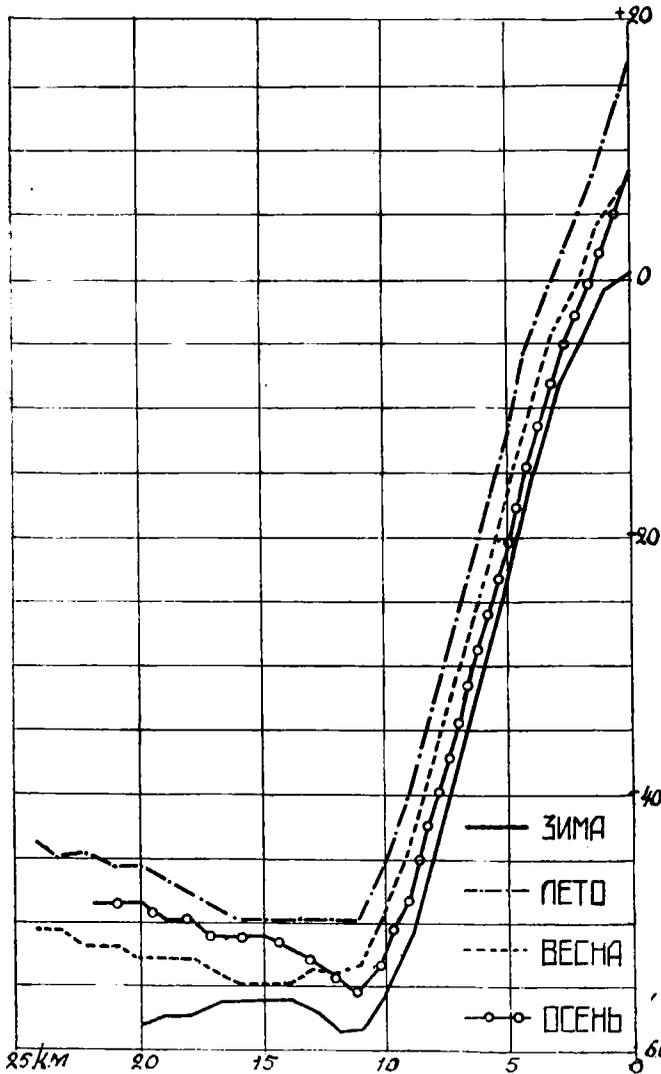
денями устанавливается возможность очень мощных холодных потоков также со стороны полюса, которые глубоко врезаются в стратосферу. Например, 30 сентября 1908 г. такой северный холодный поток еще не оканчивался на максимальной высоте подъема в 19 190 м над Страсбургом; начало стратосферы лежало при этом на высоте 13 870 м.<sup>1</sup> Возможны, повидимому, и вертикальные перемещения воздушных масс, хотя этот вопрос еще недостаточно исследован.

Граница между тропосферой и стратосферой служит в то же время и границей самых высоких облаков, — стратосфера, как правило, свободна от процессов конденсации, и вообще в области стратосферы при ее низких температурах условия влажности не играют существенной роли. На фиг. 4 представлено вертикальное распределение относительной влажности над Европой.<sup>2</sup> Как видно из него, относительная влажность в стратосфере незначительна: при вступлении в стратосферу она составляет в среднем 38% и затем убывает с высотой. Это убывание влажности обуславливается, с одной стороны, уменьшением количества водяных паров, с другой — повышением температуры, которое обыкновенно наблюдается в стратосфере. На высоте 20 км мы имеем всего 33%.

<sup>1</sup> W. Khanewsky. Zur Frage über die Konstitution und Entstehung hoher Antizyklonen. Meteor. Zeitschr., 1929, S. 81.

<sup>2</sup> W. Khanewsky. Die Verteilung der Feuchtigkeit in der Atmosphäre. Met. Zeitschr. 1926, S. 253.

Что касается абсолютной влажности, то она уже в тропосфере на высоте, примерно, 5 км не превышает в среднем 1 мм, а в стратосфере<sup>1</sup> она выражается тысячными долями метров.



Фиг. 3.

постепенно смещается к экватору и на высоте приблизительно 4 км вступает в приэкваториальную область. Падение давления или градиент давления принимает общее направление от экватора к полюсу. Это направление градиента давления сохраняется и в стратосфере до высоты приблизительно 20 км, причем величина этого градиента, достигнув своего максимального значения в субстратосфере, быстро убывает с высотой

В отношении определения влажности в атмосфере необходимо отметить, что здесь не преодолены еще инструментальные трудности, и мы не располагаем до сих пор достаточно надежными сериями наблюдений.

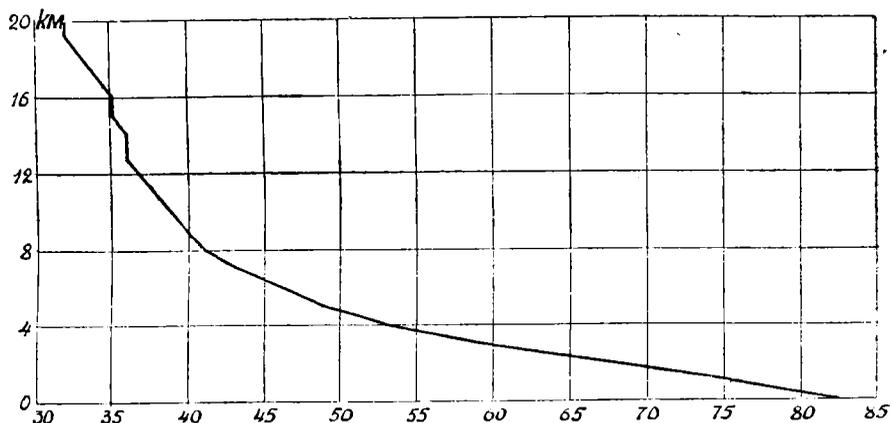
Неравномерное распределение лучистой энергии солнца по земной поверхности и отклоняющая сила вращения земли обуславливают возникновение на широте приблизительно 30° в приземных слоях атмосферы пояса высокого давления, в силу которого мы имеем известные условия движения в этих слоях: в умеренных широтах — западные ветры, в тропических — восточные или пассаты. По мере поднятия вверх этот пояс высокого давления

<sup>1</sup> Meteor. Zeitschr. 1917, S. 326.

(табл. 3). Например, если взять разность давлений на экваторе и в умеренных широтах, то она составляет на высоте 10 км 13.8 мм, а на высоте 20 км всего 1.5 мм.

Выше 20 км градиент давления, повидимому, обращается и принимает направление от полюса к экватору.

Соответственно направлению градиента давления в нижней части стратосферы должны господствовать западные ветры, а в верхней части, где градиент давления имеет противоположное направление, должны быть восточные течения. Мы видели, что в тропосфере градиент давления и градиент температурный совпадают по своему направлению и, следовательно, суммируются по своим действиям на воздушные массы, а в стратосфере, наоборот, эти градиенты противоположны. Поэтому при переходе из тропосферы в стратосферу скорость ветра должна убывать с высотой.



Фиг. 4.

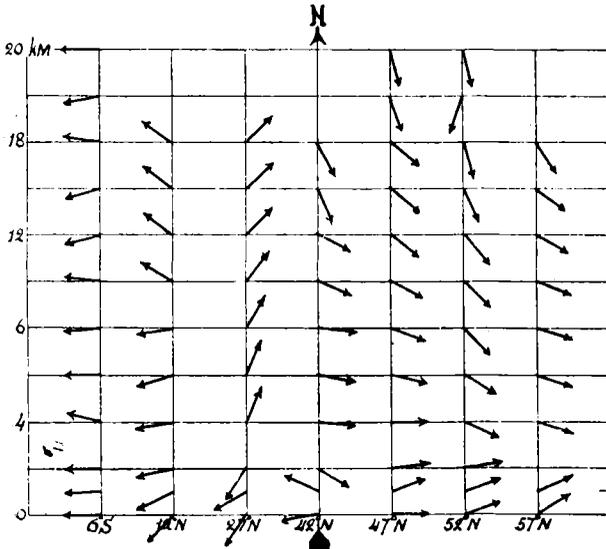
Таблица 3

Давление воздуха на различных высотах в стратосфере<sup>1</sup>

Высота км	8	9	10	11	12	13	14	15	19	20	25
с. ш.											
10° . . . .	285.0	249.3	217.2	188.6	163.1	140.5	120.5	103.0	54.5	46.5	20.8 мм
30 . . . .	281.3	244.9	212.3	183.4	157.7	135.5	115.6	98.7	52.4	44.7	20.3 „
50 . . . .	272.0	235.8	203.4	175.5	151.8	129.9	111.7	96.0	52.2	45.0	20.9 „
Разность 10—50° . .	13.0	13.5	13.8	13.1	11.3	10.6	8.8	7.0	2.3	1.5	-0.1

<sup>1</sup> А. Peppler. Zur Aerologie niederer Breiten. Beiträge zur Physik d. Atmosphäre. Bd. IV 1912, S. 226.

Посмотрим теперь, что дают наблюдения. На фиг. 5 и 6 представлены направление и скорость ветра на различных высотах под различными широтами. В стратосфере над умеренными широтами, действительно, господствуют западные ветры с северной слагающей, которая усиливается с высотой. Скорость ветра значительно убывает с высотой. В стратосфере над приэкваториальными странами дуют восточные ветры. Очень интересно появление в период с марта по сентябрь на высотах между 17



Фиг. 5.

и 24 км западных ветров, происхождение которых до сих пор не выяснено. Вследствие сложного напластования воздушных слоев изменение скорости с высотой не обнаруживает в приэкваториальных странах той закономерности, которую мы наблюдаем в изменении скорости ветра с высотой в умеренных широтах.

С высот, больших 20 км, наблюдений над направлением ветра мы имеем очень мало, и поэтому ничего нельзя ска-

зать, принимает ли ветер восточное направление соответственно направлению градиента давления на этих высотах. Например, подъем в Линденберге 14 августа 1925 г. (табл. 4) показывает, наоборот, тенденцию ветра принять северное направление путем ослабления восточной слагающей с высотой.

Таблица 4

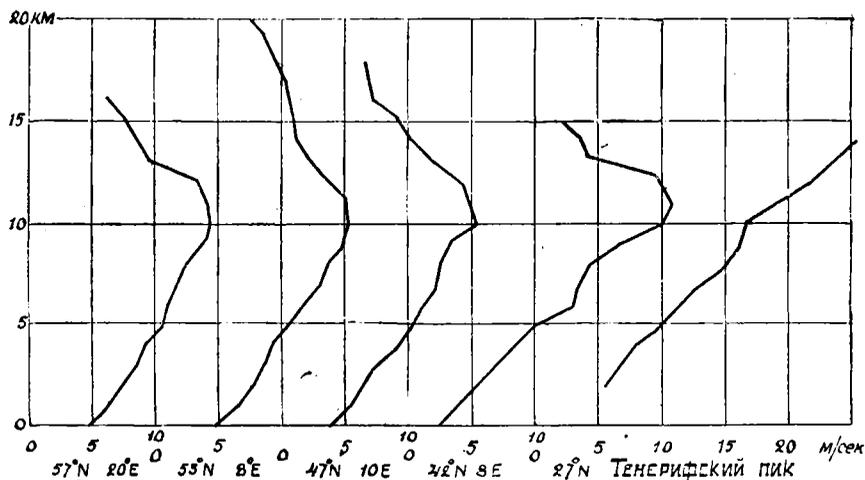
Распределение ветра над Линденбергом

Высота в км . . . . .	20	21	22	23	24	25	26	27
Направление . . . . .	13	13	12	8	5	4	4	4
Скорость . . . . .	9	8	7	5	3	3	3	3

Очень обстоятельную сводку об условиях ветра над Средней Европой дал W. Pepler,<sup>1</sup> положив в ее основу большой материал (700 отдельных

<sup>1</sup> W. Pepler. Die Windverhältnisse d. freien Atmosphäre. Meteor. Zeitschr., 1920, S. 132.

значений для высоты 4 км, еще 200 для начала стратосферы). Направление ветра, как видно из табл. 5, в годовом среднем западное с небольшим северным компонентом. Зимой ветер больше уклоняется к югу, летом больше к северу.



Фиг. 6.

Таблица 5

Направление ветра над Средней Европой

	Высота в км								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зима . . . . .	W10°S	W11°S	W10°S	W10°S	W 8°S	W 6°S	W 5°S	W 6°S	W 7°S
Лето . . . . .	W17 N	W25 N	W27 N	W27 N	W27 N	W28 N	W27 N	W27 N	W27 N
Год . . . . .	W 2 N	N 7 N	W 8 N	W 9 N	W10 N	W11 N	W10 N	W10 N	W10 N
	Высота в км								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Зима . . . . .	W 6°S	W 4°S	W 1°N	W 4°N	W 9°N	W16°N	W18°N	W18°N	W16°N
Лето . . . . .	W26 N	W26 N	W26 N	W26 N	W30 N	W33 N	W32 N	W30 N	W27 N
Год . . . . .	W16 N	W11 N	W12 N	W13 N	W17 N	W21 N	W21 N	W19 N	W17 N

Скорость ветра обнаруживает годовой ход (табл. 6): зимой она больше, летом меньше, причем этот ход удерживается до наибольшей высоты в 25 км.

Таблица 6

## Скорость ветра над Средней Европой

	Высота в км								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зима . . . . .	5.8	7.3	8.7	10.3	12.2	14.0	15.7	17.6	18.6
Лето . . . . .	5.6	6.3	7.5	8.6	9.8	11.2	12.6	14.0	15.7
Год . . . . .	5.7	6.8	8.1	9.4	11.0	12.6	14.1	15.8	16.8
	Высота в км								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Зима . . . . .	19.0	18.5	17.4	15.8	15.5	15.4	14.6	13.9	12.9
Лето . . . . .	16.8	17.5	16.1	14.2	12.6	10.9	10.0	10.1	8.7
Год . . . . .	17.9	18.0	16.8	15.0	14.0	13.1	12.3	12.0	10.8
	Высота в км								
	19	20	21	22	23	24	25		
Зима . . . . .	12.5	14.1	13.2	12.9	11.7	10.5	9.4		
Лето . . . . .	8.7	8.3	9.2	8.8	7.4	8.1	9.2		
Год . . . . .	10.6	11.2	11.2	10.8	9.5	9.3	9.3		

Приведем здесь (табл. 7) максимальные скорости, наблюдавшиеся над Линденбергом за период времени с 1927 до 1932 г.<sup>1</sup>

Таблица 7

## Максимальные скорости ветра над Линденбергом

	Высота в км								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Скорость (mps)	43	40	43	50	65	65	64	65	54
	Высота в км								
	13	14	15	16	17	18	19	20	
Скорость (mps)	38	37	19	17	18	18	8	6	

<sup>1</sup> Beitr. z. Physik d. freien Atmosphäre. Bd. XX, H. 4, S. 274.

Для определения направления и скорости ветра в стратосфере пользуются методом визирования шаров-пилотов и шаров-зондов. Существенным недостатком этого метода изучения ветра является то обстоятельство, что непосредственное наблюдение в облачную погоду ограничивается высотой слоя облаков и что до больших высот проследить шар-пилот и шар-зонд удастся только в ясную, безоблачную погоду, когда ветры бывают сравнительно слабы.

Таким образом, при помощи метода визирования шаров-пилотов и шаров-зондов мы получаем вообще преуменьшенные скорости ветра, особенно на высотах стратосферы. Чтобы иметь некоторые результаты о направлении и скорости ветра в облачную погоду, определяют положение мест падения оболочек шаров-зондов на земную поверхность после их разрыва в высоких слоях атмосферы. В этом случае, зная по записи метеорографов высоту подъема, можно найти по траектории, пройденной шаром-зондом за время от выпуска до приземления, среднее значение направления и скорости ветра во всем слое атмосферы, пересеченном шаром-зондом. Более надежные результаты в этом отношении можно получить при наличии сравнительно густой сети аэрологических станций с зондовыми поднятиями. В этом случае, зная распределение температуры по вертикали в смежных пунктах, можно вычислить градиенты давления на различных высотах и по ним градиентный ветер. Такого рода вычисление было произведено в 1923 г. Wagner'ом<sup>1</sup> для Мюнхена и Линденберга, и он получил следующие скорости ветра (табл. 8 и фиг. 7, пунктирная кривая):

Таблица 8

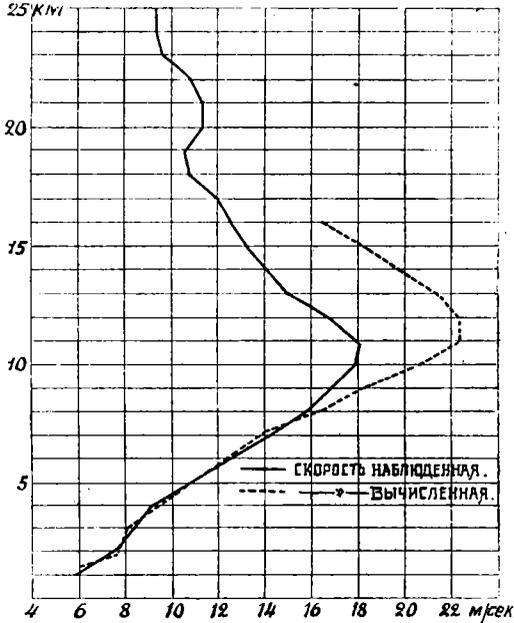
Скорость градиентного ветра

	Высота в км							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Скорость (mps) вычислен. . . .	5.8	6.6	8.3	9.1	10.8	12.5	14.1	16.6
Скорость (mps) наблюд. . . . .	5.7	6.8	8.1	9.4	11.0	12.6	14.1	15.8
Разность . . . . .	0.1	-0.2	0.2	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.8
	Высота в км							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Скорость (mps) вычислен. . . .	18.3	20.7	22.4	22.4	21.6	19.9	18.3	16.6
Скорость (mps) наблюд. . . . .	16.8	17.9	18.0	16.8	15.0	14.0	13.1	12.3
Разность . . . . .	1.5	2.8	4.4	5.6	6.6	5.9	5.2	4.3

<sup>1</sup> Meteor. Zeitschr. 1923, S. 289.

Тр. Конф. по стратосфере.

Сравнение вычисленных скоростей с наблюдаемыми показывает почти полное совпадение их до высоты 7 км; выше вычисленные скорости больше наблюдаемых, причем максимальное превышение в 6.6 м/сек. гадает на высоту 13 км.



Фиг. 7.

Направленный к северу перенос воздуха общей циркуляции в тропосфере доставляет в полярные области настолько большое количество тепла, что интенсивность земного излучения в пространстве там заметно больше, чем у экватора. Это обстоятельство является одним из решающих факторов сравнительно высокой температуры стратосферы над полярными странами.

С высот, больших 37 км, мы не имеем уже непосредственных измерений метеорологических элементов, и все наши сведения о стратосфере на этих высотах являются частью следствиями из термодинамики и кинетической теории газов, частью косвенными

заключениями из изучения геофизических и физических проблем.

Из сделанного нами краткого обзора видно, что наши знания о стратосфере далеко еще недостаточны, особенно о верхней ее части. Необходимо поэтому срочно и широко развернуть работы по изучению стратосферы, чтобы не только не отстать от капиталистических стран, но далеко опередить их.

Б. П. ВЕЙНБЕРГ

## К ВОПРОСУ ОБ ОТСТАВАНИИ ПОКАЗАНИЙ РТУТНОГО БАРОМЕТРА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ СТРАТОСТАТА

В своем докладе на утреннем заседании 1 IV 1934 г. С. И. Савинов, обратив внимание на наблюдавшиеся отставания показаний ртутного барометра при быстрых подъемах и спусках стратостата, дал для иллюстрации таблицу тех ошибок в определении высоты стратостата по отсчитанному давлению  $p$ , какие вызвала бы ошибка в 1 мм ртутного столба в значении  $p$ , и указал на трудность определить, будет ли при скоростях  $v$  подъема или спуска порядка 10 м/сек. отставание показаний ртутного барометра меньше этой величины или же больше.

В виду важности этого вопроса и желательности всесторонне осветить его, я тогда же вычислил влияние инерции столба ртути и сил внутреннего трения в нем. Привожу результаты этих вычислений, показавших, что причину отставания показаний  $x$  ртутного барометра нужно искать в другом.

Положим, что стратостат, находившийся в момент  $t=0$  в покое в слое атмосферы, где давление равно  $H_0$  см ртутного столба, спускается (или поднимается) с постоянной скоростью, соответствующей действительному увеличению (или уменьшению) давления на  $f$  см в секунду, и что давление отсчитывается по сифонному ртутному барометру, радиус трубки которого равен  $k$ , а длина столба ртути  $L$  см.

Обозначим плотность ртути при этой температуре через  $\rho$  и коэффициент внутреннего трения чрез  $\eta$  и начнем счет времени с момента начала спуска. Будем пренебрегать добавочными сопротивлениями движению ртути на закруглениях сифона и капиллярными силами, возникающими от неизбежной (при отсутствии постукиваний) большей кривизны у мениска поднимающейся части столба ртути и меньшей — у мениска опускающейся части. Кроме этих причин, может вызывать отставание показания  $x$  барометра от значения давления в момент  $t$ , равного  $H_0 + ft$ , еще обусловленные внутренним трением воздуха, разность  $\Delta p$  давлений на концах трубки радиуса  $r$  и длины  $l$ , которою открыт конец сифонного барометра, находящегося внутри гондолы стратостата, соединен с атмосферой, и отсасывающее или нагнетающее действие потока воздуха, движущегося относительно наруж-

ного конца трубки со скоростью, близкою к скорости  $v$  спуска (или подъема) стратостата.

При перечисленных ограничениях уравнение движения всей массы ртути в трубке, происходящее со скоростью  $\frac{1}{2} \frac{dx}{dt}$  и ускорением  $\frac{1}{2} \frac{dx^2}{dt^2}$  (множитель  $\frac{1}{2}$  зависит от того, что речь идет о сифонном, а не чашечном барометре), напишется так:

$$\frac{1}{2} \pi R^2 L \rho \frac{dx^2}{dt^2} = (ft + H_0 - x) \pi R^2 \rho g - 8\pi \eta L \frac{1}{2} \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

или, сокращенно,

$$\frac{d^2x}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} + bx = ct, \quad (2)$$

где

$$a = \frac{8\eta}{R^2 \rho} = 0.058 \frac{1}{\text{сек.}}$$

$$b = \frac{2g}{L} = 24.4 \frac{1}{\text{сек.}^2} \quad (3)$$

$$c = \frac{2gf}{L} \approx 0.049; 0.122 \text{ см/сек.}^3.$$

Указанные численные значения соответствуют значениям

$$\eta = 0.016 \frac{\text{г}}{\text{см/сек.}}, \quad R = 0.4 \text{ см}, \quad \rho = 13.6 \text{ г/см}^3, \quad L = 80 \text{ см},$$

$$g = 976 \text{ см/сек.}^2 \text{ и } f = 0.002 \text{ см/сек. и } 0.005 \text{ см/сек.},$$

что соответствует скоростям  $v$  опускания порядка  $4 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}$  и  $10 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}$  при толчке стратостата около 20 км.

Общий интеграл уравнения (1) выразится формулой

$$X = \left[ A_1 \cos \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t + A_2 \sin \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t \right] l^{-\frac{a}{2} t} + H_0 + \frac{c}{b} t - \frac{ac}{b^2}. \quad (4)$$

Постоянные  $A_1$  и  $A_2$  определяются из начальных условий

$$t = 0, \quad X = H_0, \quad \frac{dX}{dt} = 0, \quad (5)$$

из которых находим

$$A_1 = \frac{ac}{b^2} \text{ и } A_2 = \frac{a^2 c}{2b^2 \sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} - \frac{c}{b \sqrt{b - \frac{a^2}{4}}}. \quad (6)$$

Таким образом, обусловливаемое силами инерции и внутреннего трения в столбе ртути отставание  $\xi$  показания барометра через  $\tau$  секунд после начала спуска в соответствии с (4) и (6) будет

$$\xi = ft + H_0 - X =$$

$$= \frac{ac}{b^2} - \left[ \frac{ac}{b^2} \cos \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t - \frac{c}{\sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \left( 1 - \frac{a^2}{2b} \right) \sin \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t \right] l^{-\frac{a}{2} \tau} \quad (7)$$

Уравнения (4) и (7) показывают, что движение ртути в сифонном барометре при равномерном повышении давления с быстротою  $f = \frac{c}{b}$  будет асимптотически приближаться к равномерному со скоростью  $\frac{1}{2} f$  и с отставанием в  $\frac{ac}{b^2}$  против действительной величины давления. На это равномерное движение накладывается затухающее колебательное с коэффициентом затухания  $\frac{a}{2} = 0.029$ , с периодом

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \approx \frac{2\pi}{\sqrt{b}} \text{ (в разбираемом случае) } 1.27 \text{ сек.} \quad (8)$$

и с начальной амплитудой

$$A_0 = \frac{ac}{b^2} \quad (9)$$

Таким образом, отставание, равное в начале движения нулю, чрез  $\frac{1}{2} \tau$  сек. будет (в см  $Hg$ ) равно

$$\xi_{0.5\tau} = \frac{ac}{b^2} + \frac{c}{b\sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \left(1 - \frac{a^2}{2b}\right) \frac{c}{b\sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} l^{-\frac{1}{4}a\tau} \quad (10)$$

через  $\tau$  секунд

$$\xi_{\tau} = \frac{ac}{b^2} \left(1 - l^{-\frac{1}{2}a\tau}\right) \quad (11)$$

через 1.5  $\tau$  секунд

$$\xi_{1.5\tau} = \frac{ac}{b^2} \left(1 - l^{-a\tau}\right) + \frac{c}{b\sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \left(1 - \frac{a^2}{2b}\right) l^{-\frac{3}{4}a\tau} \quad (12)$$

и т. д.

Для указанных выше численных значений и имеем соответственно:

$v$	$\xi_{0.5\tau}$	$\xi_{\tau}$	$\xi_{1.5\tau}$	...	$\xi_{50\tau}$	$\xi_{50.5\tau}$	...	$\xi_{\infty}$
4 м/сек.	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$7.7 \cdot 10^{-8}$	$3.9 \cdot 10^{-4}$	...	$1.2 \cdot 10^{-8}$	$0.6 \cdot 10^{-4}$	...	$4.8 \cdot 10^{-6}$
10	$10.0 \cdot 10^{-4}$	$19.1 \cdot 10^{-8}$	$9.9 \cdot 10^{-4}$	...	$3.0 \cdot 10^{-8}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	...	$11.9 \cdot 10^{-6}$

При подъеме с земли с теми же скоростями будет иметь аналогично (при значениях  $f = 0.038$  и  $0.095$  см/сек.)

$v$	$c$	$\xi_{0.5\tau}$	$\xi_{\tau}$	$\xi_{1.5\tau}$	$\xi_{50\tau}$	$\xi_{50.5\tau}$	$\xi_{\infty}$
4 см/сек.	0.96	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$3.7 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-1}$	...	$0.6 \cdot 10^{-5}$	$0.3 \cdot 10^{-1}$ ... $2.3 \cdot 10^{-3}$
10	2.38	$4.8 \cdot 10^{-1}$	$9.1 \cdot 10^{-5}$	$4.7 \cdot 10^{-1}$	...	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$0.8 \cdot 10^{-1}$ ... $5.7 \cdot 10^{-3}$

Влияние внутреннего трения воздуха в трубке радиуса  $r$  и длиной  $l$  можно учесть на основании уравнения

$$\Delta v = \pi r^2 l \frac{f}{H} = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta l}, \quad (15)$$

выражающего тот добавочный объем воздуха при давлении  $H = H_0 + ft$ , который должен входить извне в такую трубку в 1 сек. для повышения давления в ней на  $f$  см и ту разность давлений  $\Delta p$  (в динах на  $1 \text{ см}^2$ ), которая требовалась бы для этого.

Так как  $f$  пропорционально  $H$ , то из уравнения (15) получаем для трубок, размеры которых указаны ниже, следующее значение  $\Delta p$  (переведенное в см Hg):

$v$		4 см/сек.	10 см/сек.
$2 r = 0.2;$	$l = 150$	$0.9 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-6}$
$2 r = 0.5;$	$l = 150$	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$3.4 \cdot 10^{-7}$

Если сопоставить с величинами отставаний, выражаемыми таблицами (13), (14) и (16), возможные (в трубке 0.8 см в диаметре) различия поправки (от 0.02 см до 0.08 см) на мениск при различной его высоте, достигающие 0.06 см, то можно прийти к заключению, что при значительных скоростях подъема с земли на первом месте стоят сравнительно медленно затухающие колебания столба ртути, только через 2—3 мин. после начала подъема доходящие до доли миллиметра, но зато могущие в известной мере заменять собою толчки, которые выравнивали бы капиллярные силы; постоянное же отставание настолько мало, что практического значения не имеет. Последнее обстоятельство еще более отчетливо для больших высот, для которых влияние капиллярности (устраняемое постукиванием) стоит на первом месте.

Гораздо существеннее неизбежное отставание, какое должно вызываться дополнительным нагнетанием воздуха в свободный конец соединительной трубки при подъемах, если этот конец находится снаружи верхней части гондолы, и отставанием воздуха из этого конца при спусках, зависящем от наличия параллельной свободному концу соединительной трубки, составляющей относительной скорости воздуха относительно поверхности гондолы. Но так как при помещении этого конца снаружи нижней части гондолы это влияние будет обратного знака, то путем изучения этих действий на модели гондолы, — или по самой гондоле, помещенной в аэродинамической трубе (подобно тому, как это делали П. А. Молчанов и С. И. Троицкий), — можно найти такое место для выходного отверстия на средней части гондолы (как это и было отчасти предусмотрено в стратостате „СССР“), где бы это сводилось практически к нулю.

Все сказанное относится к визуальным наблюдениям, при которых открытый конец барометра находится непрерывно в соединении с атмо-

сферой, или же к непрерывной регистрации уровня ртути. Если же от времени до времени прекращать соединение барометра с атмосферой, закрывая соответствующий кран, для возможности спокойно отсчитать установившиеся после этого показания уровня ртути в обоих коленах, то отсюда должно получиться значение давления в момент закрытия крана, так как отставание, выражаемое уравнением (8), будет довольно быстро аннулировано, а постукиванием будет доведено практически до нуля и влияние разности кривизны ртути в обоих; останется только отставание, выражаемое уравнением (15) и не имеющее практически никакого значения. Но зато новое открывание крана через  $n$  секунд после момента закрытия вызовет движение ртути, более интенсивное и сложное, чем то, которое выражается уравнением (2), так как начальное избыточное давление будет теперь равно не 0, а  $fn$ , и, следовательно, уравнение движения будет

$$\frac{d^2x}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} + bx = cf + cn, \quad (17)$$

если время считать от момента открытия крана.

Общий интеграл этого уравнения будет

$$x = \left[ A_1 \cos \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t + A_2 \sin \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t \right] l^{-\frac{a}{2} t} + H_0 + \frac{c}{b} t + \frac{cn}{b^2} - \frac{ac}{b^2}, \quad (18)$$

а из начальных условий (5) находим

$$A_1 = \frac{c}{b} \left( \frac{a}{b} - n \right), \quad A_2 = \frac{c}{b \sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \left( \frac{a^2}{2b} - \frac{an}{2} - 1 \right) \quad (19)$$

$$\xi = H_0 + f(t+n) - \chi =$$

$$= \frac{ac}{b^2} + \left[ \frac{c}{b} \left( \frac{a}{b} - n \right) \cos \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} t + \frac{c}{b \sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \left( \frac{a^2}{2b} - \frac{an}{2} - 1 \right) \right] l_0^{-\frac{a}{2} t} \quad (20)$$

Получается, таким образом, наложение на то же равномерное движение, как в первом случае, с тем же окончательным отставанием затухающих колебаний, с более значительной начальной амплитудой их. В самом деле, при малости коэффициента затухания  $a$  за эту амплитуду можно принять, как видно, например, из уравнения (13), величину  $A_2$ . Из сравнения же ее значений по формулам (6) и (19) видно, что во втором случае  $A_2$  примерно в  $b \left( \frac{an}{2} + 1 \right)$  раз больше, чем в первом случае, т. е. при открывании барометра на 1, 2, 3 ... минуты амплитуда соответственно в 1,9; 2,7; 3,6 ... раз больше. Но чем больше начальная амплитуда, тем больше промежуток времени, через который можно не опасаться влияния затухающих колебаний к моменту следующего закрывания крана.

Поэтому, повидимому, предпочтительнее, — если это не вызовет практических затруднений, — держать кран все время открытым, но при наблюдении барометра делать несколько (минимум — 3) отсчетов уровня ртути поочередно в обоих коленах, приблизительно через равные промежутки времени. Сопоставляя полусумму двух последовательных отсчетов в одном колене с промежуточным отсчетом в другом колене, можно из разности их получить значение давления в момент этого промежуточного отсчета, перед которым необходимо произвести постукивание.

---

М. В. БЕЖЕНЦЕВ

## МЕТОД ОТБОРА ПРОБ ВОЗДУХА, ПРИМЕНЯВШИЙСЯ НА СТРАТОСТАТЕ С-ОАХ-1

Посвящается памяти погибших  
товарищей А. Б. Васенко,  
И. Д. Усыскина и П. Ф. Федосеенко.

В конце марта 1933 г. мною было получено задание от Бюро по постройке стратостата Осоавиахима Ленобласти в месячный срок сконструировать и руководить изготовлением прибора для взятия проб воздуха при предстоявшем тогда полете стратостата С-ОАХ-1.

Столь короткий срок не допускал испытания существующих методов отбора проб из заграничной практики этого рода и оставалось подойти к вопросу непосредственно. За этот короткий срок нужно было: наметить схему, выбрать конструкцию, произвести лабораторное исследование надежности работы отдельных элементов конструкции, сделать опытный экземпляр прибора, испытать его и на основе этого выполнить прибор.

Лабораторное исследование и испытание проводилось мной в физической лаборатории ЛХТИ.

Стеклодувные работы были выполнены стеклодувом ГФТИ Н. Г. Михайловым.

### 1. ВЫБОР СХЕМЫ

Размещение прибора могло быть внутри гондолы и вне ее. Расположение внутри гондолы позволяет наблюдать непосредственно работу прибора и упрощать общую конструкцию установки. Эти причины заставили нас остановиться на размещении прибора внутри гондолы.

Пожелания химиков, сводившиеся к тому, чтобы колба для взятия проб, как до взятия, так и после него, должна была быть герметически запаяна, определили, вместо обычной для лабораторной практики газовой горелки, электрический ток как источник нагревания для впуска воздуха в колбу и ее запайки после взятия пробы.

### 2. КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Была сконструирована колба, характерными свойствами которой мы считаем механическую ее прочность, компактность, однообразие в спо-

собе выпуска и запайки, возможность предварительной заблаговременной откачки с прогревом и длительное хранение до момента анализа пробы.

Колба представлена на фиг. 1 и состоит из собственно колбы, элемента для выпуска и элемента запайки. На фиг. 2 дана увеличенная фотография запаянной шейки после вскрытия элемента запайки.

Как до выпуска, так и после запайки внутренняя полость колбы совершенно изолирована от внешнего пространства цельной стеклянной стенкой, что позволяло применить при откачке колбы современную методику высокого вакуума.

Если допустить при откачке вакуум порядка  $10^{-8}$  мм рт. ст., что не является идеалом современной вакуумной техники, то примеси посторонних газов при наименьшем внешнем давлении в 25 мм рт. ст. (наиболее неблагоприятные условия, отвечающие наибольшему предполагаемому потолку полета) составляли бы всего лишь  $4 \cdot 10^{-5}\%$ , т. е. оказались бы меньше  $0.0001\%$ .

Расположение прибора внутри гондолы вызывает необходимость наличия трубопровода, соединяющего колбы с внешним пространством. Общий канал трубопровода является мертвым пространством, а следовательно источником примесей. Так как технические требования устанавливали  $0.5\%$  как максимальную величину допустимых примесей, следовало позаботиться о том, чтобы отношение объема трубопровода к объему наименьшей колбы не превышало 0.005. Следует отметить, что примеси, поступающие в колбу из общего для всех колб трубопровода, не могут быть значительными в виду продувки его предыдущей пробой, мало отличающейся по своему составу как смежной.

### 3. ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОЛБЫ

Для определения условий и надежности работы элементов выпуска и запайки было поставлено более ста опытов при разных давлениях, которые привели к следующим результатам:

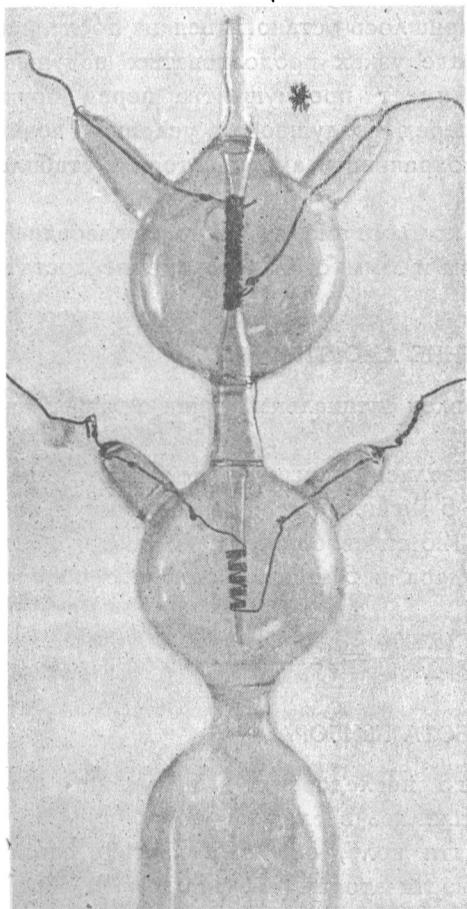
1) Мощность печи определена в 30 ватт (напряжение 10 вольт, ток 3 ампера).

2) Для операции выпуска наименьшая допустимая разность давления внешнего и в колбе оказалась равной 25 мм рт. ст. Время, потребное для прогрева стекла до начального момента выпуска, колебалось, в зависимости от толщины стенки стекла, от 5 до 11 сек. Время, необходимое на всю операцию, колебалось от 9 до 17 сек. (концом операции считалось полное выравнивание давления внутри колбы с внешним).

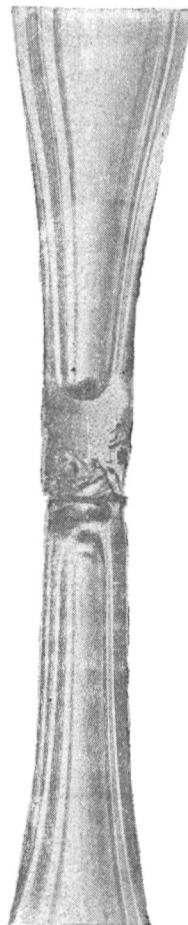
3) Для операции запайки минимальной разностью давления между давлением внутри колбочки элемента запайки и давлением внутри колбы (для этого случая оно равно внешнему) оказалось давление в 50 мм рт. ст. Минимальное время для запайки определено в 15 сек.

Увеличив несколько крайние значения, получаем время, необходимое и достаточное для каждой операции в 22 сек.

Испытание на длительный прогрев не дало отрицательных результатов.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

При охлаждении элемента запайки после прогрева, вследствие сокращения его размеров, каждый раз происходил разрыв запаянного перешейка. Исследование прочности запайки при этих условиях показало, что это обстоятельство не отражается на качестве запайки и, таким образом, не является опасным для колбы.

Первоначальный нагрев элемента запайки не вызывал (благодаря хорошему отжигу стекла и упругости стенки колбы элемента) разрушения с стенки колбы элемента; таким образом, этот элемент с успехом может быть применен при расположении колбы вне гондолы — давление в колбочке элемента сохраняется равным 1 атм. и даже увеличивается вслед-

ствие нагрева заключенного в ней воздуха, между тем как внешнее давление на высоте меньше 1 атм.

#### 4. ВЫБОР СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ

Из возможных амортизаторов — воздушно-пневматического, губчатой резины, пружинного и ватного пришлось остановиться на последнем.

Ватная амортизация (в виде узких продолговатых подушек), при меньшем весе чем губчатая, имеет преимущества перед пружинной в смысле размеров ящиков и перед воздушной, в условиях возможных колебаний давления, в смысле сохранности амортизатора и стабильности его работы.

Для промежуточной между колбами амортизации использование резиновой трубки внешним диаметром в 5 мм оказалось вполне достаточным и надежным.

#### 5. ИСПЫТАНИЕ АМОРТИЗАЦИИ

Для испытания был изготовлен специальный ящик с ватным амортизатором.

Результаты испытаний оказались положительными для удара снизу и сбоку при ударе со скоростью 5 м/сек. о твердую деревянную преграду (пол). Ящик бросался с высоты 128 см свободным падением, что отвечает скорости движения в момент удара в 5 м/сек. Последнее получаем из уравнения

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(5.100)^2}{2.981} = 127.5 \text{ см.}$$

#### 6. РАБОТА ПРИБОРА

В результате лабораторного исследования и испытания опытного прибора конструкция прибора вылилась в следующую форму.

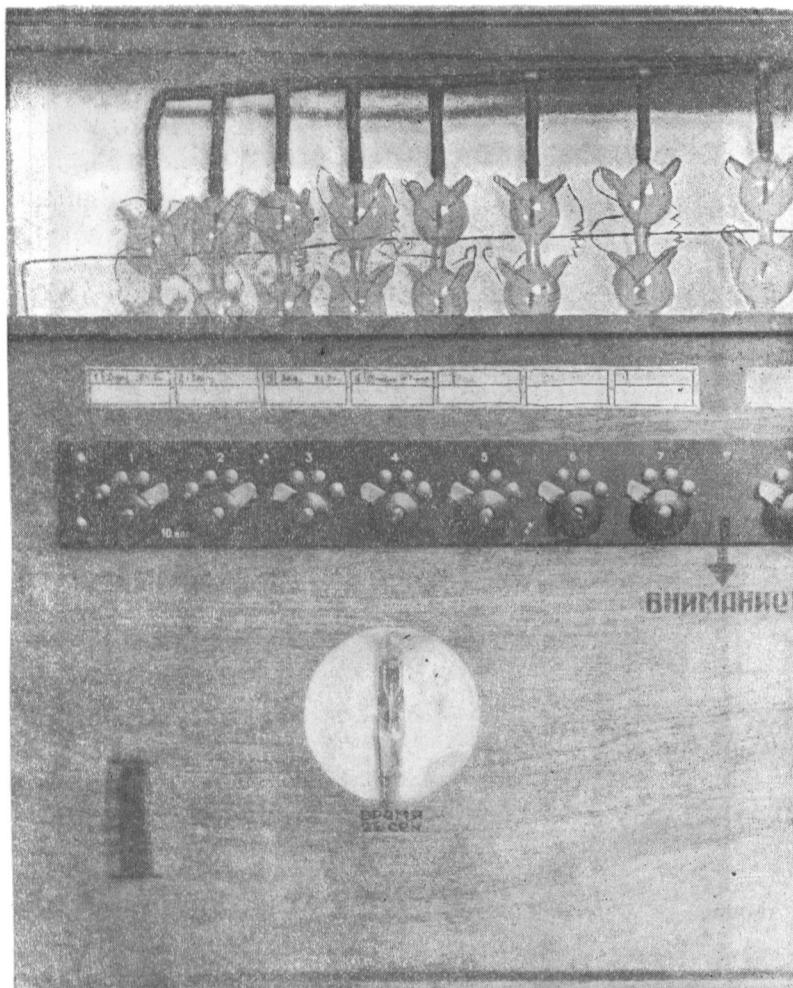
Прибор состоял из двадцати колб, общей емкостью около 20 л, помещавшихся в двух ящиках-амортизаторах (см. фиг. 3 и 4).

При весе прибора около 12 кг каждый литр взятой пробы, приведенный к 760 мм рт. ст., вместе с приходящимся на его долю мертвым весом прибора весил около 6 кг.

Впуск воздуха в колбу и запайка после взятия пробы производились нагревом от электрического тока по схеме, представленной на фиг. 5.

Элементы впуска и запайки включались контактным рычажком на распределительной доске прибора. Положение рычажка на первом холостом контакте означало, что проба еще не взята (колбы 3, 4 и т. д. на фиг. 3), на втором контакте рычажок выдерживался 22 сек. по песочным часам на приборе (см. фиг. 3) для операции впуска воздуха; после этого он передвигался на третий контакт для запайки колбы и окончательно еще через 22 сек. перемещался на четвертый контакт, в каковом положении указывал на то, что данная проба уже взята (колбы № 1 и № 2 на фиг. 3).

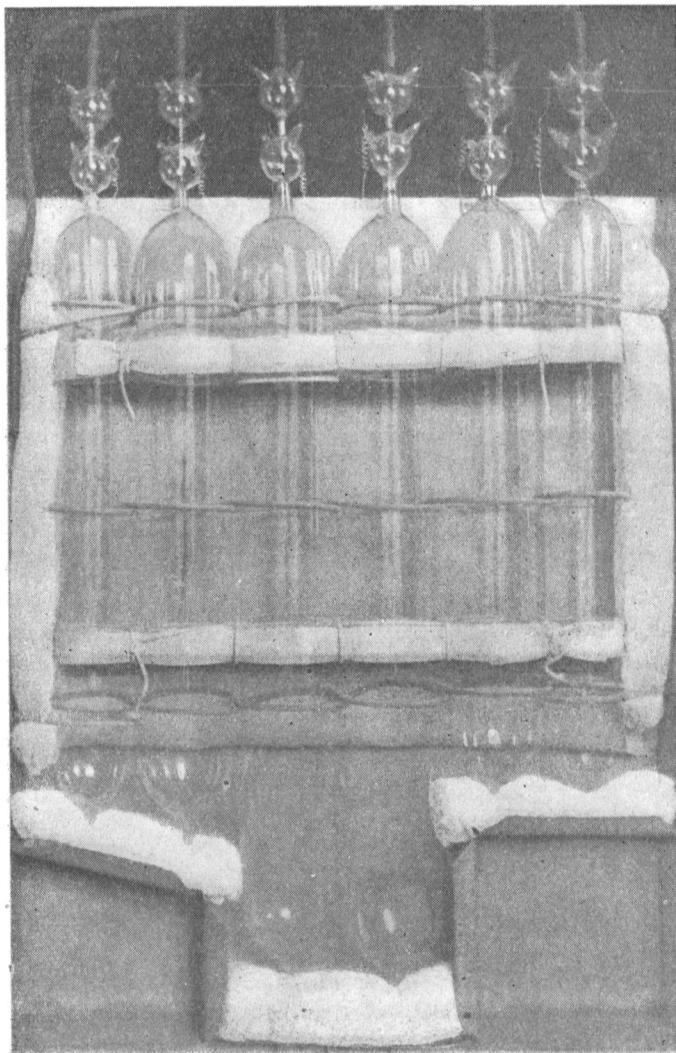
Пробы брались в порядке нумерации колб. Время, потребное для взятия одной пробы, — 44 сек. Фактическое начало впуска определялось по шуму, производимому входящим в колбу воздухом. Фактическое время заполнения колбы длилось от 3 до 10 сек., что при скорости подъема



Фиг. 3.

в 5 м/сек. отвечает разности высот от 15 до 50 м. Главная масса воздуха наполнила колбу в первую половину указанного промежутка времени и, таким образом, отвечала разности высот до 25 м. Поэтому можно было принять, что проба была взята на высоте, отвечающей моменту начала шипения воздуха при впуске. В этот момент необходимо было измерить барометрическое давление, которое записывалось в паспорте колбы, помещенном выше контактного рычажка (см. фиг. 3).

При переноске прибора к месту старта и при хранении его оба ящика могли складываться вместе, образуя закрытый со всех сторон пакет.



Фиг. 4.

#### 7. ВЫСОТЫ И РАЗМЕРЫ КОЛБ

Так как объем пробы, приведенный к давлению 760 мм рт. ст., должен был иметь величину  $100 \text{ см}^3$ , то размеры колбы изменялись по высоте (условие технических требований). В нижеследующей таблице приведены номера колб, соответствующие им высоты, предположительные давления в мм рт. ст. и другие характеристики колб.

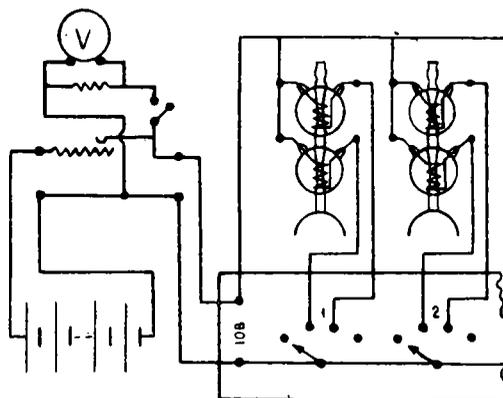
№№	Высота в км	Давление	Объем (см <sup>3</sup> )	Диаметр колбы	Длина в мм	Примечание
1 и 20	3	525	150	30	280	Помещались в ящике I
2 „ 19	5	420	200	30	300	
3 „ 18	8	270	300	35	320	
3 „ 17	10	198	400	40	390	
5 „ 16	12	145	550	55	320	
6 „ 15	14	110	700	55	320	
7 „ 14	16	75	1000	70	320	Помещались в ящике II
8 „ 13	18	60	1300	60	470	
9 „ 12	20	37	2000	80	470	
10 „ 11	22	25	3000	80	620	

На приборе для каждой колбы имелся паспорт, заключающий в себе: № колбы, давление в мм рт. ст., при котором должна была быть взята проба, и пустое место для записи карандашом фактического давления, при котором бралась проба.

#### 8. УСТАНОВКА ПРИБОРА В ГОНДОЛЕ

Два ящика прибора были укреплены на стенках гондолы с внутренней стороны, в верхней части ее, посредством четырех ремней каждый и соответствующих скобок, как на ящиках, так и на стенках гондолы.

Справа, сверху от каждого ящика, в стенке гондолы имелся кран для сообщения колб с внешним пространством. Канал крана, переходя снаружи в трубку, выступал на 20 см от стенки гондолы. Прибор питался от общей аккумуляторной батареи напряжением в 10 вольт.



Фиг. 5.

#### 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трагическая гибель героев стратосферы А. Б. Васенко, И. Д. Усыскина и П. Ф. Федосеенко не дает нам возможности говорить о качестве работы прибора описанной здесь конструкции.

Мы знаем лишь, на основании записей в бортовом журнале, что были взяты 17 или 20 проб воздуха на различных высотах, как при подъеме, так и при спуске. Это дает нам право надеяться на то, что приборы работали хорошо и что данную конструкцию следует использовать и при дальнейшем изучении стратосферы.

---

## ПРЕНИЯ

**В. В. Кузнецов** осведомляет Конференцию об открытии проф. Жамота. На основании данных ряда полетов шаров-зондов до 25 км оказалось, что с высоты 18—25 тыс. м получилась совершенно неожиданная инверсия: температура наблюдалась всего  $-20^{\circ}$ . При ночных опытах получились несистематически те же инверсии. Наблюдение за шарами производилось с двух пунктов, базис был 4 км, так что высоты до разрыва оболочки определялись совершенно надежно.

Проф. Жамот полагает, что это явление не связано с извержением в Южной Америке; по мнению проф. Жамота здесь мы имеем явление, подобное тому, которое наблюдается в светящихся облаках (такие светящиеся облака наблюдали: в 1881 г. д-р Иессе на высоте 90 км, в России проф. Церасский, от которого получен снимок этих облаков). В 1932 г. проф. Штермер наблюдал такие облака на высоте 26 км и определил фотометрически высоту и скорость их движения. Скорость была 175 м/сек. Возможно, что инверсия связана с этими явлениями в области стратосферы.

Не только при помощи звука, но и при помощи света можно исследовать состояние стратосферы. В 1906—1907 гг. в Павловской (ныне Слуцкой) обсерватории велись весьма интересные наблюдения над облаками при помощи прожектора: по временам были заметны пятна на облаках, иногда — световые блики, показывающие, что в данной области имеется источник, который отражает свет. Удалось проследить высоту луча до 14.5 км. Светящиеся облака появляются при сумерках, и потому тут мешает наблюдениям некоторое количество солнечного света. Прожектор ночью может осветить эти облака и, таким образом, констатировать их присутствие. В высших слоях, где воздух разрежен, поглощение получается очень небольшое, и свет прожектора может достигать высот до 30 км. Следовало бы организовать систематические наблюдения с помощью прожектора.

Проф. Жамот предлагает производить, по крайней мере еженедельно, подъем шаров весом от 3.5 до 4 кг. Эти шары будут достигать высоты от 35 до 40 км.

**А. А. Кулаков** обращает внимание на то, что докладчики рассматривают исследование стратосферы совершенно изолированно от Службы погоды. Он указывает на то, что в программе работ Конференции не имеется такого важного вопроса для практиков, как условия погоды, благоприятствующие подъему стратостата. Вместе с тем этот вопрос нельзя считать решенным.

Он просит Конференцию рассмотреть вопрос о самой системе организации Службы погоды стратосферных полетов. Следует поставить

систематические аэрологические наблюдения по всему Союзу, в различных областях.

**Калиновский** обращает внимание на мало затронутый вопрос о максимальных высотах, которых можно достичь при помощи обычных шаров-зондов. Существуют расчетные формулы, которые могут дать теоретически максимальную высоту шаров-зондов; практически эта высота никогда не достигается, потому что шар лопается гораздо раньше.

На основании этих расчетов можно привести примеры, характеризующие свойство оболочки; были сравнены подсчеты для подъемов, произведенных в Линденберге, и подсчеты нашей советской оболочки при подъемах на Московской Аэрологической обсерватории.

Докладчик излагает ряд требований, предъявляемых нашей резиновой промышленностью. Прежде всего необходимо иметь достаточно большую растяжимость оболочки и малый вес единицы поверхности, так как тонкостенная оболочка будет особенно благоприятна для высоких подъемов. Резина должна хорошо растягиваться при низких температурах. При изготовлении должны отсутствовать слабые места или дырки, наблюдаемые в нынешней оболочке довольно часто.

Большие и легкие оболочки следует наполнять для достижения максимальных высот как можно меньше и поднимать, может быть, в нерастянутом состоянии. При этом, если будет недостаточна вентиляция прибора, можно будет рассчитывать на спуск на парашюте.

Более тяжелые приборы должны прикрепляться к более толстым оболочкам, так как последние имеют достаточно высокое сопротивление на разрыв; тонкостенная оболочка особенно рекомендуется для достижения максимальных высот и, в особенности, при употреблении легких приборов типа Жамота.

В связи с достижениями максимальных высот возникает ряд проблем в отношении измерения элементов по высоте.

Первый вопрос — об измерении давления на большой высоте. Известно, что точность полученных нами измерений давления при помощи обычного метеорографа невелика. Второй вопрос, который упоминался здесь, — об инерции термометра. Третий вопрос — освобождение от влияния солнечной радиации. На все эти вопросы следует обратить особое внимание.

Кроме того, вопрос по измерению влажности также должен занять особое место.

В результате исследований, которые были проведены в Гамбурге при достижении высоты 36 км, выяснилось, что обычным методом зондирования возможно достичь 40 км при условии достаточно доброкачественной резиновой оболочки и соответствующей точности записей.

Следует рекомендовать в Москве особо заняться вопросом максимальных подъемов шаров-зондов.

В связи с этим можно поставить ряд методических работ по сравнению наблюдений в атмосфере и в стратосфере различными методами и различными приборами по одному методу. Может быть применен метод зондов, радио-зондов, звуковой метод.

Поскольку в населенных пунктах метод обычных шаров-зондов оказывается достаточно подходящим, следует рекомендовать ввести достаточно значительную их сеть на территории СССР.

**В. И. Виткевич** предлагает внести большую ясность в предложенную не совсем четкую формулировку резолюции, во-первых, по вопросу об организации центра по изучению стратосферы при Академии Наук, как

высшем всесоюзном органе, имеющем мировой авторитет. А именно, в резолюции следует более четко отметить необходимость широкого привлечения специалистов в этом центре.

Относительно приборов в резолюции сказано: „повысить качество“. Следует не только повысить качество, но и вопрос о приборах целиком должен быть поставлен заново.

Необходимо также привлечь изобретателей к выработке хороших, стандартных приборов.

На заседании секции была отмечена необходимость производить аэрологические исследования в различных пунктах, в частности по меридианам. Тов. Виткевич указывает на неправильность такого подхода: можно поставить исследования по меридианам и по параллелям, но при условии, когда точно выяснены основные пункты. Следует выбирать основные наиболее характерные и резкие климатические зоны. На огромной территории нашего Союза климат разнообразнее, чем в любой другой стране. Основные пункты, дающие лишь грубую ориентировку, следует поставить по климатическим признакам, и после этого можно идти и по меридианам.

**Белинский** указывает, что Конференция должна подвести итоги работ первого тура по штурму стратосферы. Эту работу мы только еще начали; впереди еще непечатый край. Вопрос о применении аэрологических методов для исследования стратосферы будет одним из основных вопросов. В данный момент необходимо, к сожалению, констатировать, что в области применения аэрологических методов исследования стратосферы методом непосредственного зондирования стратосферы у нас в Советском Союзе сделано весьма мало; больше того — в этом направлении мы не достигли еще довоенного уровня. Если в довоенное время главным образом и прежде всего трудами В. В. Кузнецова удалось организовать и провести подобные и полные зондовые исследования не только над Москвой, но и в Слуцке (б. Павловск) и в ряде других пунктов, то сейчас такое непосредственное зондирование мы имеем только в двух пунктах — в Москве и Слуцке. Ясно, что такие размеры работы совершенно недостаточны для разрешения задачи исследования атмосферы. Следует подчеркнуть, что методом непосредственного зондирования можно изучать не только распределение температуры и влажности в атмосфере. Этим методом, как известно, был проведен целый ряд работ по взятию проб воздуха с высоты 14 км и автоматическому переносу, были поставлены наблюдения на шарах-зондах по регистрации космических лучей. Эти шары-зонды представляют могучее оружие научного исследования, с помощью которого мы можем развернуть весьма широкую работу.

Все попытки поставить в данный момент исследования в ряде точек процессов, происходящих в атмосфере, упираются в факт полного отсутствия некоторых специальных приборов. Эти приборы у нас не производятся.

В резолюции Конференции следует подчеркнуть необходимость прежде всего производства и освоения таких приборов, как приборы Хергезелля, Жамота, Кузнецова, целиком оправдавших себя на практике и в конструктивном отношении не вызывающих сейчас сомнений.

Для исследования стратосферы необходимо наладить производство оболочек высокого качества. Завод „Промтехника“ показал, что он вполне может справиться с такой задачей: в 1930 г. заводом была изготовлена оболочка очень высокого качества для Московской Аэрологической обсерватории. Оболочки производства этого года по качеству гораздо хуже,

и заказ на них удалось сдать с большими трудностями. Представители завода „Промтехника“, приветствовавшие Конференцию, прежде всего должны поставить перед заводом задачу освоения производства оболочек качества 1930—1931 гг.

По вопросу о кадрах т. Белинский присоединяется к мнению В. И. Виткевича о необходимости для такой большой работы привлечения в целях объединения всех специалистов, могущих работать в данной области. Особо следует поставить вопрос о том, чтобы В. В. Кузнецов, основатель аэрологических исследований на нашей территории, вернулся к работе в области аэрологии. В. В. Кузнецов имеет огромный конструкторский и организационный опыт по аэрологическим исследованиям и большую эрудицию.

Необходимо развернуть в кратчайший срок сеть станций, на которых регулярно будет производиться исследование стратосферы методом шаров-зондов.

В заключение т. Белинский подчеркивает необходимость производства исследований „куска“ атмосферы (вопрос, на который уже указывал П. А. Молчанов), которые бы позволили с достаточной убедительностью проверить правильность положений норвежской и австрийской школы. Эти работы должны быть выполнены в ближайшее время. Они вполне под силу нашей стране.

**Петров** полагает, что для организации больших работ по исследованию стратосферы необходимо центральное руководство, центральный штаб. Таким центральным штабом должна быть Комиссия по изучению стратосферы при Академии Наук. Параллельно с ним работают ведомственные штабы в каждой отрасли народного хозяйства, принимающей участие в исследовании стратосферы: отдельные ячейки в составе промышленных и технических организаций и т. д. Центральный штаб при Академии Наук никакими административными правами не располагает; ими должны обладать лишь отдельные штабы при учреждениях. Центральный штаб должен иметь представителей от отдельных штабов, должен быть своего рода центральным исполнительным комитетом, действующим между съездами; его действие будет, очевидно, перманентно, и созываться он должен достаточно часто.

**Воробьев.** Среди факторов, подлежащих изучению во всей толще земной атмосферы, надо выделить один весьма интересный и на первый взгляд достаточно парадоксальный фактор: неизмеримо меньшая по массе часть атмосферы влияет на остальную, значительно большую массу.

Дальнейшее исследование стратосферы покажет истинную сущность такого рода явлений. По мнению т. Воробьева, из нашего поля зрения выпало одно существенное обстоятельство, именно влияние космических факторов на явления, происходящие в атмосфере. Эти факторы играют огромную роль, и в нашей стране имеются по этому вопросу интересные работы М. М. Поморцева и Шостаковича.

Если на сферу нашего земного шара приливные явления оказывают очень интенсивное воздействие, если космические причины влияют на океанические воды (явление приливов), то тем большее внимание оказывают они в действительности на такую подвижную субстанцию, как наша атмосфера, да еще в наиболее разреженных слоях.

Если мы не учтем этого фактора в программе наших дальнейших работ, то наше дальнейшее исследование будет в значительной степени искажено. В настоящий момент, по сравнению с прежним временем, мы имеем весьма много наблюдений, которые мы могли бы обработать, т. е.

наблюдения при международных подъемах шаров-зондов II Международного полярного года.

**Хромов** высказывает удовлетворение по поводу того, что П. А. Молчанов в своем первом докладе поставил вопрос о необходимости зондажей через короткие промежутки времени в особо интересных синоптических ситуациях. Производство таких зондажей является сейчас насущной потребностью динамической метеорологии; это, повидимому, — кратчайший путь к разрешению важнейших ее проблем.

После открытия самой стратосферы, по мнению т. Хромова, наиболее замечательными открытиями, относящимися к ней, являются: 1) установление весьма большой неперидической изменчивости температуры давления в нижней стратосфере и 2) колебания высоты тропопаузы при прохождении циклонов и антициклонов. Оба эти явления несомненно теснейшим образом связаны между собою и являются отражением динамических и термодинамических процессов, разыгрывающихся в верхней тропосфере и нижней стратосфере.

В этой области перед нами стоят сейчас две динамико-метеорологические задачи. Во-первых, необходимо определенно установить, в какой мере в колебаниях тропопаузы участвует адвекция в стратосфере и в какой мере и при каких условиях она обуславливается эффектом всасывания или, наоборот, выбрасывания над-атмосферными возмущениями.

Объяснять эти явления только горизонтальной адвекцией, о чем говорил здесь В. А. Ханевский, сейчас отнюдь нельзя с полной категоричностью. Новейшие исследования Пальмена указывают на роль адиабатических изменений температуры при нисходящих движениях в стратосфере над циклоном и в восходящих над антициклоном. В одной из последних работ совместно Пальмен и Я. Бьеркнесс дают комбинированную теорию, учитывающую как адвекцию, так и вертикальное движение. Во всяком случае Шмаусовское понятие об экваториальном фронте в его первоначальном виде сейчас вряд ли приемлемо. Стратосферные возмущения связываются скорее с волновыми колебаниями самой тропопаузы, какова бы ни была природа этих волн.

Второй задачей является выяснение причинной связи между волновыми колебаниями тропопаузы и волнами на тропосферных фронтах. Другими словами, какие из этих волн нужно рассматривать как вынужденные (если только вообще так можно ставить вопрос и если это не будет чисто формальным разложением единого циклогенетического процесса).

Оба упомянутые вопроса — второй в особенности — являются сейчас дискуссионными, и хотя за самые последние годы сделаны существенные попытки к их разрешению, главным образом эмпирическими исследованиями Я. Бьеркнесса и Э. Пальмена, мы все-таки стоим еще далеко от окончательного ответа.

Вопрос о наиболее целесообразной постановке зондажей приобретает здесь особую роль.

Прежде всего следует стремиться к наибольшему сгущению аэрологической сети, которая могла бы дать нам трехмерный разрез целого конкретного атмосферного возмущения до высот по крайней мере 16—20 км. Метод радио-зондов обеспечивает максимальную эффективность работ такой сети, но еще не обеспечивает выявления динамики процессов.

С другой стороны, даже одна станция, производя подъемы шаров через каждые час-два в области движущегося возмущения, может дать ценнейший материал, что доказано блестящими исследованиями Жамота

и Бьеркнесса. Здесь уже упоминалось о последних превосходных достижениях шарами Жамота высот в 25 км при весе оболочки 500 г.

Метод легких метеорографов явился весьма экономичным и наиболее, если не единственно, пригодным для наблюдений через короткие интервалы наблюдений. Поэтому задача, поставленная здесь П. А. Молчановым, непосредственно связана с освоением у нас легких метеорографов. Это освоение и организация ежечасных полетов в интересах синоптики является задачей ближайшего времени, необходимой с точки зрения динамической метеорологии вообще и разработки синоптического анализа в частности.

Тов. Кочин, говоря о высокой степени приближения при применении барометрической формулы к атмосфере, не находящейся в статическом равновесии, указал, что по Гессельбергу и Фридману погрешность порядка 0.01% и в крайнем случае 0.1%. В крайних случаях, однако, возможна, конечно, большая погрешность — порядка 1%.

Это еще давно показано Н. А. Коростелевым на анализе новороссийской боры. Мощное нисходящее движение воздуха при боре создает „динамическую добавку“ к давлению в несколько миллиметров ртутного столба. Следует вполне согласиться с тов. Кочиним, подчеркнувшим необходимость применения барометрической формулы при разрешении динамической проблемы, которая так широко практиковалась немецкими метеорологами и которая все-таки лет пять тому назад вызвала блестящую критику со стороны Бержерона.

Нужно бороться с тем, что в общей и популярной печати иной раз знакомят под видом последних достижений с результатами, которые метеорологией уже пережиты и превзойдены. Еще хуже, что читателям навязываются иногда также априорные идеи: погода делается в стратосфере, или погода делается в Арктике. П. А. Молчанов правильно указал здесь, что как в Арктике делается погода не больше, чем в других широтах, так и в стратосфере она делается не больше, чем в тропосфере.

Нельзя сомневаться в важности результатов исследования стратосферы для динамической метеорологии, а стало быть для практических целей предсказания погоды.

**Н. Ф. Гельмгольд** ставит вопрос о том, в какой степени для проблемы освоения стратосферы можно использовать массовый сетевой материал нашей гидрометрической системы. В виду сложности вопроса изучения стратосферы, требующего применения серьезных сил во всех отношениях, массовый сетевой материал может быть использован. Также следует иметь в виду использование шаропилотного материала для изучения ветра в стратосфере.

На Конференции уже упоминалось о том, что данные по ветру в стратосфере заведомо преуменьшены, При пасмурной погоде пилотные наблюдения вообще невозможны, а в ясную погоду они не всегда возможны или весьма затруднительны. Возникает технический вопрос об облегчении пилотных наблюдений. Дело сводится к приданию шару-пилоту большой скорости, чтобы во время подъема в стратосферу ветер не успел бы его отнести на большое расстояние и чтобы можно было вести наблюдения при не слишком большом удалении от зенита, но уже в стратосфере. Увеличение диаметра шара приводит только к некоторому небольшому, но далеко не пропорциональному увеличению вертикальной скорости.

Можно идти по пути создания удобообтекаемой оболочки, вопрос о которой был поднят П. А. Молчановым лет восемь тому назад. Были

даже заказаны оболочки каплеобразной формы, однако эти оболочки раздувались в виде правильного шара.

**Н. Ф. Гельмгольцем** была сконструирована оболочка обтекаемой формы путем склеивания из двух пилотных оболочек №№ 15 и 20. У № 20 была срезана нижняя часть, а у № 15 — верхняя часть; получилось некоторое подобие прибора Киппа в перевернутом виде. Образовавшийся шов был прикрыт резиновой лентой. При раздувании такая оболочка принимает последовательно разные формы и, наконец, более или менее удобообтекаемую форму. Если отрегулировать степени срезания этих оболочек — взять, например, меньшую часть нижней и большую часть верхней (взять не № 15, а № 10), то, может быть, мы получим более обтекаемую форму. Если раздувать оболочку водородом, то, как правило, начнет увеличиваться верхняя часть, и совершенно не увеличивается нижняя часть. Одна половина оболочки будет раздуваться в больших размерах, но другая половина вовсе не будет раздуваться. С этой особенностью справиться не удалось; пришлось ввести другую конструкцию, чтобы обеспечить наполнение обеих половин. Сбоку был взят аппендикс верхней оболочки, и обе части были наполнены отдельно, и тогда получилась удобообтекаемая форма. Резиновый поясок создал здесь нежелательную перетяжку. Введение такой удобообтекаемой оболочки в нашей сети значительно увеличило бы процент вхождения в стратосферу обыкновенных шаров-пилотов и дало бы больше материала по ветру.

**М. К. Тихомиров** указывает, что одна из задач, стоящих перед Конференцией, это подведение итогов проделанной работы. Участники Конференции должны разойтись с правильным представлением о том, что сделано и что еще осталось сделать. У некоторых получается странное впечатление, что положение с изучением стратосферы обстоит благополучно, все сделано и что остается только осваивать завоеванное. В действительности же многое еще не сделано. Например, не разрешен вопрос о распределении температуры. Последние наблюдения показывают, что дело обстоит далеко не так просто: мы имеем и тропопаузы и волнообразные явления в роде изогнутой буквы S и т. д.

Неизвестно также, можно ли было заранее предвидеть результаты, которые получились от действия приборов, или эти результаты неожиданны, и что делать — продолжать ли дальше исследование в этом направлении, или не следует продолжать. Например, присутствие, по указанию В. В. Кузнецова, на высоте 20 км очень сильной инверсии явилось совершенно неожиданным.

Еще недавно летчики стремились в стратосферу, полагая, что там господствует безветрие. Следует особо подчеркнуть неправильность такого взгляда, чтобы в этом отношении не было никаких недоразумений.

Относительно изучения стратосферы в целом оппонент полагает, что указания П. А. Молчанова о зондажах по меридиану могут дать существенный ответ на ряд вопросов.

**Ильин** обращает внимание на предложение тов. Кулакова о необходимости перенесения дела изучения стратосферы на практическую почву. Ильин отмечает мнение Кулакова о неполноте работы по освоению стратосферы, в особенности когда решается практический вопрос подъема и имеется расхождение с показаниями Бюро погоды.

**В. А. Ханевский** указывает, что один из оппонентов, тов. Тихомиров, неправильно представил дело так, что он, Ханевский, будто в своем докладе нарисовал картину полного благополучия. В докладе, наоборот, было категорически подчеркнуто, что мы очень мало знаем о стратосфере.

Относительно адвекции докладчик также вовсе не предлагал весь процесс сводить к ней. Наоборот, в докладе указывалось, что холодные массы внедряются снизу вверх, подчеркивалось, что существуют возмущения и что этот вопрос еще не решен.

**П. А. Молчанов** выражает полное удовлетворение по поводу созыва Конференции, возможности для специалистов различных дисциплин обмениваться мнениями, а также развернувшейся широкой дискуссии. Только живой обмен мнений дает истину, только таким путем и можно рассчитывать идти по пути прогресса. Несомненно, предстоит еще сделать весьма много, не только потому, что в нашем Союзе не сделано того, что имеется уже за границей, но и потому, главным образом, что требования нашего Союза к аэрологии грандиозны: нам необходимо сделать гораздо больше, чем то, на что можно рассчитывать в других странах.

Для нас совершенно ясна необходимость привлечь к делу исследования стратосферы все силы и средства, имея, прежде всего, конечно, в виду, чтобы результаты этих исследований Служба погоды могла бы использовать.

Темой нашего обсуждения является изучение стратосферы, а не тропосферы, поэтому мы здесь не затрагивали близко вопросов, связанных с ней, и представитель Службы погоды также не ставил их. Аэрологическая сеть ориентируется на исследовании тропосферы и стратосферы вообще; изучение же каждой из них должно развиваться своим чередом.

На настоящей Конференции мы ставим вопрос только об исследовании стратосферы, и поскольку оно только начинает развиваться, установки имеют нетотальный априорный характер, хотя вся программа исследований должна быть ориентирована на применениях результатов в дальнейшем для нужд нашего строительства.

**В. В. Кузнецов** говорил относительно слоя Жамота. По мнению **П. А. Молчанова**, этот слой случаен и связан с происходившей вулканической деятельностью и если он существует, то в течение сравнительно короткого времени, так как в ряде других пунктов этого слоя пока не обнаружено.

Исследования при помощи прожектора несомненно дадут весьма много не только в отношении изучения высоты облаков, как отмечал **В. В. Кузнецов**; японские исследователи изучают при помощи прожекторов даже инверсию, слои, которые отличаются повышением температуры. Вертикальные лучи прожектора дают картину распределения инверсии даже до слоя стратосферы. Такие исследования представляют действительно большой интерес, но требуют прожектора весьма большой мощности.

**А. А. Кулаков** также отделил вопрос необходимости перенесения дела изучения стратосферы на практическую почву. К этому предложению следует только присоединиться, но здесь мы, главным образом, говорим об исследовании особенностей стратосферы, чтобы можно было уяснить себе вопрос об остротности и роли стратосферы.

Что касается расширения сети зондировочных пунктов, то пункты были намечены в 1929 г. Но, к сожалению, как отмечается в резолюции, чрезвычайно низкое качество выпускаемых приборов не позволяло приступить к развитию этой сети. С этими приборами можно было работать в обсерватории, но пускать их на сеть было невозможно. Необходимо принять меры к изготовлению приборов, хотя бы в меньшем количестве, но достаточно хорошего качества.

Не ставя сейчас являющийся спорным вопрос о конструкции, можно предполагать, что при повышении качества и конструкция должна под-

вергнуться изменениям. Конструкция приборов в настоящее время все больше варьируется в виду ряда новых требований, заставляющих все больше совершенствовать тип приборов. Поэтому совершенно невозможно говорить, что приборы Хергезеля или Жамота являются последним словом техники: эти приборы далеко отстали от современных требований.

Если говорить о конструкции, то нужно говорить о реально построенных конструкциях, соответствующих условиям нашего рынка и условиям нашей сети станций. В виду важности этого вопроса он должен быть разрешен в том или ином направлении. Относительно меридиональных исследований здесь указывалось, что план должен предусмотреть как систематические исследования, которые подразумеваются как исследования на сети, так и специальные серии. Эти специальные серии П. А. Молчанов считает необходимым провести. Необходимость систематических исследований признается всеми. Все организации стремятся, более или менее удачно, к развитию сети станций, но специальные серии для исследования явлений не организуются — на это не хватает средств, или считается, что это ничего не может дать.

Следует отметить, что в метеорологии и, в частности, в аэрологии стремятся к накоплению фактов, чтобы из них получить нечто среднее. В настоящее время имеется ряд случаев, когда для изучения только того или иного вопроса производятся специальные для него исследования. На этот путь нам и необходимо встать. Этот вопрос был подробно развит П. А. Молчановым на заседании международной комиссии, причем отмечалось, что отсутствие средств заставляет отказаться от систематических исследований. Норвежская школа пошла в этом отношении далеко. В течение последних пяти лет П. А. Молчановым представлялись в центральное управление планы работы, которые, к сожалению, отклонялись.

Вопросов оборудования стратостатов особенно подробно касаться здесь не приходилось. Все необходимое по оборудованию стратостата „СССР“ было сделано. К оборудованию стратостата „Осоавиахим“ Главная Геофизическая обсерватория отношения не имела, она полностью переключилась на оборудование стратостата „СССР“ и для этого дела были выполнены, насколько возможно, работы и теоретического и практического характера. Была развернута большая критическая работа по отношению ко всем приборам.

Что касается вопроса об изготовлении оболочек, то здесь имеются значительные сдвиги. Завод „Промтехника“, получив соответствующие средства и поддержку, приступил к этим работам, и в результате мы имеем высокие поднятия сравнительно тяжелых приборов — радио-зондов.

Тов. Хромов отметил необходимость специальных исследований. Следует присоединиться к указанию т. Хромова о сгруппированных подъемах — 2—3 раза в сутки, через 2—3 часа, что не всегда возможно, но в отдельных случаях необходимо.

Необходимо отметить весьма полезное предложение, выдвигаемое Н. Ф. Гельмгольцем; уже давно ставился вопрос об обтекаемой форме оболочки, так как именно вследствие малой вертикальной скорости невозможно получить надежный материал по колебаниям ветра в стратосфере.

На этот вопрос также должно быть обращено большое внимание.

Наша основная цель, основное устремление — дать какой-то надежный материал для Службы погоды. В настоящее время все обслуживание нашего строительства ведется через Службу погоды. Только в редких случаях аэрология может непосредственно вести работу в этом отношении.

Основное положение нашей Конференции — вести дальнейшую работу так, чтобы материалы наших исследований, результаты этих исследований могли бы быть положены точно и твердо для использования Службы погоды.

**В. И. Виткевич**, присоединяясь к предложениям, высказанным в докладе проф. Н. Н. Андреева, предлагает уточнить одну деталь, уже отмеченную в докладе.

В резолюции следовало бы детально расшифровать то, что говорил Н. Н. Андреев относительно исследований не только стратосферы, но и атмосферы. Кроме исследований по стратосфере, необходимо произвести также организованно и в крупных масштабах исследование тропосферы, даже может быть нижних ее слоев. Такие исследования велись в целом ряде мест уже давно: в 1874—1875 гг. такие исследования производил Тиндаль, в 1867—1877 гг. в Америке — Генри. В 1890—1892 гг. на берегу Норвегии применялись звуковые сигналы для предупреждения моряков о состоянии погоды. В одном случае сигналы были слышны весьма далеко, в других случаях слышимость сигналов распространялась на очень малое расстояние. Это вызвало исследование Мона, которое продолжалось в течение трех дней. На основании своих исследований Мон написал статью, в которой дал теорию распространения звуков в нижних слоях атмосферы. Он располагал данными двух различных высот и обнаружил, что распространение звуковых волн зависит от различной температуры сообразно с высотой. В исследованиях, произведенных Моном, главным образом действуют тропосферные лои.

По мнению В. И. Виткевича, следует поставить, параллельно с этими исследованиями стратосферы, серии исследований, которые охватывали бы только нижние слои, и для исследования стратосферы очень важно изучить распространение звука в тропосфере. Если поставить параллельно с исследованиями стратосферы аэрологические исследования тропосферы в сеть пунктов, то, быть может, будут получены достаточные сведения о строении атмосферы.

Было бы рационально ввести в виде самостоятельного пункта не только исследования по звукам в стратосфере, но в первую очередь (потому что это легче организовать) и по тропосфере. Исследования по тропосфере должны быть выделены в самостоятельный пункт.

**Председатель** напоминает, что в текущем году уже ставятся как раз исследования в направлении, указанном В. И. Виткевичем, и потому считает свое заключительное слово излишним.

---

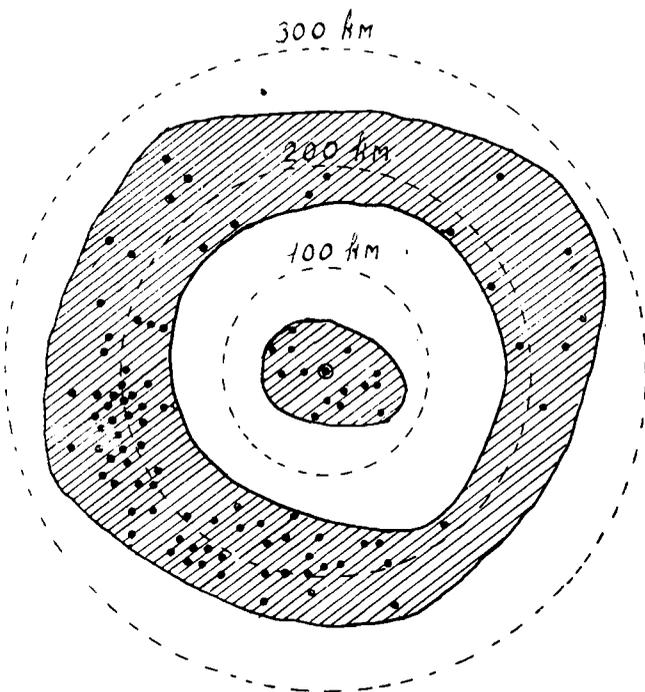
## **ПРОБЛЕМЫ АКУСТИКИ**



А. И. БЕЛОВ

## ТЕОРИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СТРАТОСФЕРЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДО 1932 г.

1. Специальные опыты со взрывами с целью зондирования стратосферы были впервые поставлены по окончании мировой войны. Начало было положено взрывом в 1922 г. в Oldenbroek в Голландии. В 1923 г. были проведены 3 взрыва в La Courtine во Франции, и в этом же 1923 г. начались широко поставленные опыты в Германии, организованные на средства, предоставленные Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft по предложению Вихерта. Но и до этих специальных искусственных взрывов путем систематизации наблюдений слышимости случайных взрывов, извержений вулканов,



Фиг. 1. Зона слышимости взрыва в Москве 9 V 1920 г.

канонад, взрывов метеоров уже были сделаны некоторые заключения о пути звуковых волн и были высказаны некоторые гипотезы о причинах аномальной слышимости.

Если мощность взрыва достаточно велика, то наблюдается следующая типичная картина (фиг. 1), которая лучше всего характеризуется наблюдениями слышимости взрыва в Москве 9 мая 1920 г., собранными и обработанными В. И. Виткевичем (1). Слышимость вблизи от места взрыва посте-

пенно ослабевает с расстоянием и при удалении на 50—60 км исчезает совершенно. Наступает „зона молчания“. На расстояниях же, больших 100 км, слышимость появляется снова, образуется кольцо внешней „аномальной зоны“ слышимости. Ширина этого кольца обычно больше радиуса внутренней зоны слышимости, а именно порядка 50—150 км. Положение внутреннего края различно; А. Вегенер (2), а по его почину и другие авторы считают, что этот край со 190 км для летних взрывов приближается к 110 км для зимних. На расстояниях 15—40 км от внутреннего края наблюдается наибольшая громкость.

Слышимость по различным азимутам обычно неодинакова, даже при московском взрыве, давшем наиболее симметричную картину, наблюдалось весьма заметное улучшение слышимости на юго-западе. В большинстве случаев звук взрыва в некоторых направлениях не слышен совершенно. Замечено, что аномальная зона слышимости для летних взрывов расположена на западе, а зимой на востоке. Для взрыва 7 июля 1912 г. в Wiener Neustadt (3) аномальная зона слышимости (фиг. 2) на западе занимала сектор около  $160^\circ$ , в то время как на востоке она или исчезла совершенно, или примкнула вплотную к внутренней зоне. Для взрыва 26 ноября 1920 г. в Vergiate (4), находящемся на южном склоне Альп, внешняя зона слышимости была расположена почти целиком восточнее места взрыва (фиг. 3), на западе же и на юге слышимость отсутствовала совершенно. Во время мировой войны звуки канонады на франко-германском фронте летом были лучше слышны на французской стороне, а зимой, наоборот, на немецкой.

Иногда за второй зоной молчания, следующей за первой внешней зоной слышимости, наблюдалась вторая аномальная зона слышимости, а иногда и третья. Для взрыва в Vergiate на юго-западе на расстоянии 250 км слышимость исчезает, а на 360 км появляется снова. При немецких опытах неоднократно наблюдалась подобная картина почти по всем азимутам.

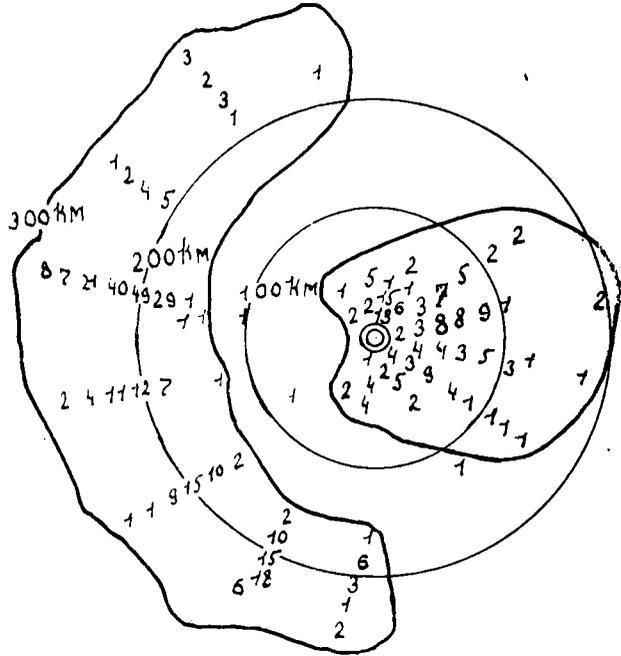
Звук, пришедший во внешнюю зону, имеет еще одну аномальную особенность. В то время как скорость распространения нормального звука 330—340 м/сек., аномальный звук перекрывает расстояние между местом приема и местом взрыва — со скоростью 250—300 м/сек., если считать это расстояние по кратчайшей линии, соединяющей место взрыва с местом наблюдения.

Все эти особенности звуковой картины мощных взрывов заставляют искать для аномального звука иных условий распространения, чем для нормального звука. Во внутренней зоне слышимости звуковые волны идут по поверхности земли, или поднимаются на небольшую высоту и возвращаются оттуда благодаря местным инверсиям и местным ветрам или же вследствие диффракции. Но таким способом звук может пройти лишь на расстояния, меньшие 50—60 км. Большая же часть звуковой энергии поднимается в более высокие слои атмосферы за пределы тропосферы и оттуда возвращается на поверхность земли на больших расстояниях.

Эти звуковые волны проходят большой путь и поэтому приходят с западанием. От поверхности земли эти волны могут отразиться, подняться опять в стратосферу и снова вернуться на землю, образуя третью зону слышимости.

Там, куда не достигают ни прямые, ни отраженные волны, образуется зона молчания. Места усиленной слышимости в аномальной зоне образуются там, куда возвращается благодаря каким-то особенностям отражения наибольшее количество звуковых лучей.

2. Таково качественное описание явления аномального распространения звука. Однако объяснение этой картины с учетом физических

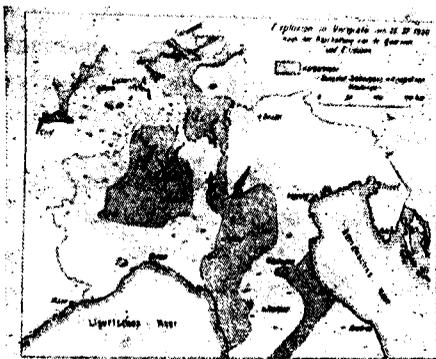


Фиг. 2. Зона слышимости взрыва в Вийнер Нейштадте.

законов распространения упругих колебаний встречается с рядом противоречий и неожиданностей. Рассмотрим энергетические условия

распространения. Звуковые волны, идущие через стратосферу, проходят больший путь, чем по поверхности земли, и, несмотря на это, слышны. Приходится поэтому предполагать, что поглощение звука в стратосфере меньше, чем у поверхности земли. Однако, если приписывать поглощение внутреннему трению и теплопроводности, то должна получаться обратная картина. По Шредингеру (5), на высоте  $h$  отношение интенсивности  $J_z$  звуковых колебаний с длиной волны  $\lambda$ , после прохождения пути  $z$ , к начальной интенсивности  $J_0$  этих колебаний равно:

$$\frac{J_z}{J_0} = e^{-\frac{80.1 \cdot 10^{-5}}{\lambda^2} z} \cdot e^{-0.125 \cdot 10^{-5} z}$$



Фиг. 3. Зона слышимости взрыва в Вергиате 26 XI 1920 г.

хождения пути  $z$ , к начальной интенсивности  $J_0$  этих колебаний равно:

Поглощение звука не падает, а растет с высотой и даже не просто по показательному закону, а по вдвойне экспоненциальному закону, из-за экспоненциального уменьшения плотности. Если бы у поверхности земли поглощение также определялось этим законом, то звуковые волны могли бы подняться только в самые нижние слои тропосферы. На самом деле поглощение у поверхности земли значительно больше, чем это получается по расчету. Настоящие причины этого отклонения от расчета точно неизвестны; приходится увеличение поглощения приписывать поглощению покровом земной поверхности и неоднородностям и турбулентностям в нижних слоях атмосферы. Поглощение звука, определенное в лабораторных условиях для свободного воздуха, близко к расчетному, поэтому вычисление поглощения по приведенной формуле должно давать близкие результаты. Шредингер пришел к заключению, что звуковые волны слышимых частот на высотах выше 80 км так сильно поглощаются, что подъем звуковых волн на большие высоты невозможен, и поэтому слои стратосферы, возвращающие звуковые волны на землю, должны обязательно лежать ниже 80 км.

Точный расчет аномального распространения звука до сих пор не существует, и для определения пути звуковых волн обычно пользуются законами геометрической акустики. За редким исключением возвращение звукового луча на землю приписывают рефракции, а не простому отражению. Последнее может произойти только в том случае, если звуковой луч встретит резкую границу между двумя слоями с различными скоростями звука, точнее с различными акустическими жесткостями. Акустической жесткостью в современной технической акустике называют произведение из плотности среды на скорость звука в ней.

При расчете пути луча рассматривают (6) рефракцию звуковых волн в слоистой среде. Атмосфера разбивается на слои, параллельные земной поверхности, причем скорость звука в каждом слое считается одинаковой и меняется лишь при переходе от слоя к слою. Слои рассматриваются плоскими, потому что на расстояниях нескольких сот километров кривизна поверхности земли практически неощутима.

При переходе из одного слоя в другой наклон луча определяется законом преломления, согласно которому для любого луча на всем его пути сохраняется постоянство отношения скорости  $v$  звука к синусу угла  $\alpha$ , луча с нормалью к поверхности земли в любом слое, лежащем на пути луча, т. е. для каждого луча

$$\frac{v}{\sin \alpha} = \text{const.}$$

При возвращении луч в верхней точке идет горизонтально  $\sin \alpha = 1$ , и поэтому скорость звука  $v_m$  у вершины луча как раз равняется указанному постоянному отношению. Следовательно, зная угол  $\alpha_0$  возвращения луча и скорость звука  $v_0$  у поверхности земли, можно определить ско-

рость звука в тех слоях, где луч достигает максимальной высоты, по формуле

$$v_m = \frac{v_0}{\sin \alpha_0}.$$

Так как  $\sin \alpha_0 < 1$ , то отсюда вытекает, что возвращение луча возможно лишь в том случае, если скорость звука в верхних слоях больше, чем у поверхности земли. Новая неожиданная особенность высоких слоев атмосферы. В тропосфере и в нижних слоях стратосферы скорость звука с высотой не увеличивается, а падает вследствие понижения температуры. Не вдаваясь в рассмотрение возможных причин повышения скорости звука, мы исследуем другие пути экспериментального определения траектории звуковых волн.

Рассмотрим две близкие точки на поверхности земли в аномальной зоне, лежащие на расстоянии  $\Delta D$  друг от друга на одной и той же прямой, исходящей из источника звука. Звуковые волны, попадающие в более удаленную точку, не проходят через более близкую точку, так как они идут не по поверхности земли, а спускаются сверху под углом. Поэтому интервал времени  $\Delta t$  между моментами прихода звука в каждую точку определяется не скоростью звука у поверхности земли, а другой кажущейся скоростью, которую мы будем называть скоростью скольжения. Величина этой скорости, равная  $\frac{\Delta D}{\Delta t}$ , как раз равна скорости звука у вершины луча. Согласно принципу Ферма, распространение лучистой энергии происходит по пути с наименьшим временем распространения, поэтому разница путей двух лучей, попадающих в две рассматриваемые точки, будет приходиться главным образом за счет увеличения пути в области наибольшей скорости звука, т. е. как раз у вершины луча.

При сейсмическом методе геологической разведки обычно используется график, называемый годографом. На оси абсцисс этого графика откладываются дальности  $D$  приемных пунктов от места взрыва, а по оси ординат — время  $t$  пробега звука до соответствующего пункта. Подобный график может быть построен и для распространения звука. Точки, соответствующие нормальному звуку, лежат на прямой, проходящей через начало координат под углом, котангенс которого равен скорости нормального звука. Экспериментальные точки для аномального звука также располагаются по прямой, но эта прямая лежит выше и идет под другим углом; котангенс этого угла  $\frac{dD}{dt}$  является скоростью скольжения и, следовательно, также равен скорости звука у вершины луча.

Вот те три пути: 1) измерение угла прихода звукового луча, 2) определение скорости скольжения и 3) построение годографа, которые могут быть использованы для определения скорости звука на вершине звукового луча. Но этого, конечно, мало, так как неизвестно даже, на какой высоте

луч поворачивается, как высоко лежат слои с аномально большой скоростью распространения.

Но эксперимент дает еще одну величину, которая позволяет с сравнительно большой точностью определить не только положение вершины луча, но и всю траекторию луча. При опытах определяется также общее время пробега луча  $t$ .

Зная угол прихода луча и вычисляя по метеорологическим наблюдениям скорость звука в тропосфере и нижних слоях стратосферы, можно на соответствующих высотах построить нижние ветви звукового луча. Обычно принимают, что луч выходит из источника звука под тем же углом, что и возвращается обратно на землю.

Из подъема радиозондов и простых зондов известно, что температура стратосферы на высотах до 35 км примерно постоянна и на средних широтах равна  $-50-55^\circ\text{C}$ . Известно также, что состав атмосферы на этих высотах примерно тот же, что и у поверхности земли, и поэтому скорость звука зависит только от температуры и определяется формулой  $v = 20\sqrt{T}$ , где  $T$  — абсолютная температура. Используя эти сведения, можно достроить звуковые лучи до высоты около 35 км.

Кроме того, можно определить проекции  $D$  этих участков лучей по формуле

$$D_1 = \int_0^{h_1} \operatorname{tg} a dh = \int_0^{h_1} \frac{v \sin a_0}{\sqrt{v_0^2 - v^2 \sin^2 a_0}} dh$$

и соответствующее им время пробега  $t_1$ , т. е. промежуток времени, необходимый для подъема луча до высоты  $h_1$  или спуска с этой высоты:

$$t_1 = \int_0^{h_1} \frac{1}{v \cos a} dh = \int_0^{h_1} \frac{v_0}{v} \frac{1}{\sqrt{v_0^2 - v^2 \sin^2 a_0}} dh$$

Здесь  $v_0$  и  $a_0$  — скорость звука и угол наклона луча у поверхности земли,  $v$  и  $a$  — те же величины для высоты  $h$  — известные функции высоты.

Остальная неизвестная часть луча, самая верхушка, может быть построена произвольно, но так, чтобы при длине проекции, равной  $D_2 = D - 2D_1$ , время пробега этого участка равнялось  $t_2 = t - 2t_1$ . Выбор различных вариантов здесь очень ограничен, потому что, помимо ограничения во времени, луч должен быть построен так, чтобы скорость звука на вершине равнялась известной величине  $v_m$ , а на остальной части луча была меньше этой величины. Следовательно, имеется возможность не только определить высоту подъема звукового луча, но и набросать характер возрастания скорости звука с высотой в слоях, достигаемых звуковыми волнами.

Таков путь использования результатов опытов со взрывами. Здесь, разумеется, дано несколько упрощенное построение в спокойной атмосфере, рассчитанное на простые метеорологические условия и достаточно

полно обставленные эксперименты. Недостаточность аэрологических наблюдений, особенно в стратосфере, вводит произвол уже в построение нижних ветвей луча. Отсутствие приемных пунктов с определением угла или скорости скольжения и неточность годографа из-за малого количества приемных пунктов не дают точного значения скорости звука на вершине.

Значительно осложняет задачу построения луча наличие ветра. Луч при поперечном или при косом ветре становится уже не плоским, но приобретает двойную кривизну. Его направление определяется уже иными соотношениями; в случае продольного ветра, например, сохраняется постоянство другой величины, а именно

$$\frac{v'}{\sin \alpha} + w = \text{const},$$

где  $w$  — скорость ветра. Повышение скорости ветра с высотой может вызвать возвращение луча на землю даже при пониженных скоростях звука. Однако слабость ветров и возможность их определения или аэрологически или путем приема звука в симметричных относительно места взрыва точках позволяют получить правильные сведения о скорости звука в стратосфере.

На табл. 1 в последнем ряду приведены величины скоростей ветра, при которых может произойти возвращение луча, если принять температуру в стратосфере равной  $-55^{\circ}\text{C}$ , а на поверхности земли  $0^{\circ}\text{C}$  для различных углов наклона приходящего луча к горизонту. Другие столбцы дают для тех же углов отношение скорости звука на вершине луча к скорости звука у поверхности земли, самую величину скорости звука и необходимой температуры в градусах Цельсия на вершине, при температуре в  $0^{\circ}\text{C}$  у поверхности земли.

Таблица 1

$90^{\circ} - \alpha^{\circ}$	$v_m : v_0$	$v_m$ (в м/сек.)	$T^{\circ}\text{C}$	$w$ (в м/сек.)
5	1.004	332	2.2	37
10	1.015	336	8.2	41
15	1.035	344	19	49
20	1.064	352	37	57
25	1.104	365	61	70
30	1.155	382	92	87
40	1.305	426	181	131

Как видно из табл. 1, превышение на 4—6% скорости звука в стратосфере достаточно для возвращения луча под углом  $15-20^{\circ}$ . Эти цифры

говорят за то, что измерение скоростей звука, а следовательно расстояний и времени, должно производиться с точностью до процента и даже десятых долей процента. Но эта незначительная разница скоростей звука требует весьма сильных ветров — больше 50 м/сек. или значительного повышения температуры — наверху должно быть на 20—40° С теплее, чем у поверхности земли.

3. Из рассмотренной теории можно сделать выводы о задачах экспериментального изучения стратосферы методом звуковых волн: 1) установление факта приема звука послужит для очертания внешней зоны слышимости, для определения ветра в стратосфере, для изучения роли аэрологических условий вблизи поверхности земли; 2) измерение времени пробега звуковых волн послужит для построения годографа и позволит вычислить высоту подъема луча; 3) определение угла возвращения луча на землю, 4) измерение скорости скольжения луча и 5) прием звука в большом количестве точек дадут величину скорости звука на вершине луча; 6) регистрация формы волны определит характер входящих звуковых волн, их дисперсию. Кроме того, опыты должны сопровождаться аэрологическими наблюдениями во всем районе опытов до возможно больших высот.

В центре района опытов обычно помещается штаб опытов и взрывная станция, а вокруг, на различных расстояниях, по возможности равномерно располагаются приемные пункты. В определенный, заранее обусловленный момент времени на взрывной станции производится взрыв. Употребляются бризантные, т. е. быстро взрывающиеся вещества, достаточно безопасные при транспортировке, например аммонал.

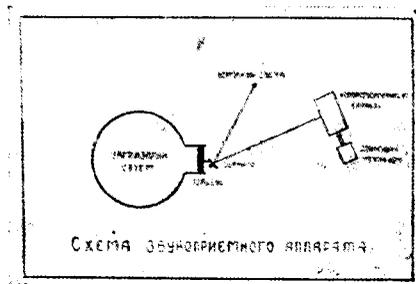
При взрывах в Ла Куртин уничтожались военные запасы, ставшие опасными из-за долгого хранения, поэтому эти взрывы были очень мощными, взрывали по 5—10 тонн. При немецких опытах работали со значительно меньшими зарядами, в 150—300 кг, и даже с зарядами в 50 кг. Взрывчатое вещество помещается или на поверхности земли или в неглубокой яме, иногда заряд покрывается тонким слоем земли. Взрыв производится при помощи электрических детонаторов, момент взрыва регистрируется.

Приемные станции могут быть разделены на 3 класса. На станциях третьего класса прием производится только на слух, и момент прихода определяется по часам или секундомерам. Эти станции могут установить факт приема, момент прихода определяется настолько неточно, что эти данные обычно не могут быть использованы для построения годографа. Надо сказать, что даже к сообщениям о слышимости взрывов приходится относиться с большой осторожностью. При немецких опытах наблюдались случаи, когда взрыв по техническим причинам отменялся, а наблюдатели сообщали о том, что взрыв слышали и указывали время, близкое к времени возможного прихода звука, если бы взрыв состоялся в условленное время. Чтобы избежать этих ошибок, при немецких опытах уста-

новился метод парных взрывов: при каждом опыте производились не один, а два взрыва через определенный промежуток времени в 5—10 минут, неизвестный для наблюдателей. Если наблюдатели сообщали о слышимости двух взрывов и указывали правильный интервал между ними, факт приема считался удостоверенным, при других сообщениях прием звука считался ненадежным.

Преимущества станций этого типа в дешевизне, отсутствии специальных приборов, поэтому число их может быть очень велико. Прием на слух играет особенно эффективную роль при мощных и случайных взрывах.

На станциях второго и первого класса, помимо приема на слух, осуществляется автоматическая запись приходящего звука специальными приборами; на станциях второго класса прием производится одним приемником, на станциях первого класса двумя или тремя приемниками, расположенными в различных точках по горизонтали и вертикали так, чтобы они позволили определить скорость скольжения или угол приходящего луча относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей. Энергия взрыва сосредоточена в области низкочастотных звуков; кроме того, эти звуки меньше



Фиг. 4. Схема звукоприемного аппарата.

поглощаются в атмосфере, поэтому приемники рассчитываются на прием инфразвуков. Схематическое устройство приемников приведено на фиг. 4. Каждый приемник состоит из некоторого замкнутого объема с отверстием, закрытым легко подвижным поршнем. При изменении давления в окружающем воздухе происходит сжатие или расширение воздуха внутри приемника, сопровождающееся перемещением поршня. Это движение поршня записывается на движущейся фотолене посредством поворачивающегося зеркальца.

Звуковое давление приходящих воздушных волн измеряется обычно барами (дина на  $1 \text{ см}^2$ ) или долями бар, что и определяет необходимую чувствительность приемника. Тот факт, что приходящие звуковые волны слышны человеческим ухом, указывает, что в звуке содержатся колебания с частотами выше 20—30.

Эти колебания имеют почти такую же величину звукового давления, как и неслышимые звуки, что следует из того, что порог чувствительности человеческого уха лежит при 30 герц около одного бара. Для правильной регистрации приходящих колебаний подвижная система приемника должна иметь достаточно высокий собственный период, чтобы записать особенности, свойственные этим слышимым звукам, и достаточное затухание.

Конструктивное оформление приемников может быть весьма простым. F. Ritter (7), например, установил поворачивающееся зеркальце на оконном стекле и таким путем, регистрируя движение этого стекла, он смог записать в Берлине взрыв, происшедший в Ла Куртин за 1162 км. В германских опытах получили наибольшее применение приемники: ундограф Кюля (фиг. 5) и мембранный приемник Вихерта.

Первый осуществлен в виде металлического ящика 1.2 м длиной, с одной стороны которого установлено фоторегистрирующее приспособление *K*, а с другой находится отверстие. В трубке натянута нить, на которой подвешены 2 легких слюдяных диска, один прикрывает отверстие, а другой служит для демпфирования. Ось вращения находится между дисками и несет на себе зеркальце, обращенное внутрь ящика. Внутренность ящика использована как затемненное пространство для оптической части прибора. Отверстие *M* с красным стеклом служит для визуального наблюдения. Прибор прост, легок, удобен для перевозки, но не обладает необходимыми колебательными свойствами подвижной системы и совершенно не защищен от ветра, так что работать этот приемник может только в помещении.

Приемник Вихерта имеет внутренний объем всего в 2 литра, отверстие закрыто легкой конической мембраной, прикрепленной по периферии при помощи тонкого кольца. С мембраной связано зеркальце, через отверстие *L* проходит падающий и отраженный световой луч. Рупор *T* служит для защиты от ветра. Этот прибор обладает лучшими колебательными свойствами, период мембраны около  $\frac{1}{40}$  сек., затухание можно изменять в широких пределах. Фоторегистрирующее устройство к нему должно присоединяться извне при соответствующем затемнении, что является недостатком прибора.

Очень мощные взрывы, например при извержении вулкана Кракатау, и падении тунгусского метеорита были зарегистрированы обычными барографами. Нередки случаи регистрации звуковых волн сейсмографами. Большое применение могут найти военные звукометрические станции, служащие для определения положения орудия по звуку, с электрическими звукоприемниками.

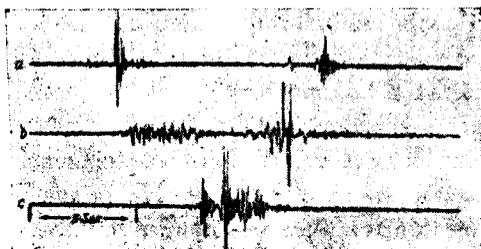
На фотоленте одновременно с записью волны необходимо записывать время. Для этого используется специальное реле, работающее от хронометра или от радиосигналов автоматических или от ключа радиста. Скорость ленты обычно около 1 см/сек., поэтому достаточны ежесекундные сигналы. На станциях первого класса скорость ленты и частота сигналов времени, разумеется, должна быть выше. При опытах необходима не абсолютная точность записи времени, а лишь отсутствие разницы на различных станциях. Поэтому предпочтительнее единая служба времени: центральный пункт посылает радиосигналы времени от своего хронометра, а остальные станции эти сигналы принимают и записывают.

Осуществляемая при этом радиосвязь может быть использована и для информации о взрывах во время опытов.

4. Прежде чем перейти к описанию результатов акустического зондирования, необходимо сказать несколько слов о масштабах опытов (18), проводимых в Германии.

Первый взрыв был произведен 3 мая 1923 г., и до марта 1929 г., т. е. за 6 лет, сделано 346 взрывов в 71 день. Опыты продолжались и в следующие годы, включая 1933 г. При опытах<sup>1</sup> было использовано до 29 приемников. Прием на слух производился по всей Германии, участвовало до 260 пунктов, обслуживаемых одновременно более чем 450 наблюдателями. В дни опытов производились многочисленные аэрологические наблюдения до высот 15—20 км, использовались змеи, привязные шары, шары-пилоты, шары-зонды.

Однако, несмотря на эти грандиозные масштабы, полного разъяснения причин образования аномальной зоны эти опыты еще не дали. В 1925—1926 гг. было напечатано большое число работ, обсуждавших результаты опытов, но существенного разрешения вопроса до сих пор нет. Опыты после 1926 г. почти не дискутировались в литературе, они послужили только для накопления фактов и приобретения опыта в технике и обработке результатов акустического зондирования.



Фиг. 6. Регистрация аномального звука для взрывов, произведенных через несколько часов друг за другом; *a* — первый взрыв, *b* — второй взрыв через 1 час, *c* — третий взрыв через 9 час.

отмечены два отдельных раската, пришедшие через 10—15 сек. Это обстоятельство указывает на наличие резко разделенных слоев с разными ветрами. Эти слои со временем претерпевают существенное изменение: два отдельных раската, имевшие место в 18 и 19 час. при взрыве, через 9 часов слились вместе.



Фиг. 5. Ундограф Кюля.

Приводим образец записи звука взрыва на разных расстояниях. Наблюдаемая здесь раскатитость звука, продолжающегося 10—12 сек., является характерным признаком звука взрыва. Эта раскатитость указывает на многочисленные отражения, претерпеваемые звуковой волной на ее пути. Иногда звук приходит не в виде одного сплошного раската, а нескольких, удаленных на десятки секунд и минуты; на фиг 6, *a* и *b*,

<sup>1</sup> Сообщаемые цифры относятся к опытам до 1929 г.

Непостоянство осциллограммы звуковой волны — малое при небольшом интервале между взрывами порядка 5—10 мин. и очень большое в тех случаях, когда интервал измеряется часами, днями, — затрудняет при малых амплитудах определение в записи звуковой волны. Метод парных взрывов и здесь оказывает большую пользу, позволяя отделить запись звука взрыва от записи посторонних шумов и записи ветра, почти всегда присутствующей на осциллограмме.

Регистрация взрывов, даже при этих небольших количествах взрывчатых веществ в 50—300 кг, производилась на расстояниях почти до 600 км, а уверенный прием на слух наблюдался на расстояниях больше 400 км. Регистрация более чувствительна, чем прием на слух, звук не слышен, но записывается. В то время как для приема на слух существует кольцевая зона молчания, „зона нерегистрируемости“, почти всегда отсутствует.

Улучшение аномальной слышимости летом на западе, а зимой на востоке наблюдается и для неслышимых инфразвуков. Вряд ли это можно объяснить повышением температуры у поверхности земли летом на восток, а зимой на запад, как это полагает Гутенберг (9), скорее надо искать причину в более высоких слоях атмосферы.

Главным результатом опытов является определение высоты отражающего слоя и его свойств. Ряд авторов производили построение звукового луча по данным опытов, и у всех получалось почти одно и то же. Результаты всех вычислений говорят за то, что на высотах 35—40 км скорость звука становится больше, чем у поверхности земли, вместо 300—340 м/сек. она равна 350 м/сек. и еще больше.

Из табл. 1 (стр. 131) видно, что скорость 350 м/сек. должна соответствовать приходу луча под углом около  $20^\circ$  при зимних опытах. По Р. Duckert'у (10), при германских опытах в большинстве случаев наблюдался угол прихода больше  $20^\circ$ , редко понижаясь до  $15^\circ$ .

Высота вершины между 35 и 40 км получается при самых различных предположениях об изменении скорости звука с высотой. На большие высоты луч не поднимается, иначе он должен был бы притти на землю позже, чем это наблюдается в действительности.

G. Angenheister (11) дает линейное убывание температуры в тропосфере, при котором скорость звука до 10 км падает на  $11\%$ . На больших высотах предполагается увеличение скорости звука, луч поднимается по дуге круга. По времени пробега для расстояния в 245 км получается вершина луча на высоте 37 км при скорости звука там 350 м/сек.

По подсчету E. Wiechert'a (12), наилучшее совпадение с результатами опытов получается при предположении резкого повышения скорости звука на высотах 30—38 км. Предположение отражения от слоя на высоте 50 км при прямолинейных, т. е. самых коротких путях, в стратосфере дает преувеличенное время пробега. Предположение более крутого

возрастания звука от начала стратосферы по закону  $v = v_0 \left(1 + \frac{h \text{ км}}{75}\right)$  дает преуменьшение время пробега.

Р. Duckert (10), используя до высот, меньших 20 км, значения скоростей звука, получающиеся по аэрологическим наблюдениям, получил высоты различных лучей, приходящих на расстояния 200—250 км в интервале 36—41 км.

Можно считать доказанным, что скорость звука на высотах, немного меньших 40 км, достигает значений 350 м/сек. Чем же можно объяснить такое возрастание?

Предположение легких газов, как это делали G. v. d. Borne и A. Wegener, требует чересчур больших количеств этих газов, что противоречит результатам других наблюдений.

Возвращение звуковых волн из-за ветра в стратосфере (предположения J. Kölzer'a, H. Morf'a, R. Emden'a) не может объяснить образование круговых аномальных зон слышимости.

Увеличение скорости звука вследствие перехода к волнам разрыва (гипотеза A. Wegener'a, R. Meyer'a) не согласуется с расчетом.

Единственной гипотезой, несправедливость которой еще не доказана, несмотря на ее неожиданность, это гипотеза высокой температуры (F. Whipple, E. Wiechert, участники германских опытов). Наличие на высотах 40—60 км слоя озона использовано для объяснения образования аномальной слышимости. Предполагается, что этот слой, благодаря сильному поглощению солнечных лучей, создает на высотах около 40 км необходимую тропическую температуру, на 20—40° С высшую, чем температура у поверхности земли.

Сравнение результатов дневных и ночных взрывов показывает, что заметного охлаждения отражающего слоя за ночь не приходится ожидать. За время полярной ночи, продолжающейся значительно дольше, можно было бы ожидать уже заметное понижение температуры. Опыты на Новой Земле, проведенные в зимовку 1932—1933 гг., должны были показать, существует ли такое охлаждение в действительности. Эти опыты установили наличие аномальной слышимости и во время полярной ночи, но полученных материалов еще недостаточно, чтобы с уверенностью отбросить возможность объяснения прихода аномального звука влиянием ветра в стратосфере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В и т к е в и ч, В. И. Звуковой луч как метод изучения атмосферы. Научные исследования атмосферы. 1925 г., стр. 14. Изд. Моск. Аэролог. обсерв.
2. W e g e n e r, A. Die äussere Hörbarkeitszone. Zs. f. Geophysik, 1, 297—314, 1925.
3. D ö r r, I. N. Über die Fernwirkung der Explosion auf dem Steinfeld bei Wiener Neustadt am 7 Juni 1912. Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien, October, 1913.

4. Quervain, A. de. Ein erster Fall diametraler Ausbildung der anormalen Schallzone. Jahresber. d. schweiz. Erdbebendienstes, 1918, 5, 11. — Mitteilungen über weitere Fälle von ungewöhnlicher Schallausbreitung bei Explosionen. Jahresber. d. schweiz. Erdbebendienstes. 1920, SS. 10, 16.
5. Schrödinger, E. Zur Akustik der Atmosphäre. Phys. Zs., 19, 445—453, 1917.
6. См. напр. Benndorf, H. Über die experimentelle Erforschbarkeit der höheren Schichten der Atmosphäre. Phys. Zs., 30, SS. 97—115. — O. Meisser. Luftseismik. Handb. d. Experimentalphysik, 25. Teil, III, Leipzig, 1930.
7. Ritter, F. Beitrag zur Beobachtung der durch die Sprengungen bei la Courtine im Mai 1924 erzeugten Schallwellen. Zs. f. techn. Phys., 17, SS. 152—154, 1926.
8. Hergesell, H. u. Duckert, P. Die Arbeiten der Preussischen Aeronautischen Observatorium bei Lindenberg. Bd. 16, H. B, 1926; H. D, 1929.
9. Gutenberg. Über die Ausbreitung der Schalls in der Atmosphäre. Naturwiss., 14, 338, 1926.
10. Duckert, P. Das Studium der Explosionwellenausbreitung als aerologisches Hilfsmittel zur Erforschung der höheren Atmosphärenschichten. Meteorol. ZS. 46, SS. 455—61, 1929.
11. Angenheister, G. Laufzeit des Schalles für grosse Entfernungen. Zs. f. Geophysik, 2, SS. 88—101, 1926.
12. Wichert, E. Die anormale Schallausbreitung als Mittel der Erforschung der Stratosphäre. Zs. f. Geophysik 2, SS. 92—101, 1926.

Во время печатания сборника вышли в свет несколько книг на русском языке, рассматривающих акустический метод зондирования стратосферы:

13. Дуккерт, П. Распространение волн взрывов в атмосфере. ГТТИ, 1934.
14. Бартельс, И. Физика высоких слоев атмосферы. ГТТИ, 1934, стр. 18.
15. Гамбурцев, Г. А., Дерюгин, Б. В., Мартин, Г., Мейсер, О. Прикладная геофизика. Вып. II, ОНТИ, ГТТИ, 1934, стр. 112—136, 206—228.

Л. С. ФРЕЙМАН

## ОПЫТЫ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ СТРАТОСФЕРЫ В АРКТИКЕ В ТЕЧЕНИЕ II МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА

### ВВЕДЕНИЕ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЛАНА

Международная комиссия по исследованию свободной атмосферы в лице председателя проф. Хергезелля обратилась в Главный Гидрометеорологический комитет СССР с предложением поставить работы по акустическому зондированию стратосферы. Независимо от этого, приглашенный Всесоюзным Арктическим институтом для гляциологических работ на Новой Земле геттингенский физик д-р К. Велькен предложил использовать его пребывание на Новой Земле для проведения звукометрических опытов, поскольку он участвовал в обширных работах подобного рода в Германии. ГГМК СССР постановил совместно с ВАИ эти работы поставить, пригласивши Акустический сектор Ленинградского Электрофизического института. Необходимо отметить, что существенное обеспечение успеха работ внесло германское общество „Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft“ предоставлением звукозаписывающих аппаратов.

### ЦЕЛЬ И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Выпуская вопросы, имеющие специально арктический интерес, укажем основные цели работы.

Известно, что в качестве одной из возможных причин повышенной температуры слоев 35—50 км выставляется непосредственное облучение этих слоев солнцем. Для установления правильности этой теории придется прибегать к проверке обратного заключения, т. е. к выяснению того, исчезает ли столь резкая инверсия при отсутствии облучения. Поставленные с этой целью ночные опыты в Центральной Европе не дали однозначных результатов, что было приписано кратковременности обычных ночей. Возникла мысль использовать высокие широты, где разница между световым режимом многомесячной ночи<sup>1</sup> и такого же дня должна быть

---

<sup>1</sup> Точнее говоря, многомесячной ночи в слоях, прилегающих к земле. На высоте 50 км для Новой Земли продолжительность полярной ночи можно оценить в 3—4 недели.

на много больше, чем в Европе. Задача докладываемой работы заключалась в производстве, главным образом, зимней и летней серий работ и небольшой весенней серии для того, чтобы иметь несколько точек, полученных в условиях, близких к европейским.

Работа имела следующий объем. Было произведено всего 28 взрывов с общим количеством взрывчатого в 6100 кг, из них 12 зимних (в середине полярной ночи), 4 весенних (в апреле), 11 летних (июнь—июль) и 1 осенний (октябрь). В работе было занято в плановом порядке 4 зимовочных станции, в неплановом — 1, специальное метеообслуживание вели береговые станции от о-ва Диксон до села Полярного близ Мурманска; специальное обслуживание радио и правительственным телеграфом простиралось по Ленинград включительно, научное сотрудничество (запись звука в обе стороны, оперативная связь) захватывало Новую Землю, Ленинград, Швецию, Германию и Голландию.

#### СТАНЦИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Работы в основном проводились на следующих пунктах:

- 1) О-в Гукера (архипелаг Франц-Иосифа).  
Координаты:  $\varphi = 80^{\circ}19'13''0$  N;  $\lambda = 52^{\circ}48'00''$  E  
Сотрудник — И. Шольц (Потсдам). Аппарат — ундограф системы проф. Кюля.
- 2) Мыс Желания (северо-восточная оконечность Новой Земли).  
Координаты:  $\varphi = 76^{\circ}55'59''$  N;  $\lambda = 68^{\circ}34'47''5$  E  
Сотрудник — Л. С. Фрейман (ЛЭФИ, Ленинград). Аппарат — ундограф системы проф. Кюля.
- 3) Русская Гавань.  
Координаты:  $\varphi = 76^{\circ}13'40''3$  N;  $\lambda = 62^{\circ}39'00''6$  E  
Сотрудник — К. Велькен (Гёттинген). Аппараты — а) ундограф сист. проф. Кюля, б) мембранаппарат системы проф. Вихерта.
- 4) Маточкин Шар.  
Координаты:  $\varphi = 73^{\circ}15'47''9$  N;  $\lambda = 56^{\circ}23'44''5$  E  
Сотрудник — С. И. Исаев (ГГМК, Ленинград). Аппарат — ундограф сист. проф. Кюля.

Распределение функций между станциями было следующее:

Главное научное руководство принадлежало Русской Гавани (К. Велькен). Там же находился и М. М. Ермолаев, уполномоченный ВАИ по орг-вопросам работы.

Мыс Желания был центром радиосвязи. Докладчик являлся заместителем К. Велькена по научной части и ответственным за работу связи, играющей в опытах этого рода решающую роль. Все решения научного характера принимались указанными тремя лицами.

Маточкин Шар, как и предыдущие станции, был пунктом производства и записи взрывов.

Остров Гукера производил только запись.

Расстояния между станциями:<sup>1</sup>

	км		км
О-в Гукера — Мыс Желания . . . . .	508	Мыс Желания — Русская Гавань . . .	174
„ „ — Русская Гавань . . . . .	505	„ — Маточкин Шар . . . . .	534
„ „ — Маточкин Шар . . . . .	790	Русская Гавань — Маточкин Шар . . .	377

### ГЛАВНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2. Взрыв в Русской Гавани 16 декабря 1932 150 кг  
 произведен в  $23^{\text{h}}00^{\text{m}}13^{\text{s}}7 \pm 2^{\text{s}}$

Мыс Желания зарегистрировал два прихода:

	время пробега сек.
1) $23^{\text{h}}11^{\text{m}}14^{\text{s}}2 \pm 0.5^{\text{s}}$ . . . . .	660.5
2) $23^{\text{h}}11^{\text{m}}23^{\text{s}}5 \pm 0.5^{\text{s}}$ . . . . .	669.8

Расстояние 174 км

10. Взрыв в Русской Гавани 6 января 1932 300 кг  
 произведен в  $22^{\text{h}}45^{\text{m}}01^{\text{s}}5 \pm 0^{\text{s}}5$

Мыс Желания зарегистрировал четыре прихода

	время пробега сек.
1) $22^{\text{h}}54^{\text{m}}55^{\text{s}}$ . . . . .	593
2) $22^{\text{h}}55^{\text{m}}18^{\text{s}}$ . . . . .	616
3) $22^{\text{h}}55^{\text{m}}38^{\text{s}}$ . . . . .	636
4) $22^{\text{h}}55^{\text{m}}48^{\text{s}}$ . . . . .	647

Расстояние 174 км.

13 и 14. Взрывы на Мысе Желания 14 апреля 1933

произведены в 1)  $20^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}} \pm 1^{\text{s}}$  . . . . . 150 кг  
 2)  $20^{\text{h}}12^{\text{m}}00^{\text{s}} \pm 1^{\text{s}}$  . . . . . 150 „

Русская Гавань зарегистрировала:

	время пробега сек.
1) $20^{\text{h}}11^{\text{m}}20^{\text{s}}$ . . . . .	680
2) $20^{\text{h}}23^{\text{m}}18^{\text{s}}$ . . . . .	678

Расстояние 174 км.

17 и 18. Взрывы на Мысе Желания 21 июня 1933

произведены в 1)  $20^{\text{h}}00^{\text{m}}02^{\text{s}} \pm 1^{\text{s}}$  . . . . . 150 кг.  
 2)  $20^{\text{h}}12^{\text{m}}01^{\text{s}} \pm 1^{\text{s}}$  . . . . . 150 „

<sup>1</sup> По геодезической линии, считая землю сферой. Поправка на геоид не выходит за погрешности наших измерений.

## Русская Гавань зарегистрировала:

	время пробега сек.
1) $20^h10^m29^s$ . . . . .	626
2) $20^h22^m08^s$ . . . . .	607

Расстояние 174 км

## О-в Гукера зарегистрировал

	время пробега сек.
1) $20^h28^m29^s \pm 1^s$ . . . . .	$1707 \pm 2$
2) $20^h40^m29^s \pm 1^s$ . . . . .	$1708 \pm 2$

Расстояние 508 км

19 и 20. Взрывы в Русской Гавани 21 июня 1933

произведены из 1) $21^h00^m04^s \pm 1^s$ . . . . .	150 кг
2) $21^h10^m05^s \pm 1^s$ . . . . .	150 „

## О-в Гукера зарегистрировал

	время пробега сек.
1) $21^h28^m59^s \pm 1^s$ . . . . .	$1735 \pm 2$
2) $21^h38^m57^s \pm 0^s5^s$ . . . . .	$1732 \pm 2$

Расстояние 505 км

26 и 27. Взрывы на Мысе Желания 26 июля 1933

произведены в 1) $23^h00^m04^s \pm 2^s$ . . . . .	150 кг
2) $23^h12^m04^s \pm 2^s$ . . . . .	150 „

## Русская Гавань зарегистрировала

	время пробега сек.
1) $23^h10^m25^s1^s$ . . . . .	621
2) $23^h22^m32^s$ . . . . .	628

Расстояние 174 км

Примечание. В докладе приведены только главные результаты. Полное перечисление результатов с подробным обсуждением каждого из них помещено в статье К. Велькена в сборнике *Arctica* № 2, 1934 г. В приведенной сводке числа округлены.

Для суждения о том, определяются ли зарегистрированные нами звуки ходом звукового луча по поверхности земли (нормальным) или же его ходом через стратосферу (аномальным), проведем следующее рассуждение.

Предположим, что звук имеет нормальный характер, т. е. распространялся вдоль земной поверхности, не поднимаясь в стратосферу. Среднюю скорость его можно вычислить, разделив расстояние между пунктами взрыва и приема (стр. 141) на время пробега звука. Эта скорость

называется кажущейся скоростью звука. Если кажущаяся скорость отличается от той, которая соответствует замеренным во время опыта температуре и ветру, то необходимо заключить, что на пути звука имели место ветры, средняя проекция которых на направление пути обусловила наблюдаемое отклонение кажущейся скорости от нормальной. Наоборот, если принять, что на всем пути ветер не очень сильно отличается от замеренного на станциях, то приходится признать, что отклонение скорости объясняется температурой. Эти температуры и ветер названы в помещаемой ниже таблице „эквивалентными“. Сопоставление эквивалентной температуры (и ветров соответственно) с истинной позволяет судить, в какой мере обосновано отнесение звука данной записи к разряду нормального или аномального. Ниже помещена таблица, в которой даны эквивалентные и действительные величины.

Таблица главных результатов

№ взрыва	Дата	Расстояние км	Время пробега сек.	Кажущаяся скорость м/сек.	Температура в °С		Ветер в м/сек.		
					Эквивалентная	Действительная	Эквивалентный	Действительный	
2	16 XII 1932	174	670	260	-104	-25.3	-55	+3	Знак + показывает, что проекция ветра попутная, знак —, что проекция обратная
10	6 I 1933	174	647	269	-92	-25.5	-46	0	
13	14 IV	174	680	256	-109	-9	-69	0	
14		174	679	256.1	-109	-9	-79	0	
17		174	626	278	-80	-2.9	-50	-3	
18		179	607	287	-67	-2.9	-41	-3	
17	21 VI	508	1707	298	-51	-2.9	-30	-3	
18		508	1708	298	-51	-2.9	-30	-3	
19		505	1735	291	-61	-2.9	-37	-3	
20		505	1732	292	-60	-2.9	-36	-3	
26	26 VII	174	621	280	-77	~ 0.0	-50	-6	
27		174	628	277	-81	~ 0.0	-53	-6	

Из этой таблицы видно, что во всех случаях удачной регистрации звук имеет кажущуюся скорость распространения, заметно меньшую скорости звука; числа для эквивалентного ветра и температуры, будучи сравнены с действительными, показывают невозможность объяснения малых значений скорости ни ветром, ни температурой, ни даже их совместным действием. Это делает вероятным заключение, что звук шел через стратосферу, т. е. является звуком аномальным.

Строгость этого заключения увеличивается тем обстоятельством, что хотя на высоте 50 км полярная ночь начинается севернее, чем на

уровне земли, а именно с  $73^\circ$ , все записи получены севернее  $76^\circ$ , т. е. там, где вся исследуемая толща атмосферы лишена освещения в течение нескольких недель. Тем не менее аномальный звук наблюдается.

Этот вывод и является основным результатом работы. Приходится признать, что звуковой луч, поднимаясь в стратосферу, отражается, следовательно существует и отражающий слой.

Теория, основывающая действие отражающего слоя на непосредственном солнечном облучении, оказывается в противоречии с наблюдаемыми фактами и нуждается, повидимому, в пересмотре.

Здесь невозможно останавливаться на других сторонах вопроса, в частности на вопросе о частоте приходящего звука и связанных с этим очень интересных физических задачах, на вопросе об изучении местных и динамических инверсий акустическим способом и, наконец, на специальных задачах этого способа в Арктике.

Но даже оставаясь в рамках главной темы доклада, необходимо признать, что

1) проведенная работа является первым опытом подобного рода в СССР, а в столь высоких широтах — и в мире; 2) работа имеет пробелы как в отношении количества накопленного материала, так и в отношении его комплектности (в частности недостаточно метеоданных); 3) даже имеющийся скудный материал показывает, насколько интересные результаты в изучении атмосферы могут быть получены акустическим способом; 4) поэтому необходимо организовать объединенную, планомерную работу соответствующих институтов по обхвату стратосферы над всем Союзом; 5) нужно пользоваться каждым случаем, каждой возможностью для продолжения работы в Арктике.

Ленинградский Электрофизический  
институт.

Н. Н. АНДРЕЕВ

## О ПРОГРАММЕ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ СТРАТОСФЕРЫ И ИЗУЧЕНИЮ АКУСТИКИ СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЫ

Несмотря на то обстоятельство, что интерес к вопросам атмосферной акустики существует весьма давно, она, как самостоятельная область акустики, не оформилась до сих пор. Особенно ярким признаком этого является отсутствие книг, специально посвященных атмосферной акустике; самое большее, что мы встречаем в литературе, — это обзоры или отдельные главы по атмосферной акустике в книгах по геофизике, акустике, метеорологии.

Причину этого нелегко установить. Скорее приходится удивляться, что область, в которой заинтересованы и аэрология и военно-морское дело, отчасти и другие области техники, никем еще до сих пор не подвергнута объединяющей обработке.

По этой причине — отсутствию сводного труда по атмосферной акустике — нелегко формулировать и ее проблематику, нелегко определить, в каком направлении надо вести дальнейшую работу по атмосферной акустике; а без разумного планирования вряд ли можно ждать и быстрого развития этой важной отрасли геофизики.

Поэтому на нижеследующую попытку формулировать основные и, главным образом, ближайшие задачи атмосферной акустики следует смотреть как на первый шаг в планировании работы. Весьма вероятно, что дальнейшее обсуждение этого вопроса внесет не только уточнения и дополнения в предлагаемую мною проблематику, но может быть и существенные изменения.

Если я говорю об атмосферной акустике, а не специально акустике интересующей нас в настоящий момент стратосферы, то это не случайно. Задачи стратосферной акустики настолько тесно связаны с задачами общей атмосферной акустики, что разделить их нет никакой возможности; и эта связь имеет ряд причин. Первая и главнейшая из них — геометрическая, если можно так выразиться; ведь звуковой луч, которым мы хотим воспользоваться для того, чтобы он, будучи послан нами в стратосферу, вернулся обратно с вестями о ней, — этот луч на своем пути дважды про-

ходит через тропосферу, более плотную, а потому и более влияющую на его ход средю, чем стратосфера.

Во-вторых, теоретические задачи о прохождении звука через стратосферу почти ничем, кроме численных коэффициентов, входящих в исследуемые уравнения, не отличаются от соответственных задач общей атмосферной акустики.

И, наконец, наблюдательная и измерительная методика одинаковы и для стратосферы и для тропосферы, отличаясь разве только деталями.

1. Прежде всего следовало бы остановиться на состоянии теории распространения звука в атмосфере. Обычно уравнения распространения звуковых волн пишутся для невесомой, однородной по плотности, составу и температуре среды. В акустике атмосферы мы встречаемся, однако, с рядом дополнительных факторов. Во-первых, распространение звука происходит в поле силы тяжести; этот фактор подвергался рассмотрению еще у Пуассона, Релея и Лэмба; новейшая работа Шредингера (1), произведенная им без знания работ вышеупомянутых авторов, довольно полно освещает этот вопрос, — за исключением, может быть, того обстоятельства, что при весьма низких частотах фазовая скорость распространения звука равна бесконечности. Самым характерным результатом исследования Шредингера является наличие дисперсии в низких частотах. Впрочем, вообще влияние силы тяжести ничтожно, и пока нет основания принимать его в расчет.

Во-вторых, возникает вопрос о влиянии вращения земли на распространение звука. Не представляет большого труда получить уравнения распространения звука с учетом этого влияния; но вопрос этот до сих пор никем еще не исследовался: впрочем, мало оснований ожидать, что эффект этот будет значителен.

В третьих, имеется значительное влияние ветра. Этому вопросу посвящено немало работ (2), но все они подходят к нему с точки зрения элементарного принципа Гюйгенса, вследствие чего получаемые результаты пригодны только для звуков, длины волн которых малы в сравнении с размерами неоднородностей среды (3); кроме того, имеются прекрасные исследования о распространении фронта волны (4). В этой области следует, однако, сделать еще многое. Надо исследовать распространение синусоидальных волн, сравнимых по длине с неоднородностями, образованными ветром; наиболее удобным представляется мне исходить из тех уравнений акустики движущейся среды, которые были получены мною и применены И. Г. Русаковым к решению вопроса об отражении звука от слоя ветра (5). Далее, весьма желательным представляется вообще нахождение ряда строгих решений уравнений распространения, например при наличии постоянного градиента ветра — обыкновенный случай распространения, до сих пор не подвергшийся строгой обработке. Наконец, переход от строгих уравнений к уравнениям приближенным, обычно употребляемым

при расчетах, следовало бы осветить с точки зрения получаемых при этом ошибок.

В четвертых, имеется влияние пыли на распространение звука. Вопрос этот разбирался Сьюэллом (6); влияние это незначительно.

В пятых, имеется — и наиболее важное по сравнению со всеми вышеперечисленными — влияние температуры. Оно учитывается также только с точки зрения изменения величины скорости при постулировании больших размеров неоднородностей температурного характера по сравнению с длинами волн. И здесь мне представляется весьма желательным дать строгие решения важнейших случаев.

В шестых, можно ожидать влияния состава атмосферы: влажности, диссоциации, ионизации и т. д. Влияние влажности учитывалось весьма давно, но на влияние ионизации и диссоциации внимание обращено сравнительно недавно Эйнштейном (7); а по вопросам поглощения звука, в связи с составом газа, за последнее время имеется ряд интересных работ, среди которых особенно следует отметить работы Кнезера (8). Вообще эти влияния в практически интересных случаях невелики; главным образом здесь идет речь об увеличенном поглощении звука, и то только для высоких частот.

Наконец, следует обратить внимание на поглощение звука в высших слоях атмосферы, которое начинает сказываться, когда средние длины путей свободного пробега молекул становятся значительными и теория потерь на внутреннее трение, данная Стоксом, перестает быть применимой. На это обратил внимание Шредингер (1); но вопрос еще не исследован с достаточной полнотой и требует дальнейшей теоретической работы.

В особенности мало знакомы мы с влиянием на распространение звука неоднородностей атмосферы, по размерам сравнимых с длиной волны. Такими неоднородностями наша атмосфера переполнена, и они должны оказывать влияние много большее, чем все вышеперечисленные причины, за исключением ветра и температуры. Влияние это, во-первых, должно вызывать явления дифракции, а вследствие них — как в оптике — поглощение и дисперсию. Вопрос этот, который я считал бы важным и интересным и с теоретической стороны и с точки зрения практических применений в звуковой сигнализации, военном деле и т. п., до сих пор серьезному исследованию не подвергался; в диссертации Н. Кастерина (9) имеется некоторый материал по этому поводу, из которого следовало бы исходить для дальнейшего исследования этого вопроса. Здесь надо желать создания теории распространения звука в неоднородной атмосфере такого же статистического характера, как теории цвета неба в оптике. Но еще более необходимы хорошо обставленные экспериментальные исследования для разных длин волн с сопоставлением результатов с аэрологическими данными.

2. Обратимся теперь к проблеме исследования отражающего звук слоя стратосферы. Современное состояние этого вопроса достаточно

установлено в предыдущих статьях А. И. Белова и Л. С. Фреймана. Кардинальнейшим тут является вопрос о происхождении звукоотражающего слоя, так как вследствие обнаружения наличия отражения во время полярной ночи отпадает или становится по крайней мере мало вероятной гипотеза о происхождении высокой температуры этого слоя от нагревания солнцем. Очевидно, необходимо вести исследование звукоотражающего слоя более систематично, чем это делалось до сих пор, и более полно.

В отношении систематичности немецкие опыты (10) весьма удовлетворительны: наблюдения велись иногда с часовыми промежутками; однако над территорией СССР опыты подобного рода не производились вовсе; в конце 1932 г. я вел переговоры с Гидрометкомитетом об отпуске средств на это, но они в конце концов отпущены не были. Таким образом, мы не знаем ничего о поведении звукоотражающего слоя у нас, а разнообразие наших климатических условий позволило бы изучить это поведение весьма всесторонне. Получится ли притом материал, пригодный для решения кардинального вопроса о происхождении звукоотражающего слоя — сказать трудно; но что вообще подобный материал имеет громадную ценность для решения ряда аэрологических вопросов, а, может быть, и для предсказаний погоды, — это вряд ли вызывает сомнение. Конечно, самый план подобных опытов должен быть тщательно продуман, и опыты должны вестись при одновременном аэрологическом исследовании возможно более высоких слоев атмосферы. Далее следует пожелать, чтобы и в саму методику опытов были внесены усовершенствования; прежде всего весьма желательно наблюдать наклон фронта звуковой волны в месте приема, так как это дает возможность непосредственного определения скорости звука в вершине звукового луча.

3. При этом возникает большой и немаловажный вопрос об аппаратуре для измерений. Следует отметить такие основные черты употребляющейся в Германии аппаратуры (английская нам неизвестна): чувствительность ее достаточна, хотя, может быть, и было бы желательно несколько увеличить ее; неискаженность записи недостаточна, — по крайней мере в наиболее употребительном типе, ундографе Кюля; конструкция, в общем удовлетворительная, требует, однако, дальнейшего улучшения с точек зрения портативности, прочности, а иногда (прибор Вихерта) и по существу конструкции. О последнем можно сказать, что с принципиальной точки зрения аппарат этот весьма интересен, но конструктивные дефекты его значительны.

Наконец, аппараты эти не приспособлены для одновременной записи нескольких приемников на одной ленте, а потому почти непригодны для определения наклона фронта проходящей волны.

Все это, а также полное отсутствие у нас в СССР аппаратуры этого типа (наши арктические опыты были произведены с аппаратами, присланными из Германии) приводит к выводу, что нам чрезвычайно важно сконструировать и построить в достаточном числе собственные аппараты; при

этом безусловно недопустимо простое копирование заграничных: мы должны и можем сделать дальнейший шаг в этом отношении, так как в наших лабораториях — в особенности, пожалуй, в Акустическом секторе ЛЭФИ — опыт имеется достаточный. При этом почти наверное придется перейти от механических способов увеличения к электро-акустическим: приемником должен являться микрофон, запись должна вестись на центральном посту с несколькими осциллографами на одной ленте; это позволит с достаточной точностью записывать наклон фронта волны. Следует заметить, что при электро-акустической записи возможность усиления практически неограничена, и далее, что получить неискаженную запись нетрудно,

Наконец, недостаточно одного типа приемных станций: мне кажется, что кроме совершенной во всех отношениях акустической станции первого класса должно еще иметь в большем числе, но более простые станции второго класса с дешевыми аппаратами механического типа.

Вопрос о самом порядке производства наблюдений довольно сложен; по справедливому мнению А. И. Белова, рассматривавшего этот вопрос еще год тому назад, необходимо предусмотреть наблюдения и объективные и субъективные, с широким привлечением активной в этом отношении части населения: радиолюбители, воинские части и т. п. Но детальное обсуждение этого вопроса вряд ли рационально развивать в этом докладе.

4. Как мы сказали выше, одним изучением звукоотражающего слоя нельзя ограничиваться, если мы хотим обратить атмосферную акустику в науку, способную в достаточно удовлетворительной мере помогать аэрологии и предсказаниям погоды, тропосферному и стратосферному воздухоплаванию, а также военному делу. Попробуем теперь наметить, какими же проблемами атмосферной акустики следовало бы заняться в настоящее время, кроме важного и своевременного широкого изучения звукоотражающего слоя.

В первую очередь, как стоящие в связи со звукоотражающим слоем, здесь следует подвергнуть достаточно широкому изучению два явления: звуки, создаваемые болидами и метеорами, и гром.

По первому вопросу нам известна одна небезынтересная работа Уиппла (11), в которой указано на ту же аномальную слышимость, какую мы наблюдаем и при взрывах. Относительно сколько-нибудь серьезных с точки зрения атмосферной акустики работ о звуках болидов мне ничего в литературе найти не удалось. Конечно, в виду случайности и редкости подобного рода явления, наблюдения здесь весьма затруднены, — однако не невозможны. Необходимо только хорошо обдумать аппаратуру для таких наблюдений, чтобы сделать их достаточно дешевыми. Землетрясения — также явления случайные; однако сейсмические станции отлично и без больших затрат справляются с делом их регистрации. Нечто подобное возможно, — мне кажется, и весьма желательно — и по отношению к аэросейсмике. Летящий через нашу атмосферу болид сопровождается

мощной звуковой волной, не отличающейся по существу от тех, которые хорошо знакомы нам по фотографиям летящих пуль и снарядов. Записать подобную волну, при современных средствах акустики, вполне легко от снаряда и, вероятно, осуществимо и от болида. А ведь этим способом, во-первых, мы могли бы, например, вести счет болидов; и по форме записи, весьма возможно, получили бы заключение и об особенностях распространения звука в высоких слоях атмосферы.

Мне кажется, этот вопрос аэросейсмики следовало бы подвергнуть детальному обсуждению.

5. Следующим весьма заслуживающим внимания вопросом является вопрос о громе. Явление это, несмотря на всю его выразительность, изучено весьма недостаточно (12); есть, правда, попытки осциллографирования грома, однако несовершенные, объяснение же раскатов его отсутствует. Особенно характерно то обстоятельство, что в последнее время не встречается работ на эту тему.

В совершенно аналогичном положении находится вопрос о звуках извержений.

Изучение этой группы явлений мне представляется весьма желательным, и при этом такое изучение должно повести достаточно совершенными методами. Выбор методики, конечно, требует всестороннего и тщательного обсуждения на основании всех имеющихся в литературе материалов; но уже сейчас, мне кажется, можно было бы высказать некоторые пожелания. Необходимо, во-первых, накопить осциллограммы грома и извержений и обработать их в связи с аэрологическими данными. Во-вторых, нельзя ограничиться записями явления с одного места наблюдения, но по крайней мере с двух или трех, чтобы явилась возможность определять ту точку атмосферы, из которой звук исходит; это дало бы возможность определять отражающие звук слои, и, во всяком случае, представило бы материал для обсуждения вопроса о происхождении раскатов. Наконец, хотя это и может оказаться трудным, стоило бы попытаться организовать фотограмметрическую съемку молний при одновременном осциллографировании грома; такая полная картина явления несомненно дала бы богатый материал для размышлений.

6. Закончим краткими указаниями на задачи акустики нижних слоев атмосферы, исследование которых, по нашему мнению, желательно и в целях технических и как материал, необходимый при изучении акустики высоких слоев.

В первую очередь здесь следует указать на изучение ветра. Микроструктура последнего такова, что наши приемники звука получают от ветра импульсы, средняя частота которых составляет несколько колебаний в секунду. Но детально явление не изучено, а это мешает нам выделять влияние ветра на осциллограммы интересующих нас инфра-звуков, а кроме того лишает нас ряда данных, необходимых для конструирования приемников звука избирательного типа, нередко весьма желательных.

Далее, не имеется числовых и хорошо обработанных, в связи с аэрологическими условиями, данных о поглощении звука в разных условиях погоды, при разном покрове и разном рельефе местности. В частности, альпинисты указывают, что в горах приходится наблюдать весьма своеобразные звуковые явления. Изучение этих явлений, конечно, весьма желательно.

На этом мы и закончим наш краткий и несомненно неполный и несовершенный обзор проблем атмосферной акустики; при этом выразим пожелание, чтобы тот интерес, который возник к ней в связи с Конференцией по стратосфере и нашими арктическими опытами, не заглох, но привел к оживлению работы в этом направлении в Союзе. Следует указать еще на одну меру, необходимую для оживления этого интереса: издание оригинальных и переводных книг и брошюр по атмосферной акустике.

#### ЛИТЕРАТУРА<sup>1</sup>

1. Schrödinger, E. Zur Akustik der Atmosphäre. Phys. Z. Есть еще работа G. Braccato на тему о влиянии силы тяжести на распространение звука (Nuovo Cimento, X, p. 196, 1933), но она неверна.
2. Milne. Phil. Mag., 42, p. 96, 1921; H. Bateman. Sound rays as extremals. Journ. of the Acoustic Soc. of America, II, p. 468, 1931. Отличный обзор см. R. Emden, Met. Z., 35 (1918).
3. Андреев, Н. Н. Аналогия между механикой и оптикой. Основания новой квантовой механики. Ленинград, стр. 43.
4. Hadamard, J. Leçons sur la propagation des ondes et les équations de l'hydrodynamique. Paris, 1903; I. Hadamard. Le problème de Cauchy et les équations aux dérivées partielles lineaires hyperboliques. Paris, 1932; H. Galbrun. Propagation d'une onde sonore dans l'atmosphère et la théorie des zones de silence. Paris, 1931; T. Lévi Civita. Caratteristiche dei sistemi differenziali e propagazione ondosa. Bologna, 1931.
5. Андреев, Н. Н. и Русаков, И. Г. Акустика движущихся сред. ГТТИ, 1934.
6. Sewell, C. J. T. The extinction of sound in a viscous atmosphere by small obstacles. Trans. Roy. Soc. London (A), 210, p. 239, 1911.
7. Einstein, A. Schallausbreitung in teilweisedissoziierten Gasen. Berichte d. Berl. Akad., 380, 1926.
8. Kneser, H. O. The Interpretation of the anomalous sound-absorption in Air. Journ. Ac. Soc. America, V, p. 122, 1933.
9. Кастерин, Н. Диссертация на степень магистра физики. Москва (1910 ?).
10. Die Arbeiten des Preussischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg. Bd. XVI, H. B (1927) und D (1929).
11. Whipple, F. I. W. The detonating meteor of 1926, Sept. 6, Monthly Notices, Roy. Astr. Soc. London. Geophys. Suppl., 2, p. 89, 1928.
12. Schmidt, W. Über das Wesen des Donners. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad., p. 123, 1914; Über den Donner. Met. Z., 31, p. 487, 1914; Über die Analyse des Donners. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad., II a, 121, p. 2045, 1912.

<sup>1</sup> В приведенном списке литературы указаны только те статьи, которые стоят в непосредственной связи с темой доклада. Обширная библиография до 1912 г. имеется в статьях Дуккерта и Хергезелля (10). Некоторые сведения о литературе после 1929 г. см. в статье Баргельса „Успехи физических наук“, XIII, p. 748, 1933.



## **ПРОБЛЕМЫ ОПТИКИ И АКТИНОМЕТРИИ**



Н. Н. КАЛИТИН

## СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ

Энергия солнечного луча, проходящего через земную атмосферу, меняется и количественно и качественно; таким образом, солнечный луч можно уподобить зонду, который, проникая в массу земной атмосферы, позволяет нам изучать как состояние атмосферы на разных высотах, так иногда и процессы, происходящие на тех или других высотах.

К настоящему времени, благодаря ряду блестящих исследований, главным образом, S. Langley,<sup>1</sup> C. Abbot,<sup>1</sup> F. Fowle,<sup>2</sup> нам достаточно точно известно распределение энергии в солнечном спектре на границе атмосферы. Измеряя распределение энергии в солнечном спектре на различных высотах над земной поверхностью, мы получаем в свои руки метод для изучения рассеивания и поглощения солнечной лучистой энергии, как атмосферой в целом, так и отдельными ее составляющими, а это в свою очередь дает в руки способ радиационным методом исследовать как тропосферу, так и стратосферу. При современном состоянии геофизики радиационный метод иногда является единственным методом, позволяющим нам проникать в самые высокие слои атмосферы и изучать явления там происходящие.

Основной предпосылкой для применения радиационного метода к исследованию атмосферы должна быть уверенность в постоянстве излучательной способности солнца, т. е. в неизменности величины „солнечной постоянной“. По этому вопросу за последнее время был опубликован ряд исследований, произведенных, главным образом, в Америке в Смитсоновском институте С. Abbot'ом и его учениками. Эти исследования показывают, что если колебания величины „солнечной постоянной“ и существуют, то они порядка 0.5%, т. е. лежат ниже предела точности обыкновенных актинометрических измерений (1%). Таким образом, для всех почти актинометрических наблюдений мы можем считать, что величина „солнечной постоянной“ действительно постоянна, а благодаря этому значительно облегчается работа. Еще несколько лет тому назад считалось, что величина солнечной постоянной в американ-

<sup>1</sup> Ann. Astrophys. Observat. Smithson. Inst., vol. I—IV.

<sup>2</sup> F. E. Fowle. The spectroscopic determination of aqueous vapor. Astrophys. Journ. vol. XXXV, № 3, 1912.

ской шкале равняется 1.94 кал., но недавно А. Ångström,<sup>1</sup> исходя из изучения поглощения ультрафиолетовой радиации солнца озоном, находящимся в верхних слоях атмосферы, дал величине солнечной постоянной значение 2.00 кал.

Так как американская актинометрическая шкала больше европейской (Ångström'a) на 3.5%, то солнечная постоянная, переведенная в европейскую шкалу, будет 1.93 кал.

Правда, на последнем заседании Международной комиссии по солнечной радиации<sup>2</sup> было доложено, что по последним сравнениям американская шкала больше европейской на 4 $\frac{1}{2}$ %, но этот вопрос подлежит еще дальнейшему исследованию, и более осторожно будет пока считать, что разница шкал 3.5% и, следовательно, величина солнечной постоянной в европейской шкале равняется 1.93 кал. Солнечная лучистая энергия, проходя через земную атмосферу, отчасти поглощается, отчасти рассеивается; так как и то и другое явление вызваны состоянием атмосферы как мутной среды и радиационными особенностями газов, составляющих атмосферу, то, следовательно, мы и получаем удобный и надежный метод изучения атмосферы.

Работы последнего десятилетия, начиная с классической работы Ch. Fabry и H. Buisson,<sup>3</sup> показали, что ультрафиолетовая радиация солнца короче 0.291  $\mu$  до земной поверхности не доходит, так как целиком поглощается озоном, радиационный центр тяжести которого лежит на высоте около 40 км над земной поверхностью. Так как в области ультрафиолетовой радиации солнца лежит биологически активная ее часть, то, следовательно, проблема озона в атмосфере представляет проблему исключительной важности. К настоящему времени мы имеем только единственный метод изучать озон в верхних слоях атмосферы, это — радиационный метод; он позволяет нам как измерять количество озона, так и следить за изменением этого количества, как во времени, так и по широте.

Но наземные методы измерения содержания озона в верхних слоях атмосферы не всегда дают надежные результаты, поэтому особенно ценным является возможность фотографирования ультрафиолетовой части солнечного спектра кварцевыми спектрографами, особенно при полетах в стратосферу выше 20 км; такое фотографирование можно производить не только со стратостата, но возможно сконструировать кварцевый спектрограф, который, будучи поднят на шарах-зондах, даст нужный наблюдательный материал. Измерение содержания водяных паров в атмосфере — вопрос очень сложный и для нижних ее слоев; применение же

<sup>1</sup> A. Ångström. La quantité d'ozone dans l'atmosphère et sa relation avec les problèmes climatologiques. Gerlands Beiträge zur Geophysik, T. 24, 1929.

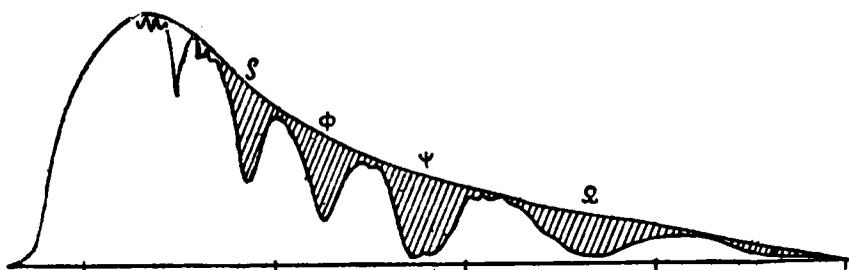
<sup>2</sup> Internationale Strahlungskommission. Protokolle der Sitzungen in Frankfurt a/M. 15—17 September 1932.

<sup>3</sup> Ch. Fabry et H. Buisson. L'absorption de l'ultraviolet par l'ozone et l'extrémité du spectre solaire. Journ. Phys., 5-ème sér., т. 2, Paris, 1913.

тех методов, которые употребляются для измерения влажности в нижних слоях атмосферы, — для высших слоев, особенно для стратосферы, дает совершенно неудовлетворительный результат.

Повидимому, единственный метод, который позволит измерять содержание водяных паров в стратосфере, это — радиационный метод. В инфракрасной части солнечного спектра находится ряд широких полос поглощения водяными парами. Работа F. Fowle<sup>1</sup> показывает, что между содержанием водяных паров в атмосфере и интенсивностью полос поглощения находится самая тесная связь.

В некоторых участках спектра поглощение водяными парами происходит так интенсивно, что при нормальном содержании водяных паров в атмосфере эти полосы являются даже непригодными для изучения



Фиг. 1. Распределение энергии в солнечном спектре.

вариаций содержания водяных паров, как, например полоса  $\psi$  ( $1.470 \mu$ ), зато с большим успехом эта полоса может служить для изучения содержания водяных паров в стратосфере, где водяных паров мало и где свойство „большой чувствительности“ полосы  $\psi$  является особенно ценным.

Здесь могут быть применены два метода. Возможно построить такой фильтр, который пропускал бы только ту часть энергии солнечного спектра, в которой находится изучаемая полоса поглощения, например полоса  $\psi$ : измеряя напряжение солнечной радиации через этот фильтр и произведя предварительные лабораторные исследования интенсивности полосы поглощения в зависимости от содержания водяных паров, можно будет измерить содержание водяных паров в стратосфере. Второй метод основан на фотографировании инфракрасной части солнечного спектра в участке, где находится изучаемая полоса поглощения водяным паром, и в дальнейшей обработке полученной пластинки методом фотографической спектрофотометрии. Предварительно должна быть проделана подготовительная лабораторная работа.

<sup>1</sup> F. E. Fowle. The spectroscopic determination of aqueous vapor. *Astrophys. Journ.* vol. XXXV, № 3, 1912.

Конечно, для использования этого метода должны быть применены фотографические пластинки, чувствительные для инфракрасной радиации. За последние годы сделаны исключительно большие успехи в области фотографирования в инфракрасной части спектра. В 1919 г., с открытием очувствителя криптацианина, явилась возможность фотографировать до  $\lambda = 0.800 \mu$ . Открытие в 1926 г. неоцианина позволило фотографировать уже до  $\lambda = 1.163 \mu$ , а новый очувствитель ксеноцианин, открытый в 1932 г., дает возможность фотографировать до  $\lambda = 1.200 \mu$ . Таким образом, имеется уже возможность фотографировать в тех длинах волн, где находятся широкие полосы поглощения водяным паром. Есть полная уверенность в том, что в ближайшее время мы получим новые очувствители, которые позволят нам пойти еще дальше в инфракрасную часть солнечного спектра.

Надо надеяться, что в ближайшие же полеты в стратосферу этот метод будет применен и мы получим точные данные о содержании водяных паров в этих высотах атмосферы.

Изучение рассеивания солнечной лучистой энергии в атмосфере тоже дает хороший метод для исследования строения атмосферы, начиная со слоев непосредственно прилегающих к земной поверхности, в слое тропосферы, стратосферы и, наконец, суперстратосферы. Здесь возможна работа в двух направлениях: непосредственные наблюдения со стратостата на интересующих высотах и наблюдения с земной поверхности. В последнем случае особенно ценным является метод изучения сумеречной освещенности. Целый ряд исследований сумеречной освещенности как у нас, так и за границей, особенно работы В. Г. Фесенкова, Н. М. Штауде и И. Н. Ярославцева показывают, что этот метод, применяемый систематически, может дать много ценного для изучения верхних слоев атмосферы, таких, которые пока еще не доступны другим методам.

С 1934 г. систематическое изучение сумеречной освещенности фотоэлектрическим методом поставлено в Институте актинометрии и атмосферной оптики, для каковой цели сконструирован специальный фотометр.

К настоящему времени мы имеем очень мало непосредственных актинометрических наблюдений на различных высотах в свободной атмосфере; объясняется это как сложностью точных измерений на аэростате или аэроплане, так и неимением специальной аппаратуры.

Главная часть измерений напряжения солнечной радиации на различных высотах относится к высокогорным измерениям.

В табл. 1, частично заимствованной из работы L. Gorczynski,<sup>1</sup> приведены максимальные величины напряжения солнечной радиации, наблюдаемые в различных местах и на различных высотах.

<sup>1</sup> L. Gorczynski. Valeurs maxima de l'intensité du rayonnement solaire observées dans les différentes régions du globe terrestre. Annales du Service Botanique de Tunisie, t. VII, 1930.

Таблица 1

## Максимальные величины напряжения солнечной радиации

Места наблюдения	Широта	Долгота	Высота над ур. моря	Высота солнца	Максим. радиац.	Время наблюд.	Период
1 Слуцк . . . . . (б. Павловск)	59.9°N	30.3°E	0.0	37°	1.43 кал.	8 IV 1926	1907—1926
2 Potsdam . . . . .	52.4	13.1	0.1	39	1.45	19 III 1924	1907—1924
5 Paris . . . . .	48.8	2.5	0.1	53	1.43	22 IV 1929	1924—1929
4 Nice . . . . .	43.7	7.3	0.0	26	1.49	13 V 1930	1928—1931
5 Ariana . . . . .	36.8	7.9	0.0	38	1.57	5 IX 1924	1924—1925
6 Davos . . . . .	46.8	9.7	1.6	59	1.59	5 V 1921	1907—1928
7 Swinica . . . . .	49.1	24.5	2.3	51	1.64	1 IX 1926	—
8 Ajusco . . . . .	19.4	99.0 W	3.0	52	1.66	25 I 1928	1927—1928
9 Tamacos . . . . .	19.1	99.0 W	3.9	61	1.69	18 III 1928	—
10 Popocatepetl . . . . .	19.0	99.0 W	5.3	65	1.71	17 III 1929	—
11 Berlin . . . . .	52.4	13.1 E	5.4	48	1.71	8 VIII 1929	—
12 Griesheim . . . . .	51.1	8.7 E	7.5	29	1.72	19 X 1913	—
13 Omaha . . . . .	41.2	95.9 W	22.0	71	1.78	11 VII 1914	—

У земной поверхности, на небольшой высоте над ур. м., наблюдаются максимальные величины порядка 1.43 кал. — 1.57 кал. В некоторых пунктах наблюдения ведутся довольно продолжительное время; так, в Слуцке за 20 лет непрерывных наблюдений максимальная величина отмечена 1.43 кал. В Ariana, в пустыне Сахаре, была отмечена наибольшая величина 1.57 кал. Пункты с № 6 по № 10 табл. 1 относятся к горам; максимальная величина была наблюдаена на вулкане Popocatepetl на высоте над ур. м. 5.3 км и она равняется 1.71 кал. Измерений в свободной атмосфере совсем ничтожное количество. Bütner, при полете на аэроплане из Берлина (№ 11 по табл. 1), получил величину 1.71 на высоте 5.4 км. Измерения производились актинометром Михельсона. В табл. 2 даны подробные результаты этого подъема.

С аэростата впервые надежные измерения напряжения солнечной радиации были произведены А. Reppler при полете на юге Германии 19 октября 1913 г. (№ 12 табл. 1); им была получена максимальная величина 1.72 кал. на высоте 7.5 км при высоте солнца 29°.

Для большей высоты имеется только одно измерение, полученное с помощью шара-зонда в Америке Abbot'ом 11 июля 1914 г.: на высоте 22 км получилась величина напряжения солнечной радиации 1.78 кал. при высоте солнца 71°. Актинограф был поднят на трех связанных вместе шарах-зондах; конструкция его оставляет желать много лучшего. Напряже-

Таблица 2

Актинометрические измерения, произведенные с аэроплана 8 августа 1929 г.

Высота	Давление	Температура воздуха	Относительная влажность воздуха	Радиация солнца
50 м	750 мм	26.5	57%	1.01 кал.
600	705	21.7	62	1.23
1800	613	11.0	62	1.39
2000	604	10.4	60	1.45
3000	525	4.5	54	1.55
3300	510	3.0	64	1.65
4000	469	— 0.7	56	1.67
4350	448	— 3.0	52	1.69
5370	393	—10.0	52	1.71

ние радиации измерялось с помощью термометра, укрепленного внутри зачерненного серебряного диска, расположенного горизонтально. Специальный затвор открывал и закрывал диск. Столбик ртути в капилляре термометра фотографировался на вращающемся с часовым механизмом барабане. При обработке вводилось большое число разнообразных поправок, которые не всегда были достаточно обоснованы; в виду этого и, как указано было раньше, ненадежности конструкции актинографа, полученный результат не заслуживает большого доверия и должен рассматриваться только как предварительный.

Вот и все, что к настоящему времени имеется у нас по измерению солнечной радиации в тропосфере и стратосфере (кроме упомянутых имеются еще несколько измерений с аэростатов<sup>1</sup> и аэропланов); как видно — немного.

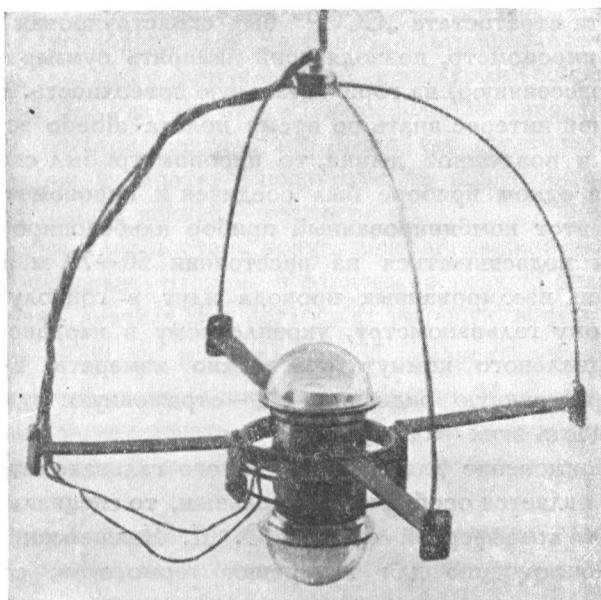
Измерение напряжения солнечной радиации во время полета встречает большие трудности, которых не имеется при всех других измерениях в свободной атмосфере. Трудности эти заключаются в том, что, во-первых, при измерении радиации должна сохраняться направленность потока солнечной радиации на измеряющий прибор, во-вторых, на пути луча к прибору не должна помещаться никакая промежуточная среда, даже „прозрачная“.

Как обыкновенный аэростат, так и стратостат, как при подъеме, так и при спуске, непрерывно вращаются, перемещается также и солнце по небесному своду, в виду чего очень трудно сохранять направленность актинометра на солнце. На обыкновенном сферическом аэростате, когда

<sup>1</sup> Н. Н. Калитин. Актинометрические и электрические измерения во время свободных полетов 20 июля и 24 ноября 1913 г. Геофиз. сб., 1915 г.

наблюдатель может непосредственно сам управлять прибором и направлять его на солнце, работа упрощается; но на стратостате, когда наблюдатель находится в герметически закрытой гондоле (актинометр должен непременно находиться вне гондолы), наблюдения усложняются еще более и возможны только при очень сложных приспособлениях.

Поэтому приходится постановку задачи упрощать, производить измерения напряжения солнечной радиации не на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность, а на горизонтальную; в этом случае наблюдательный материал получается менее ценным, но зато значительно упрощается производство наблюдений.



Фиг. 2. Стратостатный альбедопинометр.

Если поднимать актинометр на шаре-зонде, то сохранение направленности актинографа на солнце является настолько сложным, что фактически становится невозможным; в этом случае тоже приходится ограничиваться изучением радиации на горизонтальную поверхность.

Таким образом, сейчас представляется наиболее простым измерять напряжение на горизонтальную поверхность солнечной и рассеянной радиации суммарно или по отдельности, устроив попеременное затенение прибора от солнца.

Актинограф на стратостате или шаре-зонде должен быть установлен так, чтобы он был открыт для всего небесного свода; единственным таким местом у аэростата является верх оболочки, у стратостата — над клапаном. Но помещение какого-нибудь приспособления над клапаном всегда является рискованным и надо его признать недопустимым. Так как

большинство актинометрических приборов работает на термоэлектрическом методе, то передача термотоков по проводам от места укрепления приемной части прибора, т. е. над клапаном, в гондолу является тоже сложной, так как провода надо вести или с наружной стороны оболочки или внутри ее.

Поэтому более приемлемым является второй вариант, когда актинограф полностью или его приемная часть опускается ниже аэростата настолько, чтобы сам аэростат закрывал по возможности меньшую часть небесного свода. Расчет показывает, что расстояние 50—70 м является вполне достаточным, в виду того, что в стратосфере и вообще на большой высоте в атмосфере величина рассеянной радиации ничтожна. Поэтому мною для полета стратостата „СССР“ был сконструирован специальный стратостатный пиронометр, позволяющий измерять суммарную радиацию (солнечную + рассеянную) на горизонтальную поверхность. Так как представляет большой интерес знать во время полета *albedo* земной поверхности, облаков и воздушной дымки, то пиронометр был сконструирован мною так, что в одном приборе был соединен и пиронометр и альбедометр. Я назвал этот комбинированный прибор альбедопиронометр. Этот прибор должен подвешиваться на расстоянии 50—70 м под гондолой стратостата; три изолированных провода идут в гондолу стратостата к чувствительному гальванометру, укрепленному в кардановом подвесе. Помощью специального коммутатора можно измерять: 1 — падающую солнечную и рассеянную радиацию; 2 — отраженную от поверхности земли; 3 — разность этих радиаций.

Так как применение для работы точного гальванометра в гондоле стратостата не является особенно желательным, то специалист Института актинометрии и атмосферной оптики Ю. Д. Янишевский разработал специальную конструкцию для измерения термотоков, состоящую из потенциометра с тиккером, которая, давая нужную точность измерения, очень удобна в работе, так как не боится никаких сотрясений.

Д. И. ЕРОПКИН

## ПРОБЛЕМА АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА

В течение последних лет проблема ультрафиолетового излучения солнца и звезд является кардинальной проблемой современной астрофизики. Если бы нам удалось найти распределение энергии в ультрафиолетовой части спектра светил, это было бы *experimentum crucis* для целого ряда теорий и гипотез и послужило бы новым интенсивным толчком к прогрессу наших знаний о космосе.

Вместе с тем, теперь стала практически очевидной важность наблюдений над атмосферным озоном, играющим основную роль в отношении ультрафиолетовых лучей. Озон поглощает широкую зону в коротких длинах волн 2200—3000 Å, причем с такой интенсивностью, что, начиная с 2900 Å, солнечный спектр совершенно обрезан. Не приходится говорить о том, что это налагает печать и на физику и на биосферу земного шара. От ряда предыдущих докладчиков вы уже слышали о многосторонней роли озона.

Хотя гипотеза существования озона в верхних слоях атмосферы, высказанная Гартлеем, насчитывает уже 50 лет, первые точные исследования по озону были начаты во Франции в 1912 г. Фабри и Бьюсоном и затем получили особенное развитие в работах Добсона и Гетца.

Из спектрографических наблюдений (обычно пользуются лучом солнца или зенитным светом и иногда лучом луны) определяется содержание озона в земной атмосфере, которое меняется в зависимости от времени года, географической широты и метеорологических условий. Кроме того, содержание озона и распределение его по высоте связано с рядом геофизических факторов: состав атмосферы, изменение температуры с высотой и т. д. Наконец, изменение общего содержания озона в атмосфере может зависеть от некоторых космических воздействий на землю. В недавно опубликованной работе Фауль проводит сравнение числа солнечных пятен и содержание озона и получает параллельный ход, начиная с 1921 г. Однако отсутствие значительных колебаний содержания озона скорее указывает на отсутствие колебания ультрафиолетового излучения солнца порядка величин более чем в два раза. Следует заметить, что все вариации содержания озона, наблюдаемые до сих пор на земле, происхо-

дят в границах 0.17—0.42 см. В среднем толщина слоя озона для наших широт составляет 0.3 см при нормальном давлении.

Спектр поглощения озона представляет следующую картину: полосы Гартлея расположены приблизительно в области 2200—3000 Å. Эти полосы наиболее интенсивны. За ними начинается поглощение, вызванное молекулой  $O_4$ , которое продолжается до 1800 Å. Область 1800—1300 содержит сильные полосы диссоциации обычного кислорода  $O_2$ . Полосы Гюйгинса в области 3000—3400 Å, открытые в спектре Сириуса в 1892 г., сыграли большую историческую роль в смысле определения высоты слоя озона теперь оставленным методом зенитного света.

Третья группа полос — полосы Шапюи — расположены в видимой части спектра, красной и оранжевой. Они соответствуют, вероятно, метастабильным состояниям молекул озона и имеют чрезвычайно малый коэффициент поглощения и вследствие преддиссоциации чрезвычайно размыты. Поэтому они и были открыты в солнечном спектре только в 1924 г. Наконец, у озона имеются сильные полосы (ротационные) в инфракрасной части спектра в области 4 и 10  $\mu$ .

Озонные экспериментальные исследования были, главным образом, посвящены следующим вопросам:

1) Лабораторные исследования спектра поглощения озона. Наиболее интересными результатами являются результаты, полученные Вульфом и Мельвином. Эти авторы нашли, что контрастность полос озона возрастает при понижении температуры. Продолжение этих работ, которое ведется сейчас в лаборатории Фабри в Париже, обещает непосредственное определение температуры стратосферы в области содержания озона.

2) Изучение и отыскание полос в поглощении озона в спектре земной атмосферы в настоящее время в первом приближении уже закончено.

3) Изменение содержания озона в атмосфере. Исследования Добсона и Гетца установили, что содержание озона весной больше, чем осенью (оно незначительно изменяется также в течение дня, причем утром оно несколько больше, чем вечером) и, кроме того, возрастает с географической широтой. Так, по исследованию Гетца, для Шпицбергена оно в полтора раза больше, чем под экватором. Сейчас особенно важны точные спектроскопические измерения содержания озона во время ночи, особенно в Арктике в течение полярной ночи. Особенный интерес представили бы измерения содержания озона в связи с полярными сияниями. Определение содержания озона в нижних слоях атмосферы в течение полярной ночи также особенно важно с точки зрения проверки фотохимической теории озона. Следует отметить систематическое исследование Гетца над содержанием  $O_3$  в нижних слоях. Содержание озона здесь также колеблется, и определить его несколько затрудняет наличие сравнительно большого остаточного поглощения, вызванного пока еще неизвестными причинами (молекулами  $H_2O_2$  и  $NO_2$ ?).

4) Измерения высоты слоя озона. Первые исследователи озона, исходя из отсутствия озона в нижних слоях и своих наблюдений, измерений и предположили, что озон присутствует в виде слоя на высоте порядка 60 км. Гетдом, Добсоном и Митхамом в прошлом (1933) году были поставлены фундаментальные исследования комбинированным методом — одновременно применялся метод зенитного света и метод непосредственного измерения интенсивности полос в спектре солнца. Исследования производились в Арозе. Эти наблюдения привели к заключению, что озон расположен в виде слоя, начиная с 15 км до 35 км. Эти результаты, вероятно, не в пользу корпускулярной гипотезы происхождения озона; при этом они могут быть объяснены с точки зрения фотохимической теории озона; распределение озона по высоте согласуется с теоретической функцией Чепмана. Однако оно несомненно должно зависеть от широты. Поэтому постановка точных исследований по высоте озона чрезвычайно желательна. Но она может быть выполнена только инструментами по точности не ниже, чем озоновый спектрометр Добсона.

Таблица 1

№	Место наблюдения	$\varphi^0$	$\nu$ см	$\rho'$
1	Lerwick . . . . .	60	0.300	0.1737
2	Lindluburd . . . . .	52.5	286	2002
3	Oxford . . . . .	52	286	2019
4	Valencia . . . . .	52	297	2019
5	Arosa . . . . .	47	262	2189
6	New Zealand . . . . .	—44	285	2287
7	California . . . . .	35	240	2556
8	Egypte . . . . .	30	228	2683
9	Chili . . . . .	22	215	2852
10	India . . . . .	10	0.202	0.3011

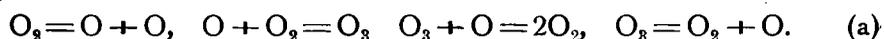
Для объяснения содержания озона в земной атмосфере было высказано два принципиальных взгляда. Один взгляд связывал происхождение озона с корпускулярным изучением солнца. Но, кроме качественного указания на эту причину, эта гипотеза особого развития до сих пор не получила. Впрочем, предварительные сообщения Довилье заставляют внимательно отнестись к роли полярных сияний и света ночного неба в балансе озона.

Другой взгляд говорит о происхождении озона вследствие разрушения кислорода  $O_2$  ультрафиолетовыми лучами солнца. Это фотохимическая теория образования озона. (Известно, что обычный молекулярный кислород имеет полосу в районе 1300—1800 Å.) Эта радиация разбивает

обычный молекулярный [кислород на атомный. Существование атомного кислорода кладется в основу фотохимической теории озона. Вычисления Чепмана показывают, что на высоте 80 км на каждые 300 молекул приходится один атом, а на высоте 120 км один атом приходится на три молекулы, т. е. содержание О быстро растет с высотой.

Как уже упоминалось в одном из докладов, падение озона особой роли в атмосфере играть не может. Можно пренебрегать как диффузией, так и падением озона, так как продолжительность жизни озонной молекулы не велика. Эта непродолжительность жизни озонной молекулы определяется следующими факторами: ультрафиолетовая радиация солнца при длине волн порядка 2500— $\text{Å}$ ; термические столкновения в более низких слоях, где присутствует озон в незначительном количестве и где находятся водяные пары, аммиак и перекись водорода (молекулы озона очень легко входят в реакцию с этими молекулами). Таковы факторы, разрушающие молекулу озона. Факторами, создающими озон, является ультрафиолетовая радиация солнца еще более короткой длины волн — 1500— $\text{Å}$ , и, наконец, нужно иметь в виду полярное сияние. Очень интересная мысль высказана акад. В. И. Вернадским о значении биогенного происхождения свободного кислорода и, следовательно, о роли биосферы в образовании озонного экрана, столь важного для жизни.

Все-таки, повидимому, главную роль в балансе озона играют реакции.



Я предпринял опыт исследования распределения энергии в ультрафиолетовом конце солнечного спектра на основе фотохимической теории равновесия озона в земной атмосфере.

Основываясь на том, что средне-годовое значение содержания озона есть величина постоянная для данного места на земном шаре, можно приравнять нулю основные уравнения фотохимического равновесия, составленные на основании реакций (а),

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = 2\sigma_2 n_2 I + \sigma_3 n_3 I - 2K_{11} n_1^2 - K_{12} n_1 n_2 - K_{13} n_1 n_3 = 0 \\ \frac{dn_3}{dt} = K_{12} n_1 n_2 - \sigma_3 n_3 I - K_{13} n_1 n_3 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $t$  — время,  $I$  — интенсивность ультрафиолетовой радиации солнца,  $n_1, n_2, n_3$  — числа атомов О, молекул  $\text{O}_2$  и молекул  $\text{O}_3$  и коэффициенты  $K$  и  $\sigma$  имеют средне-годовые значения. При этом мы пренебрегаем членом  $K_{23} n_2^2$  во втором из приведенных уравнений.

Заменяя первое из уравнений суммой первого и второго и деля каждое уравнение на  $n_2^2$ , получим:

$$\begin{cases} \sigma_2 \varrho - K_{11} \nu_1^2 - K_{13} \nu_1 \nu_3 = 0 \\ K_{12} \nu_1 - K_{13} \nu_1 \nu_3 - \sigma_3 \sigma_3 \varrho = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где через  $\varrho$ ,  $\nu_1$ ,  $\nu_3$  обозначены отношения

$$\nu_1 = \frac{n_1}{n_2}, \quad \nu_3 = \frac{n_3}{n_2}, \quad \varrho = \frac{I}{n_2}. \quad (3)$$

Исключив из уравнений (2)  $\nu_1$ , получим зависимость между  $\varrho$  и  $\nu_3$  в виде кубического уравнения:

$$\nu_3^3 + (\alpha - \beta\varrho)\nu_3^2 - \gamma\nu_3 + \delta = 0. \quad (4)$$

Коэффициенты уравнения (4) следующим образом выражаются через коэффициенты системы (2)

$$\alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_8} - \frac{K_{12}}{K_{18}}, \quad \beta = \frac{K_{11}}{K_{18}^2} \sigma_3, \quad \gamma = 2 \frac{K_{12}}{K_{18}} \frac{\sigma_2}{\sigma_8}, \quad \delta = \left(\frac{K_{19}}{K_{18}}\right)^2 \frac{\sigma_2}{\sigma_8}. \quad (5)$$

Если ввести в рассмотрение величины  $\nu = \rho\nu_3$  и  $\varrho^1 = q\varrho$ , где  $\rho$  и  $q$  некоторые постоянные множители, то уравнение (4) заменится аналогичным

$$\nu^3 + (\alpha^1 - \beta^1\varrho^1)\nu^2 - \gamma^1\nu + \delta^1 = 0 \quad (6)$$

где

$$\alpha = \frac{a^1}{\rho}, \quad \beta = \beta^1 \frac{q}{\rho}, \quad \gamma = \frac{\gamma^1}{\rho^2}, \quad \delta = \frac{\delta^1}{\rho^3}. \quad (7)$$

Используем для получения коэффициентов уравнения (4) зависимость содержания озона от широты.

По данным Dobson'a, табл. 1 содержит место наблюдения, географическую широту, средне-годовое содержание озона, данное в сантиметрах редуцированного слоя озона (снято с кривых Dobson'a), средне-годовую интенсивность солнечного излучения  $\varrho^1$  в единицах Angot (по Milankovitch'у).

Каждая пара значений  $\varrho^1$  и  $\nu$ , будучи поставлена в уравнение (6), дает одно условное уравнение для определения коэффициентов  $\alpha^1$ ,  $\beta^1$ ,  $\gamma^1$  и  $\delta^1$ .

Решая соответствующую нормальную систему, найдем следующие значения искомых коэффициентов:

$$a^1 = +3.750, \quad \beta^1 = +4.639, \quad \gamma^1 = +1.9235, \quad \delta^1 = 0.2934. \quad (8)$$

По старым наблюдениям слою озона в 0.3 соответствует содержание озона  $\nu = \frac{1}{1500}$ . Отсюда заключаем, что  $\rho = 450$ . Это значение соответствует старым определениям высоты слоя озона в 50 км. Однако новые измерения высоты слоя озона (Götz, Dobson, Meetham), дающие центр тяжести на высоте 20 км, увеличивают значение  $\rho$  в 5—6 раз.

Из двух последних уравнений (5) найдем

$$\frac{K_{12}}{K_{18}} = \frac{2\delta}{\gamma} \text{ и } \frac{\sigma_2}{\sigma_3} = \frac{\gamma^2}{4\delta}$$

или в числах  $\frac{K_{12}}{K_{13}} = 0.67 \cdot 10^{-3}$ ;  $\frac{\sigma_2}{\sigma_3} = 7 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{140}$  для высоты слоя озона в 50 км и  $\frac{K_{12}}{K_{13}} = 10^{-2}$  и  $\frac{\sigma_2}{\sigma_3} = \frac{1}{600}$  при высоте слоя озона, равной 20 км.

По кривой абсолютно черного тела для отношения  $\sigma_2 : \sigma_3$  мы имеем 1 : 600.

Как видно, если брать другие значения  $p$ , то  $\frac{\sigma_2}{\sigma_3}$  будет изменяться обратно пропорционально.

Таким образом, фотохимическая теория озона приводит к заключению, что солнечный спектр приблизительно в 5—6 раз богаче ультрафиолетовой энергией, чем это можно было бы ожидать согласно кривой абсолютно черного тела, если высота слоя озона 50 км, и соответствует кривой Планка, если высота слоя озона равна 20 км.

Так как на основании общих физических соображений вероятно распределение ультрафиолетовой энергии по кривой Планка, то к предварительному сообщению Гетца, Добсона и Митхама о высоте слоя озона в 20 км следует отнестись с полным доверием.

В СССР работы по исследованию озона сейчас только начинаются. Точно содержание озона было определено лишь на Земле Франца-Иосифа и в Кучине.

Полеты в стратосферу открывают новую эру исследований над озоном. Только теперь появляется возможность экспериментально проверить высоту слоя озона. Это может быть выполнено непосредственным фотографированием солнечного спектра через кварцевое окно кабины стратостата кварцевым спектрографом. Есть еще другой очень интересный путь, а именно поднять на стратостате ночью источник ультрафиолетового света, который будет фотографироваться спектрографами во время подъема. Отсюда будет определена нижняя граница слоя озона.

Особенный интерес представляли бы озонные исследования на советских арктических станциях во время полярной ночи. Для этого важна разработка, во-первых, точных астрономических методов определения содержания озона по спектрам звезд разных классов (некоторый успех в этом отношении уже достигнут Добсоном и Шалонжем) и, во-вторых, непосредственного химического дозирования озона (такие исследования ведутся Довилье). Будем надеяться, что ближайшие годы дадут нам достоверный экспериментальный материал и этим разрешат проблему озона.

ВЛ. КАСТРОВ

## РАССЕЯНИЕ СВЕТА И ПРОБЛЕМА СТРАТОСФЕРЫ

§ 1. Надо думать, что в стратосфере мы имеем дело лишь с молекулярным рассеянием света, в отличие от тропосферы, где существенную роль играет также рассеяние света крупными частицами (пылинками, ядрами конденсаций, капельками воды и т. п.). Поэтому, приступая к нашей теме, нельзя не остановиться вкратце на современном состоянии теории молекулярного светорассеяния. Работами Рэля, Смолуховского и др. было установлено, что каждая единица объема чистого газа рассеивает во все стороны долю падающей радиации, равную

$$K = \frac{8\pi^3 (n^2 - 1)^2}{3N\lambda^4}, \quad [1]$$

где  $n$  — показатель преломления газа и  $N$  — число молекул в единице объема. Это число  $K$  называется коэффициентом рассеяния. Формула [1] показывает, что лучи рассеиваются тем сильнее, чем меньше их длина волны  $\lambda$ . Отношение между коэффициентами рассеяния для двух каких-либо длин волн, однако, не равно обратному отношению четвертых степеней длин этих волн, так как показатель преломления  $n$  тоже зависит (хотя и не сильно) от  $\lambda$ . Если для этой зависимости воспользоваться формулой, учитывающей наличие в спектре газа лишь одной полосы, что для воздуха оказывается вполне достаточным, то вместо [1] будем иметь

$$K = \frac{8\pi^2 a^2}{3N(\lambda^2 - \lambda_0^2)^2}, \quad [1']$$

где по измерениям Коха (1)  $a = 5.7642 \cdot 10^{-4}$  (при нормальной плотности воздуха) и  $\lambda_0 = 0.0737 \mu$ .

Прекрасным подтверждением теории Рэля явилось определение числа  $N$  по формуле [1] из рассеивающей способности газов, давшее совпадение со значениями, полученными другими методами. Однако теория Рэля требует, чтобы свет, рассеянный под прямым углом к падающему, был вполне поляризован. Между тем ни наблюдения над светом, рассеянным в атмосфере, ни лабораторные измерения не подтвердили этого для случая воздуха. Поэтому Кабанном было предположено у молекул воздуха существование известной асимметрии (анизотропии). Полученное им обоб-

шение теории Рэлея на случай анизотропных молекул объясняет неполноту поляризации, но для числа  $N$  дает преувеличенное значение. Удовлетворительного объяснения этому обстоятельству пока не найдено.

§ 2. Теория Рэлея позволила объяснить происхождение яркости, цвета и поляризации неба. Сделать из нее количественные выводы для атмосферы очень нелегко, во-первых, потому, что каждый рассматриваемый нами объем воздуха освещается не только прямым солнечным светом, но и всей остальной массой атмосферы (так. наз. „самоосвещением атмосферы“), а также светом, отраженным от земли, что делает вопрос математически очень сложным; во-вторых, в рассеянии света принимают участие также и крупные частицы, оптические свойства которых не охватываются теорией Рэлея и еще мало изучены. Докладчиком были произведены вычисления яркости неба в разных направлениях при высоте солнца  $30^\circ$ , при наблюдении с поверхности земли в случае абсолютно чистой атмосферы (2). Вычисления были проделаны для  $\lambda_1 = 0.441 \mu$  (синие лучи) и  $\lambda_2 = 0.554 \mu$  (желто-зеленые лучи) с учетом одно-и двукратного рассеяния света в атмосфере. Интересно, что отношение яркости зенита к яркости солнечного света у земной поверхности, если его выразить формулой  $i_\lambda/J_\lambda = c\lambda^{-p}$ , дает для  $p$  значение 4.9, а не 4.0, как это казалось бы с первого взгляда должна давать теория Рэлея. Эта разница отчасти объясняется указанной выше зависимостью  $p$  от  $\lambda$  в формуле Рэлея, однако в значительно большей степени тем, что  $J_\lambda$ , входящее в эту формулу, относится к поверхности земли, до которой солнечный свет доходит уже сильно ослабленным, преимущественно в коротковолновой части, тогда как яркость зенита создается светом, рассеянным не только у поверхности земли, но и на значительных высотах, где солнечный свет богаче синими и фиолетовыми лучами. Кроме того, в том же направлении (повышении „ $p$ “) действует и эффект самоосвещения атмосферы, так как воздух освещается не только солнечным светом (белым), но и синим светом неба сверху и воздушной дымки снизу. Повышению показателя  $p$  соответствует увеличение яркости синих и фиолетовых лучей по сравнению с желтыми и красными. Наблюдения Крова, Зетвича и др. уже давно показали, что в чистые, особенно зимние дни, а также на горах показатель  $p$  бывает больше 4 (по Крова до 4.7). Некоторыми исследователями это считалось несовместимым с теорией Рэлея, и были высказаны предположения, что свет, идущий от неба, обусловлен не только рассеянием молекулами и крупными частицами, влияние которых может лишь понизить величину  $p$ , но и в некоторой мере также явлением флуоресценции воздуха под действием ультра-фиолетовой радиации солнца (3). После того как Пернтером (4) было дано приведенное выше объяснение этого явления, рассеяние света стало считаться большинством исследователей единственной причиной яркости и синевы неба. Однако еще совсем недавно Коном (5) снова был выдвинут вопрос о роли флуоресценции, причем он приписывает ее происхождение бомбардировке самых верхних слоев атмосферы

потоком электронов, летящих от солнца. Однако его аргументация не является достаточно убедительной (6), и мы можем констатировать, что атмосферно-оптические наблюдения, произведенные до сих пор у поверхности земли, не дают нам никаких указаний на явление флуоресценции в верхних слоях.

Теоретические работы Сорре, Альгримма и Тихановского позволили также объяснить, исходя из теории Рэлея, основные факты из области поляризации неба, как то: наблюдаемые значения величины поляризации, их суточный ход и происхождение нейтральных точек. Теория Ширман, приписывавшая происхождение последних исключительно крупным частицам, считается в настоящее время заслуживающей меньшего доверия.

§ 3. Оптические наблюдения, производимые в стратосфере, могут дать решение большего числа еще не вполне разрешенных вопросов атмосферной оптики, о части которых говорилось выше. Так, измерения яркости и распределения энергии по спектру неба могут окончательно решить вопрос о том, играет ли какую-либо роль явление флуоресценции. Поляриметрические измерения могут разрешить вопрос о роли многократного рассеяния и крупных частиц в происхождении нейтральных точек. Кроме того, эти поднятия могут дать исчерпывающий материал по оптическому режиму на разных высотах. Как видно из вышесказанного, такого рода данные теоретически могут быть получены лишь с большим трудом и не могут считаться вполне надежными. Между тем они имеют большое значение для решения целого ряда практических и теоретических вопросов, как то: видимость плавающих в атмосфере тел при наблюдении с поверхности земли, видимость земной поверхности при наблюдении сверху с разных высот а также и из мирового пространства, альbedo земли как планеты и т. п.

Наиболее желательными докладчику представляются следующие наблюдения:

- 1) спектрофотометрия неба и дымки над поверхностью земли,
- 2) измерение освещенности обращенных вверх и вниз горизонтальных поверхностей на разных высотах,
- 3) определение яркости неба и воздушной дымки над землей в разных направлениях,
- 4) измерения величины поляризации в точке максимума и положения нейтральных точек.

Задача 2) может быть решена с помощью двух фотоэлементов, из которых один обращен кверху, а другой книзу. Задачу 3) можно решить, фотографируя небо и землю широкоугольной камерой. Для 1-й и 2-й задачи может быть применена обычная аппаратура, возможно сильно, конечно, облегченная.

§ 4. Произведенные до настоящего времени оптические наблюдения в стратосфере касались яркости и цвета неба. Все стратонавты отмечают очень малую яркость неба и его фиолетовый оттенок. К сожалению, цвет-

ная шкала, применявшаяся на стратостате „Осоавиахим“, была сконструирована несколько неудачно, так что по произведенным с ее помощью наблюдениям если и можно сделать какие-либо заключения, то лишь о яркости неба, но не о его цвете. Особенно большой интерес с теоретической точки зрения представляют замечания о фиолетовом тоне неба, так как сразу возникают сомнения в том, что это может быть объяснено, исходя из теории рассеяния. Чтобы проверить, насколько основательны эти сомнения, докладчиком были произведены вычисления двумя различными независимыми способами. Во-первых, исходили из предположения, что цвет неба в стратосфере очень близок к цвету, который имела бы на той же высоте абсолютно чистая атмосфера. Правда, снизу стратосфера освещается светом, рассеянным мутными слоями тропосферы, однако влияние его должно быть невелико, так как крупные частицы слабо рассеивают свет назад, т. е. в данном случае кверху. Из упоминавшейся уже выше работы (2) было получено интерполированием, что яркость дымки, создаваемой слоем атмосферы от 0 до 19 км толщиной, при наблюдении с поверхности земли равна

$$(i_{\lambda})_0^{19} = (i_{\lambda})_0^{\infty} - 0.000469 J_{0\lambda},$$

где  $(i_{\lambda})_0^{\infty}$  есть яркость неба в зените и  $J_{0\lambda}$  яркость солнечного света. Очевидно, что  $(i_{\lambda})_0^{\infty} - (i_{\lambda})_0^{19} = 0.000469 J_{0\lambda}$  есть яркость слоя атмосферы выше 19 км при наблюдении с поверхности земли, и чтобы получить яркость неба в зените при наблюдении с высоты 19 км, эту величину достаточно разделить на прозрачность слоя атмосферы от 0 до 19 км. Таким образом, получаем:  $(i_{\lambda})_{19}^{\infty} = 0.000510 J_{0\lambda}$ . Эти расчеты относятся к  $\lambda = 0.554 \mu$ . Аналогичные вычисления для  $\lambda = 0.441 \mu$  дали  $(i_{\lambda})_{19}^{\infty} = 0.001363 J_{0\lambda}$ . С помощью этих двух величин находим для показателя  $p$  в формуле  $i_{\lambda}/J_{\lambda} = c\lambda^{-p}$  значение 4.41. Сравнивая это число с приведенными выше, мы приходим к выводу, что по сравнению с солнечным светом в месте наблюдения спектр зенита на высоте 19 км не так богат короткими лучами, как у поверхности земли в случае абсолютно-чистой атмосферы ( $p = 4.9$ ) или на высоких горах в случае реальной атмосферы ( $p = 4.7$ ). В случае длительного пребывания наблюдателя в условиях солнечного освещения солнечный свет воспринимается глазом как белый. Поэтому полученный результат говорит о том, что небо в стратосфере должно казаться даже менее синим (более голубым), чем на высоких горах. Громоздкость формул для интенсивности двукратно-рассеянного света мешает распространить этот метод на большое число длин волн. Чтобы получить представление о ходе всей кривой распределения энергии по спектру, был применен другой более упрощенный метод. По сравнению с первым методом он обладает также и некоторыми преимуществами, так как он дает возможность учесть освещение стратосферы снизу светом, отраженным от земли и рассеянным в реальной замутненной тропосфере.

Ограничиваясь первым приближением, интенсивность однократно рассеянного света в зените будет

$$i_{\lambda}' = J_{0\lambda} \frac{3}{16\pi} \alpha_{\lambda} \nu \left(1 + \frac{1}{\mu_{\odot}}\right) \quad [2]$$

[см. форм. 3 § 1 цитированной работы (2)], — где  $\alpha_{\lambda}$  — коэффициент рассеяния, отнесенный к одной атмосфере ( $\alpha_{\lambda} = km_0$  в указанной работе); —  $\nu = \frac{b}{760}$ , где  $b$  давление в мм рт. столба; —  $\mu_{\odot} = \sec z_{\odot}$ .

Формула [2] не учитывает ослабления прямого и рассеянного света, которое для стратосферы едва достигает 3—4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> в коротковолновой части спектра. При рассмотрении рассеяния высших порядков в данном случае, когда над местом наблюдения остается лишь около 0.07 всей массы атмосферы, достаточно учесть лишь освещение рассеивающего слоя снизу. Поток энергии данной длины волны, падающий сверху на единицу горизонтальной площади на границе атмосферы, равен  $J_{0\lambda} d\lambda \cos z_{\odot}$ . Обозначим через  $\Phi_{\lambda} d\lambda$  поток энергии той же длины волны, падающий на единицу поверхности земли от солнца и от неба. Если пренебречь чистым поглощением света, которое для видимой части спектра действительно незначительно, то плотность потока энергии, выходящего из атмосферы в мировое пространство, очевидно будет равна  $J_{0\lambda} d\lambda \cos z_{\odot} - (1 - r_{\lambda}) \Phi_{\lambda} d\lambda$ , где  $r_{\lambda}$  — коэффициент отражения земной поверхности. Пренебрегая опять-таки ослаблением света в слое выше 19 км, мы можем считать, что плотность потока энергии, идущего вверх, имеет внутри всего этого слоя такое же самое значение. Для упрощения допустим, что этот поток распределен равномерно внутри телесного угла  $2\pi$ . Тогда в любом направлении наш слой будет рассеивать долю падающего на него потока, равную  $\frac{\alpha_{\lambda} \nu}{4\pi}$ . Поэтому интенсивность многократно рассеянного света будет приблизительно:

$$i_{\lambda}'' = [J_{0\lambda} \cos z_{\odot} - (1 - r_{\lambda}) \Phi_{\lambda}] \frac{\alpha_{\lambda} \nu}{4\pi}. \quad [3]$$

Из [2] и [3] получаем полную интенсивность излучения зенита:

$$i_{\lambda} = i_{\lambda}' + i_{\lambda}'' = \frac{\alpha_{\lambda} \nu}{4\pi} \left[ \left( \frac{3}{4} + \cos z_{\odot} + \frac{3}{4} \cos^2 z_{\odot} \right) J_{0\lambda} - (1 - r_{\lambda}) \Phi_{\lambda} \right]. \quad [4]$$

Подставляя сюда

$$z_{\odot} = 60, \alpha_{\lambda} = \frac{8}{3} \frac{\pi^3 (n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} H = \frac{8}{3} \frac{\pi^3 H}{N} \alpha^2 (\lambda^2 - \lambda_0^2)^2,$$

где  $H$  — высота однородной атмосферы и  $\nu = \frac{52}{760}$ , получаем расчетную формулу:

$$i_{\lambda} = 4.419 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{23}{16} J_{0\lambda} - (1 - r_{\lambda}) \Phi_{\lambda} \right] (\lambda^2 - 0.005685)^{-2}. \quad [4]$$

По этой формуле были произведены расчеты для всего видимого спектра через каждую 0.01  $\mu$ . Распределение энергии в спектре солнца

вне атмосферы  $J_{0\lambda}$  было взято по исследованиям Аббота (7). Ординаты кривой распределения энергии у Аббота выражены в условных единицах. Для превращения их в абсолютные вся площадь, ограниченная этой кривой и осью  $\lambda$ , равная 356.8 единиц Аббота  $\times$  микрон (8), была приравнена солнечной постоянной  $\left(2 \frac{\text{гр. кал}}{\text{см}^2 \text{ мин.}} = 0.1396 \frac{\text{ватт}}{\text{см}^2}\right)$ , деленной на механический эквивалент света  $\left(1.61 \cdot 10^{-8} \frac{\text{ватт}}{\text{лм}}\right)$ . Для единицы Аббота отсюда получаем значение 0.243. Распределение энергии в спектре дневного света  $\Phi_\lambda$  и коэффициенты отражения поверхности земли  $r_\lambda$  были взяты по материалам, любезно предоставленным мне Институтом аэросъемки. Земля предполагалась покрытой травой. Величины  $\Phi_\lambda$  также были выражены в условных единицах. Для определения их абсолютного значения, площадь, ограниченная кривой  $\Phi_\lambda$  и осью  $\lambda$ , была приравнена  $42.10^8$  лк. Последнее число, сообщенное мне М. В. Быловым, получено им как среднее значение освещенности от солнца и от неба в безоблачные дни при  $z_\odot = 60^\circ$  на основании 2-летней регистрации в Институте актинометрии и атмосферной оптики. Результаты вычислений приведены в табл. 1. Затем по данным этой таблицы

Т а б л и ц а 1

$\lambda (\mu)$	0.38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
$r_\lambda \left(\frac{\text{сб}}{\mu}\right)$	0.168	223	207	237	218	202	196	177	169	155	144	130	118	102	092	083	076	071	062
$\lambda (\mu)$	0.57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	
$r_\lambda \left(\frac{\text{сб}}{\mu}\right)$	0.061	054	051	046	042	039	036	031	029	027	024	023	021	018	018	017	016	015	

были определены колориметрические характеристики цвета зенита; они оказались следующими: яркость  $H = 74.3 \frac{\text{сб}}{\text{м}^2}$ , тон  $\lambda = 0.475 \mu$  и насыщенность (по отношению к равноэнергетическому белому)  $p = 0.165$ . Аналогичные вычисления были произведены также в Гос. Оптическом институте Л. И. Демкиной, причем ею предполагалось, что распределение энергии в спектре неба может быть представлено формулой  $J_{0\lambda} \lambda^{-4}$ . При вычислениях далее, распределение энергии в спектре солнца отождествлялось с распределением энергии в спектре абсолютно черного тела при температуре  $6000^\circ \text{K}$ . Несмотря на столь упрощенный подход, результат оказался очень близок к тому, что было получено выше. Длина волны  $\lambda = 0.475 \mu$  соответствует синей части спектра. Таким образом, несколькими независимыми методами мы пришли к выводу, что фиолетовый тон неба в стратосфере несовместим с предположением, что единственной причиной цвета неба является процесс светорассеяния. Остается лишь предположить, что либо фиолетовый тон, отмечаемый всеми стратонавтами, объясняется чисто физиологическим эффектом, либо существуют в верхних слоях атмосферы какие-то неизвестные еще нам мощные источники свечения.

Довольно значительная абсолютная величина яркости зенита ( $74 \text{ св/м}^2$ ) не может считаться противоречащей наблюдениям стратонавтов, характеризующих небо как очень темное или даже черное, так как эти результаты наблюдений легко могут быть объяснены контрастом с ярко освещенной внутренностью gondoly.

Интересно также отметить, что наблюдения Васенко с цветной шкалой, произведенные для различных зенитных расстояний, как будто указывают на то, что при переходе от точек, расположенных вблизи зенита к горизонту, яркость неба возрастает примерно лишь в 10 раз. Между тем вычисления, произведенные А. А. Гершуном по формулам однократного рассеяния, дают увеличение яркости примерно в 100 раз.

О разрешении наметившихся здесь расхождений между теорией и наблюдениями можно будет серьезно говорить, конечно, лишь после того, как сделанные визуальные оценки будут проверены точными инструментальными измерениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Landolt-Börnstein. Physikalischchemische Tabellen. Bd. 2, S. 960, Berlin, 1923.
2. Журнал Геофизики, т. III, вып. 2 стр. 123, 1933 г. (результаты вычислений для  $\lambda = 0.441 \mu$  еще не опубликованы). В указываемой работе вычисления отнесены к  $\lambda = 0.555 \mu$ , однако в формуле для коэффициента рассеяния не была принята во внимание зависимость  $n$  от  $\lambda$ . Если учесть эту зависимость, то таким коэффициентом рассеяния будет обладать радиация с длиной волны  $0.544 \mu$  а не  $0.555 \mu$ .
3. Boutaric. Annales de Physique, v. X, 21, 1918.
4. Pernter-Exner. Meteorologische Optik, S. 640, Wien, 1922.
5. W. Cohn. Gerl. Beitr. z. Geophys., Bd. 37, H. 2/3, S. 198, 1932.
6. Chr. Jensen, Gerl. Beitr. z. Geophys., Bd. 40. H 2/3, S. 198, 1933.
7. C. G. Abbot, F. E. Fowle and L. B. Aldrich. Smith. Misc. Coll., 74, 1932.
8. W. Kastrow. Met. Zeitschr., H. 10, S. 377, 1928.



В. Г. ФЕСЕНКОВ

## К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРАТОСФЕРЫ ПУТЕМ ФОТО- МЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СУМЕРЕК

Если подходить к вопросу о строении атмосферы на основании сумеречных явлений с формальной точки зрения, то нельзя не отметить полную аналогию этой проблемы с основной проблемой звездной статистики, которая была поставлена Шварцшильдом. Эта проблема заключается в том, чтобы по известному распределению звезд на небесной сфере и на основании принятого распределения их абсолютных яркостей определить пространственную звездную плотность, т. е. количество звезд на единицу объема пространства.

Если мы будем трактовать явление сумерек, учитывая рассеяние света лишь первого порядка, отбросив пока рассеяние света высших порядков, то убедимся, что каждый объем атмосферы находится в определенном световом режиме, получая свет, прошедший через какие-то атмосферные слои на известном расстоянии от земной поверхности.

Для того, чтобы определить яркость неба в определенной его точке, которую всего удобнее выбрать в солнечном вертикале, мы должны, очевидно, просто просуммировать количество света, рассеиваемого каждым подобным элементарным объемом от некоторой нижней границы, находящейся на расстоянии  $v_1$  от наблюдателя или  $h_1$  от земной поверхности до бесконечности, предполагая, что атмосфера простирается практически бесконечно.

Таким образом, наблюдаемая яркость сумерек выражается формулой:

$$J \infty \int_{h_1}^{\infty} f(h) j dh,$$

где функция  $j$  характеризует световой режим для каждого объема атмосферы, а функция  $f(h)$  от высоты над земной поверхностью определяется оптической плотностью воздуха.

Мне приходилось уже в 1916—1918 гг. заниматься подобного рода проблемой, причем я решал ее путем чрезвычайно громоздких вычислений, определяя для каждого данного объема в атмосфере соответствующий световой режим, определяя кривизну каждой траектории светового луча

для каждого данного погружения солнца под горизонт и находя связанное с ней поглощение света. Решение проблемы получилось числовым образом при помощи построения ряда вспомогательных таблиц.

Подобный способ, в подробности которого я не вхожу, потому что он был своевременно опубликован, может быть вследствие своей громоздкости применен лишь для обработки некоторой усредненной сумеречной кривой. Представляет интерес разработать такой способ, чтобы в течение нескольких часов можно было получить результат для каждого данного дня наблюдений.

Однако проделанные раньше вычисления помогли разобраться в сущности указанного явления и отбросить ряд обстоятельств, не имеющих существенного значения.

На основании проделанных вычислений оказалось, что функция  $j$ , которая определяет количество света, пронизывающего данный объем атмосферы, может быть представлена чисто эмпирически в виде

$$j = e^{-\alpha - \beta\sqrt{h_0} - \gamma h_0},$$

где  $h_0$  — наименьшее расстояние траектории светового луча от земной поверхности, а  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — постоянные коэффициенты.

Что касается величины  $f(h)$ , то она характеризует оптическую плотность воздуха и, при условии постоянства химического состава, может считаться пропорциональной физической плотности. Положим  $\rho \propto e^{-kh}$ , причем величина  $k$ , которую можно назвать градиентом плотности, представляет величину, мало меняющуюся с высотой. Можно принять, что градиент плотности воздуха является величиной постоянной в том эффективном слое атмосферы, который в каждый данный момент производит явление сумерек.

По мере того как солнце постепенно погружается под горизонт, подобный эффективный слой повышается все более и более, и таким образом мы можем получить вполне однозначное решение задачи.

Как мы увидим в дальнейшем, нет смысла стремиться получать из наблюдений абсолютные значения яркости сумеречного неба. Достаточно иметь из наблюдений лишь градиент яркости сумеречной кривой для определенного участка неба в вертикале солнца, именно

$$\frac{d \log j}{d\zeta},$$

где  $\zeta$  — зенитное расстояние солнца.

Если принять те ограничения, о которых я говорил до сих пор, то оказывается, что эта величина, находящаяся непосредственно из наблюдений, представляется теоретически в виде выражения достаточно сложного, принимающего более простой вид, если наблюдения относятся к зениту. Главный член этого выражения имеет вид:

$$\frac{d \log j}{d\zeta} = \frac{ka \operatorname{cosec} \zeta \operatorname{ctg} \zeta}{1 - \operatorname{ctg} \zeta \operatorname{tg} z},$$

где  $a$  — радиус Земли.

$\zeta$  — зенитное расстояние солнца большее  $90^\circ$ ,  $z$  — зенитное расстояние наблюдаемого участка.

В сущности говоря, в выражение сумеречного градиента входят еще четыре, более сложных члена. Приближенная величина градиента определяется, однако, первым членом, который здесь написан, если зенитное расстояние  $\zeta$  не очень близко к  $90^\circ$ . Я не буду останавливаться на том, какой именно высоте над уровнем моря соответствует определенный таким образом градиент плотности  $k$ . Мы можем вычислить подобную высоту как высоту максимального рассеяния света в зависимости от количества получаемой радиации, плотности воздуха и зенитного расстояния солнца. В последнем случае мы получаем довольно сложное выражение, которое я позволю себе написать только по отношению к зениту, потому что для любого другого зенитного расстояния оно имеет весьма сложный вид.

Итак, для случая наблюдения сумерек в зените имеем

$$\bar{h} = (a \operatorname{cosec} \zeta - 1) + \frac{\operatorname{cosec} \zeta}{\gamma + k \operatorname{cosec} \zeta} \left[ 1.5 + \frac{\beta^2}{4(\gamma + k \operatorname{cosec} \zeta)} \right].$$

Минимальная высота:

$$\bar{h} = a(\operatorname{cosec} \zeta - 1) + 21.3 \operatorname{cosec} \zeta.$$

Подобного рода выражение показывает, что данный способ, к сожалению, не может быть применяем к очень низким слоям атмосферы, даже если мы приурочим наши наблюдения к моменту захода солнца. В последнем случае минимальная высота, для которой можно начать определение атмосферной плотности, превышает 20 км.

Нижние слои воздуха — тропосфера — обладают такой поглощающей способностью, что тропосфера выключается совершенно и не принимает никакого участия в явлении сумерек, зависящем от рассеивания света первого порядка.

Подобным образом были обработаны наблюдения, которые были поставлены под Москвой в 1929—1930 гг. при помощи трубочных фотометров, соответственным образом монтированных.

Тот же самый материал был обработан другим способом с учетом рефракции. Для этой цели необходимо обобщить теорию поглощения света Лапласа, дающую связь между поглощением и рефракцией.

Не входя в подробности подобной методики, приведу полученный мной окончательный результат.

$h$	$k$	$h$	$k$
20 км	0.152	50 км	0.095
30 „	0.128	60 „	0.086
40 „	0.010		

Заметим, что наблюдения велись в случаях, близких к монохроматическим, причем  $\lambda = 515 \mu\mu$ . Таким образом, получается совершенно не-

сомненно, что по мере поднятия в атмосферу градиент плотности постепенно, хотя и медленно, уменьшается. Для земной поверхности, где высота однородной атмосферы составляет 8 км, мы имеем соответствующую величину коэффициента  $k = 0.125$ . Что касается первого числа в таблице, то оно нами получено путем некоторой экстраполяции.

Как же мы определим плотность? Предположим, что рассеяние света пропорционально плотности воздуха на данной высоте. Это, однако, справедливо в том случае, если химический состав воздуха постоянен. Но если этого мы не имеем, если нужно встать на точку зрения изменения молекулярного веса, начиная напр. с 11 км, то тогда нужно внести соответствующую поправку.

Применяя теорию Рэля, можно показать, что количество рассеянного света пропорционально произведению плотности на средний молекулярный вес  $M$  и на фактор  $c^2$ , т. е.

$$Mc^2 \rho,$$

причем  $c = \frac{n-1}{\rho}$  — отношение преломляющей способности воздуха к его плотности — величина, зависящая от длины волны и химического состава. Зная изменение химического состава с высотой, можно вычислить плотность:

$$\rho \propto \frac{1}{Mc^2} e^{-kh}.$$

Имеем для  $Mc^2$ :

	$Mc^2$		$Mc^2$
20 км	1.000	50 км	1.444
30 „	1.023	60 „	2.81
30 „	1.093		

Если принять это во внимание, то для величин, пропорциональных плотности, получаем следующее:

$h$	$\rho$	$h$	$\rho$
20	1.000	50	0.0402
30	0.271	60	0.0114
40	0.102		

Теперь перейду к вопросу о том, как можно учесть рассеяние света высших порядков. Приведенные выше выводы основаны на том предположении, что сумеречные явления производятся лишь в результате рассеяния первого порядка.

Чтобы учесть рассеяние второго порядка и высших порядков, нам нужно было бы построить интегральное уравнение типа Фредгольта, зависящее от трех переменных. Составить его можно, но разрешить — задача явно безнадежная.

Эффект рассеяния высших порядков очень велик. Если влияние его пропорционально эффекту первого порядка, то он не скажется на резуль-

татах, так как мы учитываем лишь градиент сумеречной кривой. Для учета рассеяния света высших порядков будем исходить из того соображения, что оно зависит, главным образом, от наиболее низких слоев воздуха, всего лишь в несколько километров высоты, в то время как эффект первого порядка обуславливается весьма высокими слоями. Можно поэтому предположить, что рассеяние высших порядков будет обусловлено сумеречной дугой совершенно аналогично тому, как яркость небесного свода обуславливается рассеянием солнечного света. Пусть при полной безоблачности наблюдается днем распределение яркости по всему небесному своду в зеленых лучах. Строим соответствующие изофоты. Отсюда можно найти индикатрису рассеяния, т. е. функцию, которая определяет характер рассеяния света преимущественно в нижних слоях: атмосфера со всей пылью, водяными парами и т. д.

Переходим теперь к наблюдению сумеречных явлений. Вычисляем теоретически сумеречную дугу в результате рассеяния первого порядка, а затем рассчитываем, какое влияние каждый элемент такой дуги производит на освещенность всего небесного свода. Предположим, что наблюдения ведутся в двух симметричных точках небесного свода в вертикале солнца — на западе и на востоке. С некоторого момента вторая точка окажется в конусе темной тени, и яркость ее обусловится исключительно рассеянием высших порядков. С другой стороны, указанным приемом можно вычислить отношение эффектов рассеяния второго и высших порядков в тех же точках. В результате яркость неба, наблюдаемая в точке неба к западу от зенита, освобождается от влияния рассеяния высших порядков, после чего можно применить описанный выше прием обработки наблюдений. Определение эффекта рассеяния высших порядков можно вести графически при помощи сеток, построенных в равновеликой проекции, что значительно облегчает работу.



Ю. ЯНИШЕВСКИЙ

## О ТЕХНИКЕ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕТА

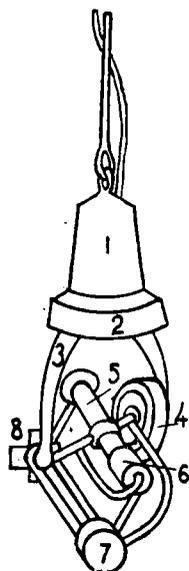
Необходимость производства актинометрических измерений со стратостата заставляет пересмотреть технику этих измерений, производившихся до последнего времени почти исключительно в стационарных условиях. Отсутствием опыта в этом направлении и объясняется главным образом то, что актинометрические измерения в программе наших исследований стратосферы были отнесены на последний план и вовсе не вошли в оборудование наших первых стратостатов. Тем не менее многим уже ясно, что хотя бы такие практические вопросы, как учет нагревания солнцем и охлаждения лучеиспусканием оболочки стратостата и гондолы, важны прежде всего для безопасности самого стратоплавания, не говоря уже о бесчисленных возможностях для разрешения множества научных и технических проблем.

Каковы же те новые условия, к которым должна быть готова аппаратура для работы в стратосфере, и какие условия предъявит к ней стратонавт?

Прежде всего приемники этих приборов не должны подвергаться разрежению атмосферы, или их работа в условиях разрежения должна быть всесторонне изучена. Затем требование независимости чувствительности от температуры, предъявляемое и к наземным установкам, должно быть расширено до того диапазона температур, который мы встречаем в продолжение полета. Особенное внимание приходится обратить на влияние изменений температуры во время подъема и спуска на точность получаемых результатов. С этим связано возможное образование налета на поверхностях приборов, что может понизить прозрачность колб, закрывающих термоэлементы. При неодинаково быстром изменении температуры различных частей приемника могут появиться паразитные токи.

К техническим требованиям, предъявляемым к приемной части, относятся также минимальный вес, отсутствие влияния самого стратостата, а также влияния вращения всей установки вокруг вертикальной оси, кроме тех случаев, когда это вращение используется для непосредственной ориентировки приемника последовательно на различные точки горизонта.

Этим общим условиям удовлетворяют приборы, дающие величину общего потока радиации на горизонтальную поверхность. Такие приборы приходится подвешивать на кардановом подвесе и выносить вниз на несколько десятков метров, что вызывается необходимостью исключить действие самого стратостата.



Фиг. 1. Проект термоэлектрического реле для установки приемника перпендикулярно солнечным лучам. 1 — реле, управляемое токами термобатареи. 2 и 4 — механизмы вращающиеся около вертикальной и горизонтальной оси. 5 и 6 — трубка и батарея приемника солнечной радиации, дающая ток в гондолу по токопроводу. 3, 7 и 8 — батарея, дающая ток при отклонениях приемника от положения, перпендикулярного солнечным лучам.

Прямую солнечную радиацию в этом случае приходится учитывать по ее составляющей на горизонтальную поверхность, измеряя последовательно: то суммарный поток радиации, то одну лишь диффузную, исключая солнечную радиацию горизонтальным кольцевым щитком. Этот метод недостаточно точен и является суррогатом наблюдений прямой радиации на нормальную к лучу поверхность. Последние приходится пока отложить до появления достаточно надежно действующих автоматов, нацеливающих приемник на солнце и поддерживающих это положение с помощью термо или фотоэлектрического реле. Примерное устройство такого реле изображено на фиг. 1 и 2. Возможно, что такое приспособление окажется работоспособным лишь совместно с каким-либо другим стабилизирующим устройством, как, напр., жироскопом.

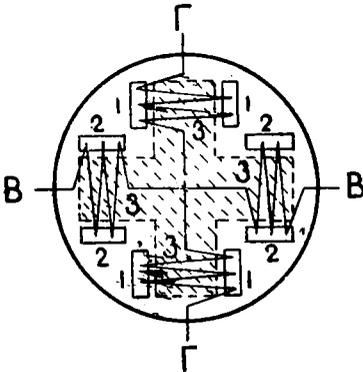
Некоторого внимания требует и внешнее оформление подвешенного прибора. Вся установка должна легко втягиваться в люк гондолы перед приземлением, что ограничивает общий габарит прибора. Особенно придется избегать таких поверхностей, которые при больших вертикальных скоростях ветра могут создать вращательный момент для всего приемника.

Значительные требования приходится предъявить и к измерительным приборам, находящимся в гондоле. От них требуется достаточная точность при нечувствительности к раскачиванию и вращению гондолы. Кроме того, поскольку пуск стратостата является дорогим предприятием, каждый полет имеет обширную программу наблюдений, пилот должен в короткое

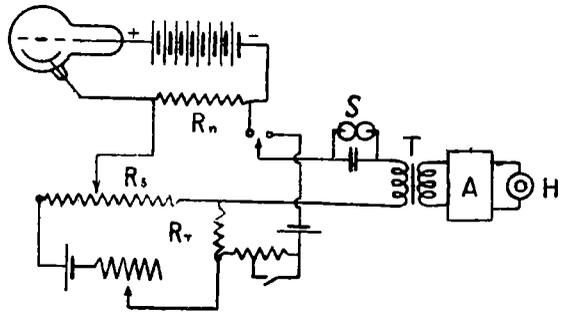
время сделать большое количество отсчетов по разнообразным приборам. Каждый из них должен занять минимум времени. Из имеющихся у нас гальванометров таким условиям удовлетворяют только грубые стрелочные гальванометры на остриях.

Для того, чтобы такой гальванометр мог обеспечить достаточную точность, необходимо выбрать приемник повышенной мощности и с такой низкой инерцией, чтобы все измерение с момента открывания приемника

до отсчета занимало несколько секунд. Мы уже имеем термоэлектрические пиранометры повышенной чувствительности, как, напр., конструкция Бойко. Еще более чувствительна и менее инертна большая батарея Молля, применявшаяся у Birge и Junday. Наконец, довольно чувствительна батарейка конструкции Былова (Институт актинометрии), в которой, как и в батарее Молля, нагреваются непосредственно термоспай. Она меньше подвержена влиянию собственного излучения благодаря применению, как и в пиранометрах Калитина, принципа Ångström'a, т. е. применению черных и магнетальных поверхностей. Подобная же конструкция предложена Voloschin'ым



Фиг. 2. Устройство контрольной батареи. 1—термоэлементы, управляющие горизонтальным движением. 2—тоже для вертикального движения 3—тень от крестообразного экрана.



Фиг. 3. Потенциометр с фоническим нуль-гальванером. Т—прерыватель из двух зубчатых колес вращаемых часовым механизмом и А, Н—усилитель получающихся при компенсировании разностных токов.

(Франция). Расчетом элементов и увеличением приемной поверхности термоэлектродвижущая сила пиранометра может быть доведена до одного-двух десятков милливольт на калорию в минуту<sup>1</sup>. В этом случае, напр., можно уже воспользоваться стрелочным милливольтметром для достаточно точного измерения солнечной радиации и альbedo земной поверхности. Хорошие гальванометры изготовляет завод „Пирометр“.

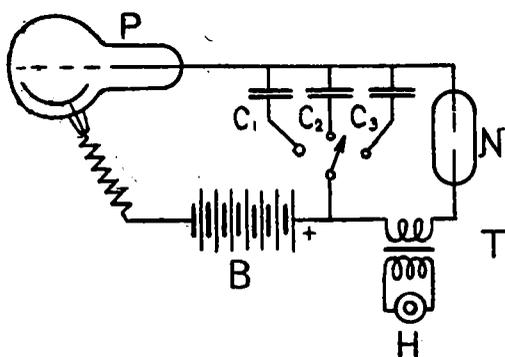
В случае измерений в видимых лучах можно воспользоваться изготовляемыми Оптическим институтом селеновыми фотоэлементами высокой чувствительности. Однако их недостатком остается зависимость от температуры. Более надежны и постоянны в работе вакуумные фотоэлементы с калием или цезием. Однако они требуют более тонкой измерительной аппаратуры.

Из высоко-чувствительных гальванометров в большинстве случаев, повидимому, можно воспользоваться петлевым гальванометром, однако

<sup>1</sup> К моменту напечатания настоящего доклада такие пиранометры уже построены с чувствительностью до  $22 \text{ mV}$  на  $1 \frac{\text{cal}}{\text{min cm}^2}$ .

и у него отсчет изменяется с наклоном прибора; кроме того, таких приборов у нас еще не изготавливают.

Однако даже в самых тяжелых условиях качки можно произвести точное измерение слабого фототока, вовсе не пользуясь гальванометром. Для этого можно применить опыт Gail'я и Atkins'a, применивших в океане метод потенциометра, в котором нуль-указателем служит прерыватель с усилителем и телефоном (фиг.3). Этот прибор дает возможность измерять электродвижущие силы до 10 микровольт. Чувствительность его при измерении фототока зависит от величины сопротивления  $R_n$ . Этот же прибор может быть применен и для измерений с термоэлектрическим приемником. Для



Фиг. 4. Неоновый счетчик,  $N$  — неоновая лампа,  $B$  — батарея в 200 вольт,  $T$  — трансформатор,  $P$  — фотоэлемент.

этой цели потенциометры уже применяются в практике заводской пирометрии. Большую услугу может оказать в полете другой косвенный метод измерения фототока — неоновый счетчик, предложенный, независимо друг от друга, инж. Гуровым (Центральная радио-лаборатория) и Poole'em. В этом приборе фототоком заряжаются конденсаторы ( $C_1$ , фиг.4) до напряжения вспышки неоновой лампы, которая периодически разряжает конденсатор. Частота вспышек в широких пределах пропорциональна освещенности фотоэлемента. Для отсчета можно использовать как непосредственно мерцание лампы, так и слушать щелчки разрядного тока в телефон. Наконец, модулируя этими импульсами передатчик, можно легко соорудить радиозонд, непрерывно подающий сигналы, дающие освещенность на различных высотах.

В настоящем докладе не затронуты актинометры с термометрами сопротивления, не имеющие распространения у нас, а также биметаллические актинометры Михельсона, применявшиеся уже в полетах и у нас и за границей, но требующие открытой гондолы в том оформлении, в котором они сейчас выпускаются.

Из других методов измерений, пригодных для использования в полете, можно указать на фотографическую фотометрию, обладающую рядом преимуществ. Так, например, одна из важных задач — изучение распределения яркости по небесному своду — весьма удобно решается применением камеры с углом зрения  $180^\circ$ .

Для нее остается лишь изучить закон убывания яркости на краях поля. Однако присущая фотографическим методам пониженная точность и зависимость от однородности фотоматериалов заставляет относиться к этому методу с осторожностью.

Возможно, что некоторые трудности, предусматриваемые выше, могут оказаться нереальными и не оправдаются условиями полета. Это вполне возможно в виду полного отсутствия опыта и скудости литературных данных. Однако приборы, удовлетворяющие более жестким условиям, создадут излишнюю гарантию надежности, а усовершенствование измерительной техники само по себе ценно, так как дает толчок развитию новых отраслей актинометрии, как, например, подводной фотометрии.

---

#### ЛИТЕРАТУРА.

- Atkins and Poole, H. H. A preliminary comparison of the neon lamp and potentiometer methods of submarine photoelectric photometry. Journ. Marine Biol. Ass. Plymouth, 17, 1931.
- Birge E. A. and Juday, C. Transmission of solar radiation by the waters of inland lakes. Fourth report. Trans. Wisc. Ac. Sc. Madison, 127, 1932.
- Poole J. H. J. and Poole H. H. The neon discharge tube photometer. Photo-electric cells and their applications. Physical and Opt. Soc. Discussion, June 4 and 5, London, 1930.
-



В. И. СЕМЕНОВ

## АЭРОФОТОСЪЕМКА ИЗ СТРАТОСФЕРЫ

### ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Завоевание стратосферы открывает перед человечеством неисчислимые возможности таких огромных научных и технических достижений, как, например, овладение тайной космических лучей и разложение атома. Эти достижения произведут колоссальный переворот во всех областях нашей жизни, перед которой, благодаря этому, открывается совершенно новая эра.

Вместе с тем уже для настоящего момента, почти для сегодняшнего дня, освоение стратосферы представляет собою событие колоссальной важности в самом утилитарном и осязаемом направлениях, в области суперавиации, обещающей огромные скорости передвижения и стратофото-съемки с почти беспредельной съёмочной мощностью.

Стратофото-съемка или аэрофото-съемка из стратосферы непосредственно связана с развитием суперавиации и, однако, она способна опередить ее и вступить в сферу применения как для мирных, так и для стратегических целей почти немедленно, не ожидая появления и освоения стратопланов, т. е. сверхвысотных самолетов, хотя, конечно, именно с их помощью она сможет достигнуть максимальной стадии своего развития. Это положение связано с тем обстоятельством, что вопрос о стратофото-съемке назрел до самой острой степени уже в данную минуту и для его немедленной реализации позволительно применить любой из способов, допускающих проникновение аэрофотоаппаратов в стратосферу, хотя бы и со значительно меньшим комфортом, чем на стратоплане.

Стратофото-съемка, применяемая для целей составления планов, имеет то огромное преимущество перед нормальной аэрофото-съемкой, что площадь, захватываемая за одну экспозицию, будучи пропорциональна квадрату высоты полета, при переходе от средней нормальной высоты 2000 м к высоте порядка 20 тыс. м вырастает в 100 раз и таким путем сводит до совершенного минимума необходимые геодезические работы для составления опорной сети. При этом, даже в случае применения камер с нормальным углом зрения, захватываемая площадь на один снимок приобретает порядок  $0.64 H^2$ , т. е. около 200 км<sup>2</sup> или квадрат

со стороны около 50 км, в который свободно вписываются треугольники основной картографической сети I класса триангуляции, являющиеся непременным началом и условием для любого вида картографических работ. При применении камер широкоугольных величина захватываемой площади вырастает еще более, так как при угле зрения порядка  $112^\circ$  за одну экспозицию фиксируется круг, диаметром равный тройной высоте полета, что при  $H=20$  км составит площадь порядка  $2700 \text{ км}^2$  за одну экспозицию. Правда, в этом случае имеется большая потеря на масштабе, так как фокус аэрокамеры нормального типа, порядка 20 см, даст масштаб 1:100 000 с высоты 20 км, что при разрешающей силе эмульсии — 20 линий на 1 мм позволит различать в указанном масштабе объекты с линейными размерами не ниже 5 м, что следует принять во внимание при производстве маркировки триангуляционных сигналов, назначаемых в качестве опознавательных и опорных знаков для стратофотоснимков. Последующее 4-кратное увеличение таких снимков даст нам масштаб 1:25 000, по которому уже возможны гражданские проектировочные работы. Для осуществления такой задачи, видимо, придется повысить требования к фотоэмульсии и ее разрешающей силе, что составляет целую проблему фотохимического порядка, но вполне достижимо технически.

Нормальное двукратное увеличение даст весьма ценный материал в масштабе 1:50 000, а применение длиннофокусных камер и особых мультиплицирующих систем, позволит разрешить задачу о получении материалов порядка масштаба 1:100 000 — 1:5000, что имеет особое значение для военных и иных дешифровочных целей. Отметим заранее, что в случае обработки весьма больших площадей, заснятых за одну экспозицию при введении материала в масштаб, может встретиться необходимость, кроме обычных элементов коррекции геодезического порядка, учесть при трансформировании поправку на сферичность земли, которую не знает нормальная аэрофотосъемка. Также необходимо учесть поправку за рефракцию в атмосфере.

В этом случае огромную пользу может дать целесообразное использование дисторсии, закон которой может быть подобран соответствующим порядком в зависимости от высоты полета и радиуса захвата различных точек снимаемого объекта.

Таким образом, на применение дисторсии при стратофотосъемке, кроме особых соображений чисто съемочного порядка, приводимых особо в разделе съемочной аппаратуры, наталкивает сама форма геоида и неизбежное столкновение техники в вопросе съемки из стратосферы с элементами поправки за сферичность земной поверхности.

#### СТРАТОФОТОСЪЕМКА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА

Стратофотограмма или аэроснимок из стратосферы, кроме непосредственного использования в качестве планового материала, может быть применена следующим порядком:

а) по стратофотограмме, приведенной в точный масштаб, можно исполнить набор опорных точек, иными словами, „сгущение геодезической сети“ для имеющейся, ранее исполненной, аэрофотосъемки, контакты которой можно отождествить с стратофотограммой, по которой представится возможным собрать масштабный опорный материал для каждого контакта нормальной съемки. Таким образом могут быть составлены фотосхемы, фотокатры, и даже, фотопланы пониженной точности;

б) стратофотограмма может быть использована в качестве лётной карты для района, подлежащего нормальной крупномасштабной аэрофотосъемке. Для огромных пространств нашего Союза, не имеющих никаких плановых и картографических материалов, использование стратофотограммы в этом направлении может дать исключительные преимущества и весьма повысить работу производства лётно-съёмочных маршрутов и составление наглядного монтажа с разбивкой такового на планшеты и трапеции.

Таким образом, еще до момента окончательного освоения стратофотосъемки, как элемента самодовлеющей ценности, который в порядке растущего прогресса съёмочных возможностей несомненно позволит овладеть техникой не только мелкого масштаба, но также и среднего и крупного при производстве съемки с очень больших высот, в порядке внедрения стратофотосъемки в производство, целиком освоившее аэрофотосъемку, является возможным чрезвычайно повысить темпы и качество аэро-съёмочных работ с помощью стратофотограмм, дающих обзорный материал, используемый как лётная карта и точный материал, как средство сгущения опорной геодезической сети. В этом виде совершенно очевидна эффективность применения стратофотосъемки во всех отраслях народного хозяйства.

#### ВИДЫ СТРАТОФОТОСЪЕМКИ

По способам производства стратофотосъемка может быть подразделена на следующие виды:

1. Автоматическая стратофотосъемка с шаров-зондов и ракет. Этот род стратофотосъемки наиболее простой в осуществлении, но и наименее совершенный, исполняется автоматическими камерами, работающими обычно от часового механизма, рассчитанного на ряд отдельных идентичных фаз работы, повторяющихся при последовательном производстве нескольких снимков, одного за другим, причем автомат воздействует на затвор и на механизм, сменяющий съёмочный светочувствительный материал после каждой экспозиции. Такой механизм обычно контролируется самопишущим прибором, регистрирующим высоту полета, и может даже получать от него рабочие импульсы при прохождении снаряда через заранее заданные элементы высоты. Стратофотоаппарат при этом находится в агрегате с целым рядом других автоматических приборов, регистрирующих высоту полета, давление воздуха, температуру, влажность и даже степень насыщенности данной зоны потоком космических лучей, а также состав воз-

духа в отношении присутствия в нем различных газов. Такой агрегат-прибор работает без участия наблюдателя, и одним из основных требований, предъявляемых к нему, является минимальный вес системы. Положительная сторона этого вида стратофотосъемки, с шаров-зондов или ракет, заключается в возможности достижения чрезвычайно больших высот порядка 40—70 км. Однако, это преимущество является единственным и едва ли полностью искупает целый ряд связанных с этим недостатков. К последним относится прежде всего сравнительная неопределенность возможных объектов съемки, так как о направлении воздушных течений, которые неизбежно будут относить летательный прибор от места старта, можно судить только весьма приближенно.

Далее совершенно не исключен риск неудачного старта для посадки, даже при самой хорошей конструкции парашютной части, которая является неотъемлемой в данной системе и должна осторожно спустить ее на землю после потери зондом подъемной силы.

Наконец, весьма тяжелыми являются условия работы приборов, непосредственно находящихся в стратосфере без защиты гондолы, от применения которой в этом случае приходится отказываться по соображениям веса.

В виду изложенного возникает опасность замерзаемости и запотеваемости оптики, а также возможная деюстировка оптической системы от влияния неравномерной термической реакции металлических оправ и оптического стекла в капризных и хрупких объективах подобной системы.

Сюда же относится возможное расстройство механической части, потеря упругости пружин, возникновение люфтов и др., а также возможное отрицательное действие космических лучей на электрические схемы автоматов.

2. Стратофотосъемка из кабины стратостатов. Исполняется наблюдателем, чем обуславливается точный выбор желаемого объекта для производства съемки, а также создается гарантия сохранности прибора при спуске на землю и отсутствия вредного влияния термических и других факторов на работу оптики и механики.

Вместе с тем повышается качество фотоснимков, так как наблюдатель может точно учесть индивидуальные условия съемки и подобрать для данного объекта и данного освещения наиболее подходящую экспозицию и фильтр.

Высота полета, однако, на ближайшее время может быть определена в пределах не выше 20—25 км. Кроме того стратостат, в сущности, имеет почти столь же неопределенную заранее траекторию полета, как и шар-зонд, и потому в этих условиях возможна постановка лишь эпизодических, а не систематических работ, которыми этим путем не обеспечивается строго заданный объект съемки. Однако в обоих этих случаях следует отметить то положительное качество, что горизонтальная скорость перемещения летательного прибора здесь очевидно весьма невелика, а потому для производства фотосъемки является возможным применить весьма удлиненные

экспозиции порядка  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{15}$  и даже 0.5 секунд, что позволяет применить фотографический материал несколько пониженной светочувствительности, но более мелкозернистый, и таким образом получить большую разрешающую силу изображения. Вместе с тем явится возможным произвести большую степень светофильтрации, т. е. всемерно повысить борьбу с главным врагом стратофотосъемки — дымкой.

### СТРАТОФОТОСЪЕМКА СО СТРАТОПЛАНА

Этот вид стратофотосъемки в соответствии с современным состоянием техники позволяет предполагать возможным его осуществление в ближайшее время в пределах двух-трех лет с высоты порядка 25—30 км, и в далеких перспективах этого дела предвидится достижение высот порядка 40—50 км.

Этому наиболее совершенному способу отвечает полная свобода выбора объекта съемки и только с помощью этого приема можно будет поставить производство маршрутной и площадной стратофотосъемки, т. е. получить материал не только эпизодический, контурный, но и систематический высотно-воздушный. Таким образом, в сравнительно близких перспективах стратофотосъемка позволит разрешить проблему массового охвата неизведанных площадей плановыми материалами и даже построить на их основаниях обобщенный рельеф местности.

По данным режима полета в стратосфере скорости на высоте 20 км предполагаются порядка 1000 км в час и выше, причем для стратофотосъемки вполне естественно взять нижний предел, который соответствует 270 м в секунду. Если мы учтем допустимый сдвиг изображения, обусловливаемый производством съемки с движущегося тела, причем допустим сдвиг не выше разрешающей способности эмульсии — 20 линий на 1 мм, то при фокусе аэрокамеры 200 мм и высоте полета 20 км мы получим величину допустимой экспозиции по формуле:

$$t = \frac{\Delta \cdot H}{v \cdot f} = \frac{1}{20} \cdot \frac{20000}{270 \cdot 200},$$

что соответствует  $\frac{1}{50}$  сек. При более коротком фокусе и при больших высотах экспозицию можно будет даже увеличивать. Полученная величина экспозиции является вполне приемлемой, хотя, конечно, она недопустима той степени фильтрации, какую можно было применить в первых двух типах работы. Если стратофотосъемка будет производиться с нормальным углом зрения, при котором ширина снимаемой полосы равна  $0.8H$ , то интервал между снимками при максимальном перекрытии, допускающем последующую высотную обработку материалов —  $60\%$ , будет равен  $0.4 \times 0.8H = 0.32H$ , что для высоты 20 км составит 6.4 км и даст базу между двумя последовательными экспозициями всего лишь 24 сек. или около  $\frac{1}{2}$  мин. Этого времени достаточно для производства смены съемочного материала и подготовки аппарата к следующей экспозиции, но, однако, весьма желательно удлинить означенный период, вследствие чего естественно приме-

нить для стратофотосъемки, как правило, широкоугольную оптику, при которой базис между снимками как линейно, так и в смысле времени может возрасти в 4 раза, что является крайне существенным с точки зрения механизации означенного дела.

#### СПЕЦИАЛЬНАЯ ФОТОСЪЕМОЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ СТРАТОФОТОСЪЕМКИ

Основным требованием, предъявляемым к специальной фотосъемочной аппаратуре для стратофотосъемки, кроме возможно большего угла зрения при возможно максимальном фокусе аппарата и его светосиле, является требование минимального веса конструкции, что особенно важно в отношении первых двух типов стратофотосъемки — шаров-зондов и из кабины стратостата. Здесь, естественно, намечаются два типа приборов — аппараты для мелкомасштабной съемки с максимальным захватом площади и аппараты для крупномасштабных работ, при пониженных требованиях к емкости снимаемой за одну экспозицию площади.

Как в первом, так и во втором случае особо целесообразным явится разделение процесса фотосъемки с отнесением к той части, которая совершается в полете элементов, требующих минимального габарита и веса для своего осуществления, хотя бы за счет усложнения и утяжеления аппаратуры, которая на земле должна восполнять начатый в воздухе процесс.

Сюда относится для мелкомасштабных работ производство дисторсированной фотосъемки, при которой широкий пучок лучей, идущих от снимаемых объектов после преломления в дистортере, становится узким и в таком виде воспринимается нормальным объективом на фотограмму малого формата. Именно этот принцип, предложенный проф. Чуриловским, применен в аэрокамере ШК, спроектированной и построенной Научно-исследовательским институтом аэрофотосъемки и пересчитываемой в настоящее время на более длинный фокус. Дисторсированный снимок в дальнейшем подвергается на земле развертке с помощью антидистортера на специальном ортотрансформаторе, который уже имеет значительный габарит, в то время как сама камера имеет в диаметре 150 мм, по высоте 180 мм, весит менее 3 кг и захватывает ширину полосы, равную 3 Н, обуславливаемую углом зрения  $112^{\circ}30'$ . Дисторсирующая камера, кроме минимального габаритного веса, обладает еще тем ценным свойством, что сгущенный законом дисторсии к краю изображения лучевой поток компенсирует естественную потерю освещенности для крайних лучей пучка и таким образом создает полную равноосвещенность фотоизображения, недостижимую никаким иным широкоугольным объективом, создающим обычно большую потерю освещенности на краях. Кроме того при соответствующем подборе законов дисторсии, как в процессе съемки, так и при развертке можно ввести коррективу за сферичность земной поверхности и рефракцию атмосферы.

Для производства крупномасштабной фотосъемки крупный масштаб можно получить за счет камер с весьма длинными фокусами, причем для съемки из стратоплана, где вопрос веса конструкции стоит менее остро, возможно применение весьма длиннофокусных систем с фокусами порядка нескольких метров, причем не исключена возможность использования рефлекторов и катадиоптрических систем, т. е. оптических систем, скомбинированных из линз и сферических зеркал.

Такие системы в настоящее время проектируются и рассчитываются в ВООМП проф. Чуриловским и обещают дать светосильные агрегаты порядка  $f:D=5$ . Не исключена возможность создания стратоплана-фотоаппарата, в котором сам корпус фюзеляжа является фотоконусом, а стенка кабины, перпендикулярная к оси машины, — огромной кассетой фотоаппарата. Однако такие работы могут быть поставлены только для очень специальных целей и на специальном фотоматериале весьма крупных форматов, а потому могут быть отнесены к проектам достаточно далекого будущего. К этой категории могут быть отнесены специальные оптические системы типа высокосветосильных телеобъективов, у которых передняя узловая точка вынесена далеко вперед по линии оптической оси. Такой объектив может иметь фокус гораздо более длинный, чем размер аэрокамеры. Этим можно весьма выиграть на габарите и весе конструкции, хотя размер оптики по диаметру для сохранения большой светосилы естественно останется весьма значительным. Также большим габаритом будет обладать кассета аппарата, и, таким образом, вся система будет довольно тяжелой. Естественно, поэтому, возникает идея получения крупного масштаба за счет всемерного последующего увеличения стратофотограмм на земных увеличительных установках, причем особое значение приобретает вопрос сверхувеличения кратности порядка 100 и более.

#### ФОТОМАТЕРИАЛЫ И СВЕТОФИЛЬТРЫ ДЛЯ СТРАТОФОТОСЪЕМКИ

Стратофотосъемка так же, как и аэросъемка, но в несравненно большей степени страдает от дымки, причем при производстве стратофотосъемки может встречаться также задача фотографирования через весьма высокие полупрозрачные перистые облака. Отказ от съемки при дымке для стратосъемки почти равносильна, вообще, отказу от ее постановки, так как с высоты 20 и более км не встретить дымки почти совершенно невозможно. Экспозиции, допустимые при производстве работ со стратопланов, получаются порядка  $\frac{1}{50}$  сек.; для других видов съемки эта величина экспозиции может быть весьма увеличена. В этих условиях естественно применить крайнюю степень фильтрации и производить работу на лучах длинноволновой части спектра, легко пронзающих дымку — в красном и инфракрасном потоке. Таким образом, перед фотохимией становится вопрос о всемерном повышении светочувствительности фотоматериалов к красным и инфракрасным лучам с одновременным достижением максимальной разрешаю-

щей способности эмульсии, которая обязана приближаться к разрешающей способности оптики и, во всяком случае, не должна портить ее. Быть может в этом направлении будет уместна постановка задачи о создании нового типа светочувствительного вещества и об отходе от бромистого серебра, в настоящее время господствующего в фотографии. Не менее, чем вопрос эмульсии, актуален вопрос о светофильтрах. В этом отношении следует подвергнуть самой суровой критике существующие светофильтры не в отношении их поглощающей способности, а по линии их вредного воздействия на отражение и рассеяние света. Особо вредными являются светофильтры, представляющие собою цветную желатиновую пленку, заключенную между двумя план-параллельными стеклами. В таком фильтре 4 отражающие поверхности. Лучи широкоугольного пучка, подходя к нему, четыре раза подвергаются сильному отражению на краях и этим резко снижают освещенность фотограммы. Светофильтры, состоящие из сплошного цветного стекла, окрашенного в массу, в этом отношении несравненно лучше, но и они имеют две грани отражения. В виду этого совершенно естественным и актуальным становится вопрос о полном отказе от светофильтров, помещаемых перед оптикой, коррекцию которой они, кстати сказать, портят. Задача должна быть решена с помощью опять-таки фотоэмульсий со светофильтром в слое, иными словами: должна быть создана эмульсия попросту нечувствительная к тем лучам, которые должны быть исключены, поскольку они находятся в дымке.

Изложенными положениями только в самом общем порядке охватываются задачи, разрешение которых неизбежно встает в порядке освоения вопроса стратофотосъемки. Получается огромный комплекс проблем, частично уже решенных, но частично еще разрешаемых, и, однако, при всей трудности поставленной задачи огромные горизонты, открываемые стратосъемкой, стоят этого труда.

Г. В. КРУПЕНСКИЙ

## ФОТОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРАТОФОТОСЪЕМКИ

В настоящее время, когда область практического применения и использования фотографии становится все шире и шире, когда предлагаемые ей на разрешение задачи отличаются чрезвычайным разнообразием и многосторонностью, — едва ли уместно ставить вопрос о каком-то универсальном, годном для всех случаев, фотографическом материале. В лучшем случае можно говорить лишь о некотором, большем или меньшем количестве типичных сортов, которые соответствовали бы обычным установленным нормальным требованиям. Совершенно очевидно, что эти сорта заведомо не смогут полностью удовлетворить все могущие возникнуть и фактически на каждом шагу возникающие отдельные запросы. Это тем более справедливо, чем специфичнее эти последние.

От некогда единой фотографии с течением времени выделились и обособились кинематография и, частично, аэрофотография. И та и другая предъявили фотохимической промышленности определенные требования к обеспечению их специальными, наиболее отвечающими поставленным перед ними задачами, фотографическими материалами. Можно считать, что в основном эти требования выполнены в виде выпущенной на рынок киноплёнки и аэроплёнки.

Если в настоящее время, быть может, и рано говорить о специальном материале для стратофотосъемки, то несомненно, что с развитием ее перед промышленностью конкретно будет поставлен и разрешен ею вопрос о специальных фотографических материалах. К этому надо готовиться; и именно в настоящем докладе имеется в виду подойти, хотя бы в первом приближении, к этому весьма существенному вопросу.

Предъявить конкретные требования, с одной стороны, легко, но трудно — с другой. Легко, если не считаться с реальными возможностями производства и техники, трудно, если учитывать их. В данном случае главная трудность заключается в том, что мы еще не можем и не умеем полностью учитывать целого ряда важнейших факторов, влияющих на фотосъемку из стратосферы и потому предрешающих собой те поневоле минимальные требования, коим должен удовлетворять материал.

Выделяя из общего комплекса вопросов, связанных со стратофотосъемкой, фотографический материал, следует остерегаться очень крупной

ошибки, к сожалению, часто имеющей место и приводящей к весьма нежелательным результатам. Следует остерегаться рассматриваемое звено считать основным, самодовлеющим и тем самым не считаться с его положением в общей цепи рассматриваемых вопросов. Обычно самым важным является то, что хуже всего; поэтому все звенья должны обладать одинаковой крепостью и во всяком случае рассматриваться в их взаимной связи. Не отдельное звено каната поднимает якорь, а все звенья в целом.

Фотоматериал в условиях стратосъемки является столь же существенным и важным фактором, как и ряд других; рассматривая его, по необходимости надлежит увязывать его с общими задачами стратосъемки как таковой. Основная же техническая задача стратофотосъемки, понимаемой здесь в узком смысле, заключается в получении стратоснимка, т. е. фотографического воспроизведения некоторого участка земной поверхности, снятого со стратосферы.

Здесь, может быть, интересно отметить то обстоятельство, что, говоря о стратофотосъемке, мы на этот, по существу совершенно новый вид съемки, распространяем, может быть, уже старые традиционные понятия, экстраполируя те данные, которыми в настоящий момент мы располагаем. Мы исходим из того справедливого, может быть, для данного этапа соображения, что пути развития стратофотосъемки совпадают с тем направлением, в каком развивается аэрофотосъемка.

Весьма возможно, что стратофотография будет весьма отличаться от аэрофотографии так же, как последняя отличается от наземной; вероятно, что стратоснимок будет иметь мало общего с нашим теперешним представлением об аэроснимке; возможно, что стратопозитив будущего будет чем-то совершенно специфическим. Однако, удерживая полет фантазии, которая легко может оторвать нас от земли, приходится оперировать с теми данными, которые находятся в нашем распоряжении.

Помимо всего прочего, с фотографической точки зрения, тот или иной результат стратоснимка обусловлен двоякого рода факторами: внешними, от нас независимыми, и внутренними — лишь до известной степени, условно, доступными нашему прямому или косвенному воздействию.

К числу первых относятся характерные и специфические особенности объекта съемки — его размеры, конфигурация, спектрофотометрические свойства и т. д., с одной стороны, и физические, оптические, метеорологические и спектрофотометрические особенности той мутной среды, которая охватывается на данной высоте углом зрения съемочного объектива, — с другой.

Совершенно очевидно, что ни тех, ни других мы изменить никак не можем; единственное, — и это максимум того, что нам доступно, — это научиться учитывать их.

К числу вторых факторов, которые в большей или меньшей степени зависят от нас, следует отнести фотоматериалы, условия их эксплуатации и методику обработки, понимая под последней всю стадию процессов,

в конечном результате приводящих к получению того или иного фотографического воспроизведения объекта.

Решающее значение имеют внешние факторы, как определяющие собой специфичность съемки с больших высот. Хотя подробный анализ их и не входит в рамки настоящего доклада, однако, принимая во внимание огромное значение их, нельзя обойти их молчанием. Это тем более, что они именно и определяют собой в очень значительной мере основания выбора того или иного фотоматериала.

Начнем с того, что обычное понятие „объекта съемки“ в стратосъемке должно быть несколько видоизменено на основании следующих простых соображений. Уже в аэрофотосъемке, строго говоря, понятие объекта несколько отличается от обычного его понимания в условиях земной съемки. На аэроснимке, который, в зависимости от съемочного масштаба, покрывает более или менее значительную площадь, мы имеем дело не с отдельными объектами, а с целой совокупностью их, рассматриваемой как нечто единое.

Таким образом, можно говорить о ситуации или аэроландшафте, характеризующих собой совокупность однородных предметов. Чем меньше масштаб съемки, чем большую поверхность охватывает снимок, тем менее точным становится термин „объект“, теряя свой первоначальный смысл. Мы можем привести числовой пример. Снимая с высоты 2000 м с объективом с фокусным расстоянием в 200 мм, на снимке  $18 \times 18$  см захватывается площадь в  $3.24 \text{ км}^2$ . Снимая с высоты 20000 м с таким же объективом, на снимке  $18 \times 18$  см изобразится площадь в  $324 \text{ км}^2$ .

Очевидно, что в этом случае подходить к „объекту“ следует с совершенно иными мерками, чем в случае аэрофотографии. Вероятно было бы уместно заменить этот термин другим, хотя бы, например, термином „ландшафт“ в самом широком смысле.

Все это имеет не только формальное значение, но и значение по существу, которое выражается в том, что методы оценки такого ландшафта — вида земли со стратостата, то с точки зрения фотографической должны быть иные, чем методы оценки аэросъемочного объекта. Далее, если в аэроснимке представляется возможным точно знать, с каким объектом съемки придется иметь дело, то в стратосъемке, по крайней мере в настоящее время, когда летательный снаряд не может еще быть направляем по нашему усмотрению, нельзя говорить о выборе объекта; снимается та часть территории, которая находится непосредственно под аппаратом.

Для вопросов фотографии учет тех или иных особенностей объекта имеет существенное значение. Важно уметь в той или иной степени учитывать его характер, контрастность, распределение яркости, спектральные коэффициенты отражений отдельных участков снимаемой поверхности, что даст возможность объективно подойти к вопросу о фотографическом выделении нужных контрастов в нужном направлении, освещенность данной

территории в момент съемки и т. д. Не останавливаясь на этом, укажем на то, что изучать все эти особенности очень трудно, так как это нужно делать с воздуха в вертикальном направлении. Только в этом случае полученные данные будут надежны, как полученные в условиях, близких к действительности.

Как известно, при съемке с воздуха, охватываемую углом зрения объектива средю отнюдь нельзя рассматривать как оптически пустую и индифферентную. Целый ряд весьма сложных явлений, происходящих в ней, те или иные свойства ее — в итоге оказывают значительное влияние на конечный результат.

В первую очередь мы имеем дело с облачностью, которая скажется еще в большей степени, нежели в аэрофотосъемке, хотя бы потому, что стратостат всегда будет находиться над облаками, в то время как самолет может работать и под ними. Таким образом, облака еще в большей степени будут препятствовать стратофотосъемке, и если в условиях аэрофотосъемки безоблачные дни являются редкими, то в условиях стратофотосъемки они будут фактически исключительными. То же самое можно сказать и относительно других метеорологических образований.

Отсюда вывод, что с этими факторами стратофотосъемка должна будет считаться в еще большей мере, чем аэрофотосъемка, и поэтому вопрос о методе борьбы с ними становится весьма актуальным.

Запыленность воздуха механическими частицами, вызывающими, с одной стороны, понижение общей прозрачности и, с другой — рассеяние лучистой энергии в связи с одновременным ее рассеянием молекулами воздуха, образует так называемую дымку (молекулярную и пылевую), являющуюся основным врагом и препятствием для фотографирования с больших высот и на большие расстояния.

Фотографически эффект дымки сказывается в том, что она создает дополнительную яркость, которая, накладываясь на создаваемое объективом оптическое изображение, понижает и без того слабые контрасты. На снимке дымка выражается в виде более или менее густой вуали, делающей снимок подчас совершенно негодным. Хотя и трудно в точности указать, каково будет влияние дымки при съемках с очень больших высот, однако имеемые в нашем распоряжении данные позволяют сказать следующее.

Коэффициент задымленности  $\sigma$ , понимаемый как отношение яркости дымки  $\Theta$  к яркости ландшафта, наблюдаемого сквозь дымку ( $B_0 T$ ), растет по мере увеличения высоты. В визуальных лучах имеем следующее теоретическое значение  $\sigma$  (Фаас).

$H$ км 0	$\sigma = 0.0$	$H$ км 16	$\sigma = 1.9$
4	0.5	20	2.1
8	1.0	$\infty$ порядка	2.3
12	1.5		

В первых километрах подъема  $\sigma$  растет почти прямо пропорционально  $H$ , при  $H=12$ , рост  $\sigma$  замедляется, асимптотически приближаясь к своему пределу 2.3 (в виз. луч.).

В мою задачу не входит детальный анализ всех тех сложных и важных с фотографической точки зрения явлений, которые происходят в атмосфере, этой своего рода мутной среде. Констатируя их, важно отметить, что создаваемые атмосферной массой условия крайне затрудняют производство фотографирования. Совершенно естественно, поэтому, ставить вопрос об изыскании практических методов борьбы с этими условиями. Казалось бы, однако, что этому должно предшествовать детальное и углубленное исследование и изучение природы указанных явлений, ибо лишь на основе этого имеет реальный смысл ставить вопрос об изыскании методов борьбы с ними. Это тем более основательно, что мы имеем по сути дела большую самодовлеющую проблему, проблему изучения атмосферы как среды мутной. Пристегивать ее как придаток к другим вопросам, рассматривать ее как частный случай, возникающий при разработке другого вопроса, едва ли правильно.

Все это, вместе взятое, указывает на то, что в отношении внешних факторов единственное, что мы должны, а следовательно можем сделать — это изучить природу их. Правда, это не даст нам возможности управлять ими, но зато позволит сознательно подходить к ним и количественно выражать их, чего в настоящее время мы не умеем.

Повторяем: не может быть речи об организованной борьбе с этими внешними факторами без детального их изучения. Приходится констатировать, что в настоящее время наша борьба с ними носит несколько партизанский характер.

Кроме этих факторов, названных мной независимыми, имеется и ряд других, которыми в той или иной степени мы можем управлять. В первую очередь сюда следует отнести фотоматериал. До некоторой степени, в известных рамках, мы можем выбирать тот или иной сорт его, однако наш выбор не может быть вполне произвольным, он диктуется специфической обстановкой и условиями стратофотосъемки.

Как уже указывалось, вопрос о фотоматериале нельзя ставить изолированно, он должен быть связан с целым рядом других моментов. Говоря о фотоматериале, нельзя не учитывать условий его эксплуатации, которые, также как и внешние факторы, в значительной мере определяют свойства, требуемые от фотоматериала. Для примера можно указать на то, что в условиях стратофотосъемки необходимо пользоваться малыми выдержками, что, очевидно, влечет требование к повышенной чувствительности. Кроме того, необходимо считаться с тем, что всегда, по крайней мере на первых порах, придется работать с фильтром, свойства которого определяются атмосферными условиями и который является пока единственным средством элиминировать вредное влияние дымки и иных атмосферных образований. Применение такого светофильтра са-

мым непосредственным образом влияет на выбор требуемого материала, определяя собой область спектральной чувствительности эмульсии.

Далее нам известно, что фотографический материал будет использован при низких температурах; это обстоятельство, конечно, должно быть учитываемо, и влияние температуры на чувствительность и прочие свойства материала должны быть подвергнуты исследованиям. Здесь можно отметить, что по имеющимся данным, к которым, правда, следует подходить несколько критически, низкие температуры вредного влияния на чувствительность (в смысле ее понижения) не оказывают. Наоборот, есть указания на то, что при низких температурах, в известных пределах, чувствительность как будто повышается. Таким образом, с этим фактором можно, впредь до его более детального изучения, не считаться.

Как будут действовать на эмульсию космические лучи — сказать трудно, возможно, что придется с ними считаться, хотя бы в смысле соответствующей защиты от них материала. В этом отношении, разумеется, необходимы опытные данные.

На основе всех высказанных общих соображений перехожу теперь к вопросу, имеющему непосредственное и прямое отношение к теме доклада, к вопросу о том, какими в настоящий момент должны быть фотоматериалы, предназначенные для целей стратофотосъемки. Как усматривается из всего сказанного ранее, эти требования, вытекающая из имеемых в виду конечных результатов, предопределяются рядом внешних факторов и условиями, в каких происходит стратофотосъемка. Необходимо заметить, что здесь вовсе не имеется в виду установление того, что носит название технических требований; задача в том, чтобы осветить принципиальные стороны вопроса и выявить, может быть в несколько общем виде, те существенные качественные характеристики, которые должны учитываться как наиболее существенные.

Как известно, яркости объекта съемки фотографически воспроизводятся в виде оптических плотностей; если отношение яркостей отдельных участков фотографического изображения будет равно отношению визуальных яркостей соответствующих частей объекта, то тогда имеет место правильная фотографическая передача.

Четкость снимка (я сознательно ввожу этот несколько необычный термин), которая характеризует силу создаваемого им психофизиологического действия, зависит от степени его контрастности, термина, к сожалению, далеко не однозначно понимаемого. Визуальный эффект, создаваемый каким-либо объектом, по силе характеризуется контрастом этого объекта. Если мы имеем объект с незначительным контрастом, то, при правильной репродукции его, на позитиве получим также незначительные контрасты, иными словами, снимок будет нечетким, слабым. Если мы хотим получить сильный, контрастный, четкий снимок с объекта, обладающего малыми контрастами, то наш фотоматериал должен искажать контрасты, иными словами, малые различия в яркостях должны передаваться фотома-

териалом в виде больших разностей в плотностях (большой контраст репродукции).

Понятно почему аэрофотосъемка стремится к искажению контрастов объекта в сторону его увеличения; дело в том, что контраст земной поверхности, при рассматривании ее сверху, без дымки незначителен, в среднем составляя 1:7.

В условиях стратофотосъемки мы будем иметь дело с контрастами, вероятно, еще меньшими, так что, применяя обычный фотоматериал, мы получили бы снимок заведомо неудовлетворительный.

Следующие числовые данные характеризуют снижение коэффициента наблюдаемой контрастности с ростом высоты:

$H=0$	$\sigma=7$	$H=16$	$\sigma=1.7$
4	3	20	1.64
8	2.2	∞	1.59
12	1.9		

Уместно отметить, что видимость теряется для глаза, когда коэффициент наблюдаемой контрастности равен или меньше 1.02. Таким образом, первое и основное требование к фотоматериалу — это способность его искаженно, преувеличенно передавать контрасты.

Контрастность фотографического материала сенситометрически выражается „гаммой“, т. е. тангенсом угла наклона продолженной прямолинейной части характеристической кривой. Гамма, таким образом, характеризует собой зависимость между приращением плотностей и соответствующих экспозиций. При правильной фотографической репродукции гамма будет равна единице, т. е. приращение плотностей будет равно приращению  $\lg E$ . При искаженной передаче гамма будет в большей или меньшей степени отличаться от 1. Если для обычного аэронегативного материала гамма составляет примерно 2, то такое значение ее должно быть признано минимальным, хотя желательно и большее значение ее. Почему гамме нельзя придавать любые значения, следует из того, что мы имеем два противоречивых требования, а именно высокие контраст и чувствительность.

Увеличивать один из этих факторов можно лишь за счет другого. Поэтому приходится считаться с реальными возможностями, которые всегда будут ниже наших требований.

Еще одно обстоятельство, которое весьма существенно: хвост кривой должен быть минимальным; в переводе на обычный язык это значит, что материал должен сразу, начиная с самых малых экспозиций, давать значительное приращение плотностей. Обычно же полезная градация, соответствующая значению гаммы, начинается с известного значения экспозиции, слишком великого, чтобы использовать его для передачи минимальных яркостей. В области тех незначительных экспозиций, с какими приходится иметь дело, таким образом, мы будем иметь дело с субградацией, т. е. с пониженным градиентом. Максимальное значение его может быть использовано, начиная лишь с таких экспозиций, которые в условиях съемки

с движущегося предмета несколько затруднительно, если даже не невозможно, осуществить. В условиях стратофотосъемки, примерно, величина максимально допустимой экспозиции будет соответствовать тем же величинам, что и в аэросъемке.

Второе основное требование, предъявляемое фотоматериалу, это его достаточная чувствительность. Необходимость таковой вызывается условиями съемки, которая происходит с движущегося снаряда; экспозиция должна быть такой, чтобы обеспечить четкость контура и не давать сдвига или смазывания изображения.

Кроме того, требование достаточной чувствительности вызывается необходимостью использовать материал и в иных, нежели оптимальных, т. е. в ухудшенных условиях освещенности. Аэросъемка, например, может производиться только в условиях наилучшего состояния погоды. Покрытое небо, туман и т. д. являются теми препятствиями, которых в настоящее время не может преодолеть чувствительность материала.

Мы знаем, что фотографический материал обладает избирательной чувствительностью, поэтому требуемая высокая чувствительность должна лежать именно в той области спектра, в какой, по тем или иным соображениям, приходится работать. И именно в этом смысле надлежит понимать чувствительность. Если сенситометрически материал характеризуется очень высокой чувствительностью в той области спектра, которая в данных условиях работы является неподходящей и даже вредной, то, практически, его эффективная чувствительность в нужной области может быть одновременно совершенно иной, даже равной нулю. Поэтому, говоря о чувствительности, надо всегда относить ее к определенной спектральной зоне. Это обстоятельство значительно усложняет вопрос, ибо, как увидим, область естественной чувствительности бромистого серебра, являющейся одновременно и областью максимальной чувствительности, именно и является непригодной.

Тот участок спектра, который для съемок с высоты является наиболее пригодным, определяется факторами, заключающимися в условиях атмосферы. Дело в том, что та толща атмосферы, которая лежит между объективом и поверхностью земли и которая образует своего рода мутную среду, избирательно рассеивает лучистую энергию. Больше всего, по закону Рэлея, рассеиваются коротковолновые лучи, которые, обладая наибольшим фотографическим действием и попадая на пластинку, образуют равномерную вуаль. Кроме того, мы имеем дело не только с молекулярным рассеиванием, но и с рассеиванием, вызванным присутствием в воздухе мельчайших частиц, находящихся во взвешенном состоянии. Рассеивание, ими вызванное, также носит избирательный характер, который зависит от характера этих частиц. Наконец, воздушная масса не является в одинаковой мере прозрачной для всех лучей, ее прозрачность также избирательна. Кроме того, объект отражает лучистую энергию также избирательно, что вызывает, необходимость учета этого фактора для получения

требуемых максимальных фотографических контрастов, которые не совпадают с визуальным контрастом. Не приходится здесь подробно останавливаться на этом, важно только отметить, что совокупность всех этих факторов должна определить собой ту спектральную область, к которой материал должен быть чувствительным. Такой областью является область длинных волн, причем, как показывают опыты, чем эта область ближе к крайним красным лучам, тем лучше результаты в отношении упряднения эффе́кта дымки, действие которой может быть уничтожено либо путем поглощения рассеяно́ отражаемой ею энергии, либо созданием материала, нечувствительного к коротковолновым радиациям. Чем длиннее волна данного излучения, тем меньше это последнее рассеивается и, следовательно, лучше проникает толщу атмосферы и, кроме того, эмульсии, которая также является средой мутной. Казалось бы, поэтому наиболее целесообразным является использовать наиболее длинные волны. Однако, дело вовсе не разрешается так просто. Трудно добиться высокой чувствительности материала в этой оптимальной зоне, трудно ее распространять по нашему желанию; приходится считаться с реальными возможностями. Та область, в которой можно фотографировать, определяется не только нашими пожеланиями, но, главным образом, нашими возможностями, поэтому в настоящее время вопрос ставится так, чтобы использовать ту именно длинноволновую область спектра, в которой мы можем получить нужную чувствительность. Следовательно, противоречия между чувствительностью и требуемой спектральной зоной разрешаются путем компромисса, причем предпочтение отдается чувствительности, которая, за счет длины волны, сохраняет определенный минимум, ниже которого спускаться нельзя. И надо сказать, что этим весьма часто злоупотребляют, идя сознательно на риск получения заведомо неудовлетворительного снимка путем использования неподходящей для данных целей зоны спектра, руководствуясь тем, что в ней лежит максимум чувствительности. Насколько такая установка правильна — весьма спорно; в некоторых случаях, конечно, при всей своей сомнительности она имеет свое оправдание и свой смысл.

Большие перспективы открывает так называемый инфра-красный материал, который, как показывает ряд опытов, позволяет пробивать очень сильную дымку и который дает надежду преодолевать самые тяжелые атмосферные препятствия. В настоящий момент, по сути дела, мы не имеем еще стопроцентной инфра-красной фотографии (в практических условиях), а смешанную, ибо имеемые так называемые инфра-красные материалы чувствительны к крайним красным и коротким инфра-красным лучам. Применяемые же фильтры свободно пропускают эти видимые крайние красные лучи. Строго говоря, неизвестно, насколько такая стопроцентная инфра-красная фотография нужна; возможно, и даже весьма вероятно, что здесь имеет место некоторое чрезмерное увлечение. В качестве примера я сошлюсь на статью проф. Калитина о прозрачности атмосферы для

инфра-красных лучей.<sup>1</sup> Автор делит инфра-красную часть спектра на участки удобные и неудобные. Неудобство того или иного участка определяется наличием паров воды, вызывающих более или менее сильное поглощение. Очевидно, что в этих случаях залезать в эти области нет смысла. Вообще же некоторая осторожность здесь, как впрочем и всюду, не была бы неуместной.

Используя тот или иной участок спектра, мы исходим в большинстве случаев из того, что наш материал обладает чувствительностью по всему спектру; чувствительность в ненужной области мы изолируем путем применения светофильтров, которые задерживают часть лучей. Понятно, что таким образом нами используется лишь часть чувствительности данного материала, часть тем меньшая, чем уже требуемая спектральная зона и чем ближе она к длинноволновому участку спектра. Здесь именно надлежит особо тщательно разобраться в противоречиях между чувствительностью и длиной используемых волн. Для этого необходимо установить предельную границу, которая, несомненно, еще позволит, сохранив чувствительность, использовать достаточно длинные волны.

Мне кажется, что принципиально более лучшее решение вопроса дало бы получение такого материала, который без применения фильтров обладал бы нужной чувствительностью в нужной спектральной области. Это можно было бы между прочим осуществить, введя фильтр в слой. Такие материалы выпускались, но почему-то широкого применения не получили.

Теперь о фильтрах. Выбор фильтра принципиально должен быть согласован с внешними факторами стратофотосъемки (объект, атмосфера), а с ним и фотоматериал. Кривая спектрального пропускания светофильтра должна быть такой, чтобы пропускать только нужные, по тем или иным соображениям, длины волн и поглощать ненужные.

Если условия атмосферы требуют густого фильтра, то материал требует такого, который дал бы возможность использовать более полно чувствительность. Эти противоречия и составляют основную трудность.

Полезность и необходимость фильтров ясна. Несколько слов об их вредности. Фильтр как некоторая оптическая система, участвующая в ходе лучей, строящих изображение, в той или иной степени оказывает на него влияние в лучшем случае незначительное. Но не в этом дело. Дело в том, что практически фильтр всегда рассматривается, а если не рассматривается, то применяется, как нечто обособленное от материала, изменяя его отдачу, в большинстве случаев, неизвестно как.

Выбор фильтра — задача очень тонкая и ответственная; чем больше будет фильтров, тем труднее будет полезно и умело осуществлять его. Наиболее правильный путь — путь отказа от фильтра. Преимущества этого ясны: упраздняется лишняя оптическая система и упраздняется

---

<sup>1</sup> Информ. бюлл. НИИА, 1933, № 2, стр. 21—26.

возможность неумелого использования и выбора его. Осуществить это можно: либо применяя окрашенные стекла объективных линз, либо вводя фильтр в эмульсию, либо, наконец, используя такие эмульсии, которые были бы чувствительны только к требуемой спектральной области. Таким путем материал использовался бы с гораздо большей уверенностью, и целый ряд ошибок мог бы быть избегнут.

В. А. Фаас в своих весьма интересных, но, к сожалению, еще не опубликованных, работах приходит к заключению, что применение инфракрасного материала является хотя и желательным, однако, в условиях надирной съемки (и близнадирной) не обязательным. Инфра-красные эмульсии потребуются лишь для значительной перспективы (при угле больше  $40^\circ$ ) или при ухудшенной прозрачности.

По его мнению, лучшие ортохроматические эмульсии с лучшими желтыми фильтрами едва ли смогут дать на больших высотах удовлетворительные снимки.

Для съемки из стратосферы нормальным, повидимому, будет применение специальных панхроматических фильм в соединении с красными фильтрами, снижающими коэффициент задымленности раз в пять. В. А. Фаас рекомендует светофильтр ФП-8, с поглощением до  $617 \text{ м}\mu$ .

Если в обычных условиях можно считать, что съемка в инфра-красных и крайних красных лучах обеспечена соответствующим материалом, то приходится признать, что в отношении аэрофотосъемки этого нет. Материал недостаточно чувствителен и контрастен.

Итак, мы видим, что фотоматериал должен обладать и высоким контрастом и, одновременно, высокой чувствительностью в области длинных волн. Технически создать такой материал является большой проблемой эмульсионного дела, ибо, если можно получить высокую чувствительность и высокий контраст в отдельности, то сочетать их в одном материале дело чрезвычайно трудное. С ростом чувствительности падает контраст, и, наоборот, высококонтрастные материалы обладают всегда малой чувствительностью. И здесь приходится как-то лавировать и искать разрешения противоречий в компромиссе и говорить уже не об оптимальном контрасте и чувствительности, а минимальных допустимых. Какая из этих характеристик важнее — установить очень трудно; необходимо отметить, что в условиях съемки с воздуха контраст, в известных пределах, может компенсировать чувствительность. Наоборот, чувствительность материала едва ли способна компенсировать недостаток контраста.

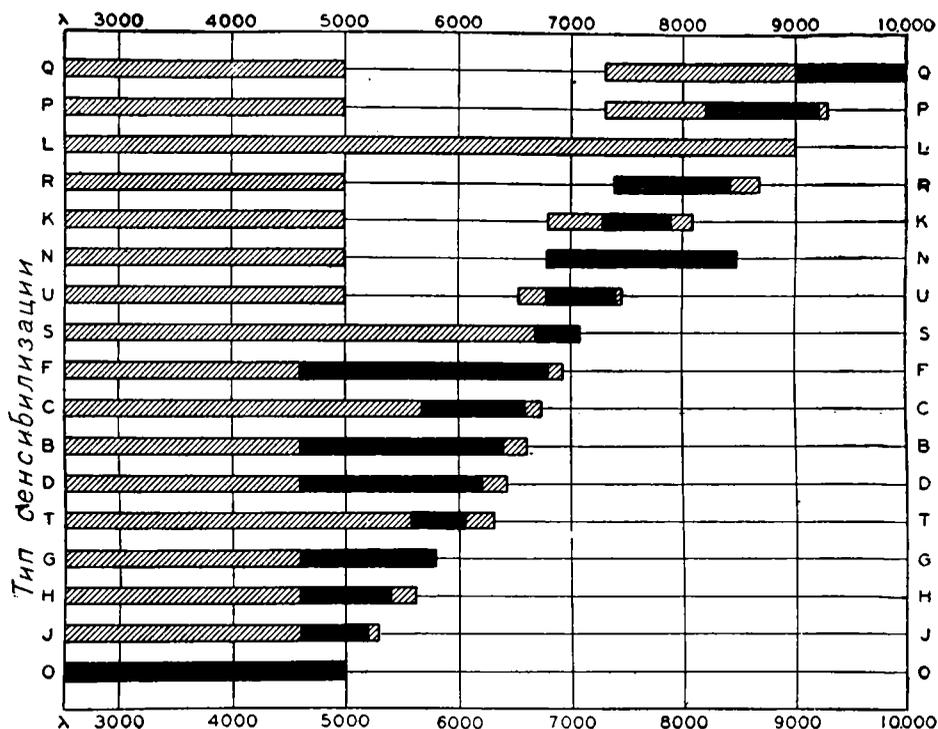
Из всего сказанного выше можно выявить, каков должен быть фотоматериал для стратофотосъемки. Небесполезен и не лишен интереса вопрос о том, что мы имеем на сегодняшний день и каковы перспективы будущего. Надо совершенно определенно сказать, что такого материала, который полностью и безусловно удовлетворил бы нашим требованиям, с точки зрения его пригодности для целей стратофотосъемки, еще нет. Однако имеются достаточные возможности более или менее близко подойти

к тому, что нам нужно. Здесь, в качестве примера, я укажу на то, как решается вопрос о специальных материалах лабораторией Кодак.

В качестве исходных эмульсий применяются 5 типов, которые обладают следующими фотографическими характеристиками:

Тип	Чувствительность (после сенсibilизации)	Контраст	Зернистость
I	Высокая	Средний	Средняя
II	Умеренная	Средний	Средняя
III	Средняя	Высокий	Малая
IV	Малая	Очень высокий	Очень малая
V	Малая	Очень высокий	Исчезающе малая.

Комбинируя эти типы с различной сенсibilизацией, можно получить большое разнообразие в фотоматериалах, отличающихся между собой как спектральным распределением чувствительности, так и указанными в таблице другими характеристиками.



Фиг. 1.

Приведенная диаграмма показывает, что можно получить в отношении того или иного распределения чувствительности по спектру. Как видно, имеется возможность использовать 17 типов сенсibilизации, значительно

<sup>1</sup> Journ. Opt. Soc. Am. 1931, 21, 753—775; 1932, 22, 204—6; 1933, 23, 229—233.

между собой отличающихся. Заштрихованная область соответствует общей чувствительности материала, черные полосы указывают на ту область, в которой сосредоточен максимум чувствительности. Однако не всякий из указанных 17 типов сенсбилизации может быть применен в отношении всех 5 исходных сортов материала; в графике указывается только три из них (I, III, IV), которые комбинируются со всеми почти типами сенсбилизации.

Масштаб стратоснимка несомненно будет мал; имея объектив с фокусным расстоянием в 200 мм, с высоты 20 000 м получим изображение в масштабе 1/100 000.

Это значит, что в 1 мм будет заключаться 100 м. Ясно, что в силу этого незначительного масштаба удобочитаемость снимка будет небольшой, и многие детали будут просто невидимы. Совершенно естественно встает вопрос об увеличении масштаба путем увеличения полученного снимка. Однако и здесь предел ставит фотографический материал.

Фотографическая эмульсия представляет собой среду оптически неоднородную, мутную. Поэтому в ней происходит целый ряд весьма сложных явлений, которые в конечном итоге влияют на качество фотографического изображения. Надо заметить, что в условиях аэрофотосъемки и, очевидно, стратофотосъемки к этому изображению предъявляются очень серьезные требования, вызванные тем, что снимок в значительном ряде случаев должен служить измерительным целям. Это — с одной стороны. С другой же, как указывалось, при стратофотосъемке необходимо считать с тем, что первоначально полученный негатив будет увеличен, причем размеры такого увеличения будут тем большие, чем меньше масштаб изображения. Необходимость увеличения заставляет предъявлять к снимку также довольно повышенные требования.

Не приходится останавливаться на рассмотрении тех оптических явлений, которые происходят в эмульсионном слое, необходимо только отметить, что все это, вместе взятое, заставляет предъявлять к материалу ряд очень важных и вместе с тем тяжелых требований. И это тем более, что все они находятся в противоречии с основным требованием — чувствительности.

От материала в этом отношении мы должны требовать отсутствия ореолов, как вызванных отражением, так и рассеиванием, отсутствия деформации слоя, достаточной разрешающей силы и, наконец, минимальной зернистости и т. д.

Заканчивая этот бегло сделанный обзор тех основных свойств, коими должен обладать предназначенный для целей стратофотосъемки фотографический материал, уместно выявить, в какой мере и степени мы можем рассчитывать на получение такового. Следует сказать, что в настоящее время такого во всех отношениях удовлетворительного материала нет ни за границей, ни у нас, причем, принимая во внимание огромные принципиальные трудности изготовления его, едва ли можно рассчитывать иметь

его в ближайшем будущем. Это, конечно, не должно обозначать невозможность использовать все то, что в настоящее время мы имеем, при условии очень осторожного и умелого выбора, основанного на тщательном учете условий эксплуатации. Как обстоит дело в Америке — было показано на соответствующем графике. Выбор есть, надо только суметь применять то, что является наиболее подходящим. К сожалению, у нас дело с фотоматериалами обстоит не вполне благополучно в том отношении, что наша молодая фотохимическая промышленность не освоила еще чрезвычайно сложной и капризной технологии эмульсионного дела или, как может быть правильно говорят, искусства.

Было бы, конечно, едва ли целесообразным ожидать того, что промышленность сразу может дать все то, что от нее требуется; так ставить вопрос, в особенности в отношении фотоматериалов, предназначенных для специальных целей, по меньшей мере мало основательно. Почетную и сложную задачу дать стратофотосъемке тот оптимальный материал, который, хотя бы на первых порах, смог бы удовлетворить ее полностью, должны и вполне могут разрешить наши научно-исследовательские институты. Это тем более правильно, что все предпосылки для этого у них имеются, с одной стороны, и что, с другой — потребность в таком материале, на первое время, весьма незначительна.

Практически наши лаборатории могут изготавливать для научных целей целый ряд таких специальных материалов, соответствующих тем, которые указаны в таблице.

Нельзя, однако, не считаться еще с тем обстоятельством, что методика обработки заснятого материала имеет весьма существенное значение. Хотя, конечно, сама съемка и применявшийся фотоматериал в отношении результата обладают наибольшим удельным весом, все же условия и методика обработки имеют свое значение. До известной степени обработкой материала можно компенсировать ряд его свойств и в конечном итоге все же получить требуемый результат. Поэтому и на эту сторону дела следует обратить самое серьезное внимание, разработав такую методику, которая обеспечивала бы получение от данного материала наилучших результатов. Мы не беремся предрешать вопроса о том, какова должна быть эта методика; нам кажется, что, вероятно, она должна использовать все ресурсы фотографической техники. Быть может придется иметь дело со сложением плотностей, печатанием с контр-типов, оптическими методами печати, особыми методами усиления и т. д.; во всяком случае можно, и не без оснований, думать, что техника обработки будет отличной от той, какая применяется в настоящее время в аэрофотосъемке.

В. В. ШАРОНОВ

## ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СО СТРАТОСТАТА И ИХ ЗАДАЧИ

Фотометрические наблюдения с летательных аппаратов за последние годы получили настолько значительное распространение, что можно говорить о возникновении новой отрасли измерительного искусства — аэрофотометрии. Основная задача, которую преследуют этого рода работы, состоит в изучении отражательной способности различных частей земной поверхности. Выражаясь точнее, измерения при помощи фотометров, установленных на аэропланах или аэростатах, дают величину коэффициента яркости для различных земных объектов. Напомним, что под введенным недавно термином „коэффициент яркости“ (или „коэффициент рассеивания“) понимается отношение яркости рассеивающей свет матовой поверхности к яркости абсолютно белой (т. е. ортотропно рассеивающей все падающие на нее лучи) поверхности, находящейся в точно таких же условиях освещения. Мне представляется более удобным несколько иное определение. Именно, как нетрудно видеть, коэффициент яркости есть отношение яркости диффузно рассеивающей свет поверхности к ее освещенности. Таким образом, если освещенность поверхности мы обозначим через  $E$ , а ее яркость через  $B$ , то для коэффициента яркости  $r$  получим такое выражение:

$$r = \frac{B}{E} \quad [1]$$

Численное значение определенной таким способом величины  $r$  будет зависеть от тех единиц, в которых мы выражаем  $B$  и  $E$ . Общепринятая система значений предполагает, что  $B$  выражается в ламбертах, а  $E$  в фотах, хотя принципиально было бы правильным брать  $B$  в стильбах. Величину  $r$  не следует смешивать с коэффициентом диффузного отражения или альбедо, которое есть отношение светового потока, рассеянного данной поверхностью во всех направлениях, к потоку, на нее упавшему (или, что то же, отношение светимости к освещенности). Смешение этих двух различных величин происходит отчасти потому, что для ортотропной поверхности коэффициент яркости в системе ламберт/фот численно равен альбедо.

В очень многих случаях мы не имеем какой-либо физически реальной поверхности, но тем не менее наблюдаем яркость рассеянного света. В качестве примера можно привести слой освещенного воздуха. Понятие коэффициента яркости можно расширить и на этот случай, понимая его, правда, несколько условно. Именно в точке наблюдения мы имеем освещенность  $E$  и в интересующем нас направлении можем измерить вызванную освещением яркость  $B$ . Отношение этих двух величин и будет условным значением коэффициента яркости. Такое расширение этого понятия бывает полезным при расчетах влияния воздушной дымки на видимость наблюдаемой с летательного аппарата панорамы. С увеличением высоты полета растет толщина слоя воздуха между наблюдателем и земной поверхностью; от этого уменьшается яркость земной поверхности и увеличивается яркость света наложенной на него воздушной дымки. Поэтому отношение яркости надир к освещенности на высоте полета будет как раз „условным коэффициентом яркости“ для данной точки наблюдения.

Для практического определения коэффициентов яркости с летательных аппаратов в основном могут быть указаны 4 метода:

1) Сравнение яркости объекта с яркостью поверхности, коэффициент рассеивания которой известен. Этим методом работали Лэкиш (1), Стэтчей и Вегенер (2) и другие. Всего правильнее, если эталонная поверхность находится на земле; однако применение таких эталонов, как большие полотна белой ткани и т. д. на практике мало удобно, и потому для сравнений обычно пользуются либо природными покровами с хорошо известной отражательной способностью (напр. снег, кварцевый песок и т. д.), или же помещают эталонную пластинку на самом летательном аппарате, пренебрегая тем различием освещенности, которое может иметь место наверху и внизу.

2) Принцип фотометра Ричардсона (3). Этот аппарат дает возможность сравнивать яркости надир и зенита. При сплошной равномерной облачности между яркостью зенита и освещенностью горизонтальной плоскости имеет место постоянное численное соотношение, находимое из регулярных наблюдений дневной освещенности; зная его, можно вычислить и коэффициент яркости. Фотометр Ричардсона неоднократно применялся для исследования отражательной способности с аэроплана в Европе и Америке (4); однако необходимость пользоваться исключительно днями с равномерной облачностью является недостатком, ограничивающим его применение.

3) Одновременные измерения яркости с летательного аппарата и освещенности на земной поверхности. Два наблюдателя двумя различными фотометрами измеряют отдельно величины  $E$  и  $B$ . Коэффициент яркости вычисляется по формуле [1]. Метод испробован мною совместно с Н. Н. Сытинской (5) и оказался достаточно практичным.

4) Сравнение освещенности на летательном аппарате с яркостью земной поверхности. Для этого нетрудно построить специальный аэрофотометр, в котором наблюдатель будет видеть на фоне изображения

земных объектов небольшое поле сравнения, яркость которого получается от некоторого экрана, принимающего освещенность горизонтальной плоскости (6). Равным образом можно устроить фотографическую камеру, в которой на пластинке, одновременно с изображением надира, будет получаться засветка от принятой экраном дневной освещенности (7). Можно также устроить спектрограф, в котором с помощью надлежащего устройства будут одновременно фотографироваться спектры земной поверхности и дневного света, что даст возможность определять коэффициент яркости для отдельных длин волн спектра (8). Этот принцип, вероятно, очень практичен, но кажется еще никем не применялся.

Если задачей аэрофотометрических измерений является изучение отражательной способности самой земной поверхности, то работа ведется с небольшой высоты, так как в противном случае толстый слой воздуха между наблюдателем и земной поверхностью исказит результаты. Если же исследование ставит своей целью выяснение законов рассеивания света самими воздушными слоями, то выгодно достигать возможно больших высот.

При поднятии над земной поверхностью надир все больше и больше заволакивается светлой воздушной дымкой, и вместе с тем убывает яркость небесного свода; при достаточной высоте подъема большая часть воздушной массы окажется под наблюдателем, и тот яркий голубой фон, который мы обычно видим над собою в виде голубого неба, будет наложен на земную поверхность, небо же окажется близким к черному. Изучение таких явлений и составляет основную задачу фотометрических наблюдений со стратостата.

Результаты этого рода наблюдений имеют двойное значение.

Во-первых, изучая последовательное повышение яркости надира с высотой, можно получить представление о рассеивании света в различных воздушных слоях, что представляет огромный теоретический интерес для проблемы атмосферного рассеивания света.

Во-вторых, светлая воздушная дымка, заволакивающая надир, сглаживает контрасты и тем ухудшает видимость земной поверхности. Между тем возможность наблюдения и фотографирования со стратостата имеет большое значение для практики освоения стратосферы. Решение вопросов, связанных с рассеиванием света атмосферой, позволяет производить расчет условий видимости с разных высот по разным направлениям, а также изыскивать способы улучшения видимости при неблагоприятных условиях путем применения специальных приемов и приборов. В частности, подбор тех или иных светофильтров или сортов фотопластинок, обеспечивающих наилучшую контрастность при съемке сквозь дымку, может быть выполнен только на основании учета характера света, рассеянного воздушными слоями.

Фотометрия со стратостата позволяет также разрешить одну проблему, которой давно занимается астрономия, а именно определить альбедо Земли как небесного тела. В астрономии к этому вопросу подходят

несколько косвенным методами. С одной стороны, измеряют яркость так наз. „пепельного света“ Луны, который представляет собою освещение ночной части нашего спутника лучами, отраженными от земли; с другой — вычисляют альbedo по имеющимся данным об отражательной способности земной поверхности, атмосферы и облаков. Наиболее надежные данные, полученные по тому или другому методу, сходятся достаточно хорошо. Так Рэссель (9) из пересмотра опубликованных наблюдений пепельного света вывел альbedo 0.45, в то время как Раманатан (10) на основании чистого расчета получил 0.46. Тем не менее представляется крайне желательным проверить это прямым методом. Стратостаты уже сейчас поднимаются на такую высоту, где световые условия в известной мере приближаются к имеющим место вне атмосферы. В дальнейшем явится возможность достигать таких высот, результаты наблюдения с которых потребуют лишь незначительного экстраполирования для перехода к границе атмосферы.

Астрономический интерес представляет также вопрос о видимости деталей земной поверхности для наблюдателя, расположенного в мировом пространстве. Из двух планет, соседних с Землей, Венера, благодаря чрезвычайной мутности ее атмосферы, представляет полное отсутствие деталей на диске, в то время как на Марсе подробности поверхности видны хорошо.

Решение аналогичного вопроса относительно Земли даст интересный материал для сравнительного суждения о природе атмосферы трех названных планет. Некоторые расчеты, проделанные мною (11), показывают, что видимость деталей в средней части диска полной земли, при отсутствии облаков, должна быть хорошей, в то время как по краям, вследствие уменьшения контрастов, границы материков и океанов должны смываться. Наблюдения радиуса перспективной видимости со стратостатов на разных высотах дают возможность практической проверки таких расчетов.

В связи с указанными выше задачами можно дать примерный перечень той фотометрической аппаратуры, которую желательно использовать при будущих подъемах в стратосферу.

Для измерения абсолютной яркости надира, а также контрастов яркости между отдельными участками земной поверхности, необходимо иметь визуальный телефотометр. Измеряя им яркости двух участков земной поверхности с возможно большим различием коэффициента рассеивания, можно получить яркость и прозрачность расположенного между землей и наблюдателем слоя воздуха (метод проф. В. Г. Фесенкова). Этот же прибор должен служить для определения отражательной способности облаков различных ярусов. Клиновый телефотометр системы Ленинградского Института аэрофотосъемки (кстати, приспособлявшийся для работы на стратостате „Осоавиахим“, но в полете не участвовавший), является прибором, вполне пригодным для указанной цели.

С другой стороны, необходимо на каждый полученный со стратостата фотографический снимок печатать ступенчатую засветку от стандартного источника света. Это даст возможность использовать фотосъемку со стра-

тостата для фотометрических целей и позволит определить яркость и прозрачность атмосферы в фотографических лучах.

Крайне желательно иметь также фотометр, позволяющий измерять яркость неба в доступных к обозрению из кабины направлениях. Возможно, что фотографирование неба очень широкоугольными камерами тоже было бы полезно для фотометрических целей.

Очень важную задачу составляет изучение спектрального состава света, рассеянного как слоями воздуха, находящимися под стратостатом, так и небесным сводом. Для этого всего удобнее пользоваться фотографическим методом, применяя в полете небольшие спектрографы, направленные как в нади́р, так и в других направлениях.

С точки зрения автоматизации работ на стратостате желательно хотя бы частично заменить визуальную фотометрию фотоэлектрической. Для получения полного комплекса данных надо иметь два фотоэлемента. Один находится под гондолой и обращен принимающей световой поток поверхностью в нади́р. Другой должен быть обращен к зениту. Поскольку существенно, чтобы он был расположен совершенно открыто, было бы целесообразно поместить его на верхней части оболочки, если только это возможно по техническим условиям. Если оба фотоэлемента соединить навстречу один другому, то показание соответствующего гальванометра будет давать отношение освещенностей сверху и снизу, т. е. прямо условное альbedo расположенных под стратостатом слоев воздуха и земной поверхности. Впрочем, с многих других точек зрения было бы интереснее регистрировать нижнюю и верхнюю освещенности отдельно. Около верхнего приемника можно было бы устроить небольшой щиток, экранирующий часть небесного свода в зонах, на которых проходит солнце. Благодаря неизбежному вращению стратостата вокруг вертикальной оси приемник время от времени будет заслоняться от прямых солнечных лучей щитком, и прибор в это время будет указывать освещенность одним рассеянным светом.

В дальнейшем необходимо поставить вопрос о разработке легкого фотоэлектрического прибора с автоматической регистрацией. Такой фотометр-самописец не только сильно облегчил бы фотометрическую работу на стратостате, но и дал бы возможность вести фотометрические наблюдения с шаров-зондов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Luckiesh, *Astrophys. Journ.*, 49, 1919, p. 108—130.
2. Stutchey und Wegener. *Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math. Phys. Kl.* 1911.
3. Richardson. *Quart. Journ. of RMS*, 1929.
4. Kimball and Hand. *Month. Weath. Rev.*, 57, № 7, 1929; 58, № 7, 1930.
5. Шаронов и Сытинская. *Журн. Геофиз.*, 1934, стр. 40—45.
6. Шаронов. *Сборн. по аэрофотометрии* № 2, 1934.
7. Былов. *Тр. Ин-та Аэрофотосъемки* 14, 1931.
8. Шаронов. *Бюлл. Ин-та Аэрофотосъемки* № 2, 1934.
9. Russell. *Astrophys. Journ.*, 43, 3, 1916.
10. Ramanathan. *Astrophys. Journ.*, 57, 3, 1923.
11. Шаронов. *Мироведение*, 1932, № 3.



Н. М. ШТАУДЕ

## СУМЕРКИ И СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Если отвлечься от движений, могущих иметь место в стратосфере, то изучение верхних слоев ее сводится к определению их состава, температуры, плотности и давления на разных высотах. Плотность и давление можно найти, зная температуру и состав, так что целью всех косвенных методов можно поставить определение температуры и состава. Относительно последнего делается обычно то или иное предположение (перемешанной атмосферы, или слоистой с распределением газов по закону Дальтона, или нечто среднее между ними), так что главной характеристикой, подлежащей определению, остается лишь температура. Ниже дается краткое обозрение существующих косвенных методов оценки температуры верхних слоев с указанием их преимуществ и недостатков.

### § 1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1) Метод лучистого равновесия исходит из условия, что каждый элемент атмосферы излучает тепла столько же, сколько поглощает его от окружающих элементов. Практически дело сводится к поглощению парами воды и озоном, так что требуется знать распределение озона и паров воды по высоте, но пока на этот счет у нас еще мало данных. Гован (1) получил этим методом ряд температурных кривых при различных исходных предположениях. Метод этот скорее пригоден для решения обратной задачи, т. е. для определения количества озона и паров воды в функции высоты при известной температуре верхних слоев.

2) Метод метеорный предложен Линдеманом и Добсоном (2) и основан на физической теории свечения метеоров, в настоящее время еще далеко не установленной даже в общих чертах, как об этом свидетельствует полемика по поводу работы указанных авторов. При помощи целого ряда гипотез можно вывести зависимость плотности воздуха в точке загорания или потухания метеора от скорости, размеров и прочих особенностей, считающихся известными. С другой стороны, наблюдения дают высоты загорания и потухания. Таким образом, получается связь между плотностями воздуха и высотами или, что то же, между температурой воздуха и высо-

тою. К сожалению, наблюдения метеоров в настоящее время еще недостаточно точны (особенно это относится к определению скорости), чтобы послужить надежной основой метода; величины, считаемые в теории известными (размер, масса, теплоемкость и пр.), лишь оценены приблизительно, но точно не известны; к тому же, при выводе формул, сделано очень много допущений, в некоторой части спорных. Метод может в будущем давать хорошие результаты, но пока из огромного материала визуальных наблюдений можно сделать лишь общие выводы, скорее качественного характера, о температуре в верхних слоях.

3) Метод звуковой стал систематически применяться за границей после мировой войны. Вычисляется траектория звукового луча, дающего аномальную зону слышимости при сильных выстрелах или взрывах. Полученные таким образом большие скорости звука в стратосфере можно объяснить высокими температурами, которые определяются на основании формулы Лапласа; однако можно это явление объяснить и иначе. Благодаря простоте теории, звуковой метод является одним из лучших косвенных методов исследования стратосферы, но он требует больших затрат на оборудование станций чувствительными регистрирующими приборами и на производство взрывов или выстрелов большой силы.

4) Метод сумеречный совершенно не применяется за границей и разрабатывается лишь у нас (3). Он дает результаты, в общем согласные с результатами других методов. По яркости сумеречного света можно определить отражательную способность воздуха на тех высотах, где происходит это явление, а затем судить как о плотности воздуха, так и возможном присутствии посторонних рассеивающих частиц (напр. космической пыли). Плотность воздуха определяет температуру в функции высоты. Диапазон этого метода больше, чем у других (от 20 до 165 км по крайней мере), и он может соперничать со звуковым по ясности и простоте теории и малому количеству произвольных гипотез и неизвестных постоянных. К тому же, он очень экономичен и требует лишь наличия фотометра или подходящего фотографического аппарата и наблюдателя.

5) Метод, основанный на определении ширины зеленой линии полярных сияний (4) предполагает, что вся эта ширина обуславливается явлением Доплера (тепловое движение молекул), что не совсем верно; он дает поэтому лишь верхний предел температуры и лишь для тех слоев, где эта линия возникает.

6) Метод процентного содержания гелия в атмосфере также дает лишь оценку верхнего предела температуры. Основания его довольно шатки: допускается, что весь выделяемый в процессе распада радиоактивных земных пород гелий улетает из атмосферы в продолжение миллиона лет, для чего требуется средняя скорость движения его молекул в 2.6 км/сек. Эта скорость и принимается соответствующую температуре гелия (1000° абс.) в верхних слоях атмосферы.

7) Метод высоты северных сияний и ее изменения в течение суток предложен в самое последнее время Ангенхейстером (5). Отвергается гипотеза статического равновесия атмосферы, на которую опирается большинство других методов, и земная атмосфера предполагается пульсирующей под влиянием теплового расширения в течение суток. Наблюдаемая разница в высотах северных сияний в темной и освещенной части атмосферы дает амплитуду колебания температуры, если допустить, что давление одинаково в обоих случаях и если задаться распределением температуры ночью. Теория эта слаба потому, что атмосфера может расширяться не только под влиянием изменения температуры, но и от других причин, если это расширение вообще существует в таких грандиозных размерах, как это предполагает Ангенхейстер; она дает тоже лишь верхний предел температур.

8) Способ изучения спектра фосфоресценции азота под влиянием рентгеновых лучей применяется Вегардом (6). Линии этого спектра наблюдаются и фотографируются в спектре северных сияний. Квантовая теория дает зависимость между распределением энергии в спектральной серии и температурой, а также между положением максимума интенсивности в спектре и температурой. Способ этот не зависит от каких-либо вспомогательных гипотез, и в этом его ценность. Но, подобно пятому методу, он дает температуру лишь на высоте сияния в данный момент. Он требует наличия подходящих приборов и оборудованных ими станций в высоких широтах. Результаты, полученные Вегардом, сильно отличаются от результатов других косвенных определений (на 100 км высоты дают  $-30^\circ$ ). Сопоставляя все сказанное, можно прийти к заключению, что сумеречный метод заслуживает развития наравне с другими, а может быть и преимущественно перед ними.

## § 2. ПОЛУЧЕНИЕ СУМЕРЕЧНОЙ КРИВОЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАССЕЯНИЯ

Для изучения стратосферы по методу сумерек следует прежде всего получить сумеречную кривую, т. е. зависимость логарифма наблюдаемой яркости от высоты солнца. Для этого можно, например, наблюдать поверхностным фотометром участок неба, находящийся в азимуте солнца и на постоянной угловой высоте. Желательно поставить наблюдения со светофильтрами. Наблюдения визуальные можно заменить фотографическими, если чувствительность пластинок позволяет делать достаточно короткие выдержки. Получение сумеречных кривых в различных условиях: зимой и летом, на уровне моря и на горах, под различными широтами—должно быть первой задачей при организации изучения стратосферы сумеречным методом. Затем надо определить коэффициенты рассеяния воздуха на разных высотах. Для этого следует знать в первом приближении распределение плотности по высоте, что дает возможность вычислить поглощение, испытываемое солнечными лучами на пути от границы атмосферы до рассеиваю-

щей свет частицы. Зная таким образом яркость света, падающего на единицу объема воздуха, и яркость наблюдаемого сумеречного, мы можем оценить коэффициент рассеяния. Дело усложняется лишь тем, что мы наблюдаем яркость, слагающуюся в результате рассеяния от всех частиц, лежащих на пути луча зрения фотометра, и можем выразить ее некоторым интегралом, взятым по высоте от границы тени в атмосфере до бесконечности. Под знаком интеграла, кроме величин, найденных вычислением, находится еще неизвестная отражательная способность воздуха, которая и определяется в функции высоты на основании сумеречных наблюдений путем решения интегрального уравнения. Она находится в произвольных единицах, так как самые наблюдения яркости сумерек не абсолютны, а относительны. Практически удобно иметь дело не с самой отражательной способностью, а с производной от ее логарифма. Найденная отражательная способность вызывается как наличием рассеивающих свет молекул воздуха, так и возможным присутствием более крупных частиц, например космической пыли, остающейся в стратосфере после пролета и сгорания метеоров, или жидких капелек и т. д. Можно сделать попытку разделить эти два вида рассеяния путем разложения найденной функции (отражательной способности воздуха)  $F(h)$  на сумму двух других, из которых одна изменяется монотонно с высотой и имеет почти постоянную производную, а другая таким ограничениям не подлежит. Естественно допустить, что первая представляет собою молекулярное рассеяние, а вторая — рассеяние от крупных частиц. Для иллюстрации сказанного привожу сокращенную таблицу значений  $[\log F(h)]'$ , как они получаются по визуальным наблюдениям Фесенкова 1916 г. (Тр. Астрофиз. обсерв., т. II), и разложение функции  $F(h)$  на сумму двух других:  $F_1(h)$  и  $F_2(h)$ . Из приводимой таблицы видно, что ниже 70 км и выше 110 км имеет место почти постоянство величины  $[\log F(h)]'$ , тогда как между 70 и 110 она изме-

$\frac{h}{\text{км}}$	$\log F(h)$	$[\log F(h)]'$	$\log F_1(h)$	$\log F_2(h)$	$\frac{F_2(h)}{F_1(h)}$
30	2.245	$-3.62 \cdot 10^{-7}$	2.245		
50	1.521	-3.61	1.521		
70	0.800	-3.59	0.800		
90	0.101	-3.28	0.090	$\bar{2}.505$	0.026
100	$\bar{1}.798$	-2.71	$\bar{1}.731$	$\bar{2}.953$	0.167
110	$\bar{1}.549$	-2.40	$\bar{1}.373$	$\bar{1}.072$	0.500
120	$\bar{1}.308$	-2.40	$\bar{1}.015$	$\bar{1}.001$	0.968
130	$\bar{1}.069$	-2.39	$\bar{2}.657$	$\bar{2}.856$	1.58
140	$\bar{2}.831$	-2.39	$\bar{2}.290$	$\bar{2}.684$	2.48
150	$\bar{2}.591$	-2.39	$\bar{3}.934$	$\bar{2}.483$	3.54
160	$\bar{2}.352$	$-2.39 \cdot 10^{-7}$	$\bar{3}.578$	$\bar{2}.272$	4.94

няется довольно быстро.  $\log F_1(h)$  вычислено в предположении, что выше 70 км его производная изменяется по тому же закону, как и до 70 км. Разность  $F(h) - F_1(h)$  дает тогда  $F_2(h)$ , которая имеет резкий максимум на 110 км. Эта высота совпадает с высотой слоя Хивизайда, или слоя  $E$ , и с высотой свечения большинства падающих звезд. Последнее явление должно сопровождаться как ионизацией воздуха, вызывающей отражение электромагнитных колебаний, так и накоплением космической пыли, которая в свою очередь и может вызывать добавочное рассеяние  $F_2(h)$ . Если это предположение правильно, то сумеречный метод может дать указания на строение слоя Хивизайда (распределение частиц по высоте), а также дает способ изучать его не только днем, но и после захода солнца, когда он ускользает от исследования методом радиоволн.

### § 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТРАТОСФЕРЫ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ ОДИНАКОВОГО СОСТАВА (ПЕРЕМЕШАННАЯ АТМОСФЕРА)

Это простейшее предположение получило недавно подтверждение при полетах стратостатов и может считаться справедливым до 20 км высоты. Предполагается одинаковость состава до верхней границы атмосферы. Если еще допустить соблюдение условия статического равновесия в вертикальном столбе воздуха и применимость уравнения состояния газов на интересующих нас высотах, то будем иметь уравнения:

$$dp = -\rho g dh \quad [1]$$

и

$$p = \frac{R}{M} \rho T. \quad [2]$$

Дифференцируя [2] по  $h$  и пользуясь [1], получим:

$$(\log)' = -\frac{1}{T} \left\{ \frac{gM}{R} + T' \right\}, \quad [3]$$

где  $T'$  обозначает производную от абсолютной температуры по высоте. С другой стороны, какой бы теории молекулярного рассеяния мы ни придерживались, при достаточно малой плотности коэффициент рассеяния будет ей пропорционален, а производные от логарифмов этих двух величин будут равны, так что найденные коэффициенты молекулярного рассеяния  $F_1(h)$  должны удовлетворять соотношению:

$$(\log F_1(h))' = -\frac{0.4343}{T} \left\{ \frac{gM}{R} + T' \right\}. \quad [4]$$

Имея из наблюдений численный ряд значений левой части уравнения [4], мы можем для тех же высот определить температуру  $T$  при известной величине молекулярного веса  $M$  воздуха. Обозначая почти

постоянную величину  $[\log F_1(h)]'$  через  $-0.4343 b$ , получим линейное дифференциальное уравнение:

$$Tb = T' + \frac{gM}{R}, \quad [5]$$

в котором  $M$  и  $R$  постоянны, а  $b$  и  $g$  изменяются очень мало и в первом приближении тоже могут считаться постоянными. Решение этого уравнения имеет вид:

$$T = \frac{gM}{Rb} + \left( T_0 - \frac{gM}{Rb} \right) e^{b(h-h_0)} \quad [6]$$

и произвольная постоянная  $T_0$  определяется из условия, что на некоторой высоте  $h_0$  температура имеет известную величину  $T_0$ .

Если попробовать приложить эту простую теорию к вышеупомянутым наблюдениям Фесенкова, то окажется, что на 30 км высоты при  $M = 28.955$  (как у земли) мы имеем следующее решение:

$$T = 405^{\circ}5 + (T_0 - 405.5) e^{b(h-h_0)}$$

Мы можем считать температуру  $T_0$  на 30 км достаточно хорошо известной и положить  $T_0 = 220^{\circ}$ ; тогда для температурного градиента получим величину порядка  $-15^{\circ}$  на км. С высотой абсолютная величина этого градиента будет быстро возрастать, так что мы в наших предположениях очень скоро придем к невозможной температуре ниже абсолютного нуля. Подсчет показывает, что даже небольшое отклонение  $T_0$  от величины  $\frac{gM}{Rb}$  порядка  $2^{\circ}$  в ту или иную сторону приводит к невозможным значениям для температуры на 150 км высоты. Поэтому остается лишь положить:

$$T' = 0 \quad \text{и} \quad T_0 = \frac{gM}{Rb}$$

во всей области постоянства величины  $b$ . Однако это приводит к температуре в  $405^{\circ}5$  на 30 км, что плохо вяжется с нашими представлениями. Отсюда можно сделать одно из следующих заключений:

- 1) молекулярный вес  $M$  не есть постоянная величина, и его значение на 30 км сильно отличается от значения у земли;
- 2) температура на 30 км значительно выше  $220^{\circ}$ ;
- 3) рассмотренная сумеречная кривая была сильно искажена присутствием городских огней;
- 4) коэффициенты рассеяния, полученные в определенных предположениях о плотностях воздуха, не соответствуют действительности.

Хорошее согласие величины  $M/T$ , полученной по сумеречным наблюдениям и по наблюдениям метеоров, как будто говорит против двух последних предположений.

#### § 4. ВЫВОДЫ ИЗ СУМЕРЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА: ИХ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ

Если в более общем случае и в связи с первым предположением о причине невязки аэрологических температур с сумеречными мы допустим изменение молекулярного веса  $M$  с высотой, то соотношению [3] будет соответствовать:

$$(\ln N)' = -\frac{1}{T} \left( \frac{gM}{R} + T' \right), \quad [7]$$

где  $N$  обозначает число молекул в единице объема, а величина  $M$  есть тоже функция высоты  $h$ . Для определения двух неизвестных  $T$  и  $M$  уже недостаточно сумеречных наблюдений, так что приходится или задаваться гипотетическим изменением молекулярного веса, или взять его из других источников, или ограничиться определением отношения  $M/T$ . Если допустить слоистое распределение газов по закону Дальтона, начиная с некоторой высоты, и считать известным состав воздуха на этой высоте, то температура определит собою молекулярный вес, так что опять получим лишь одно неизвестное  $T(h)$ . Но рассеяние в такой атмосфере будет зависеть не только от плотности, а и от других переменных. В простейшем случае теории Рэлея

$$F_1(h) = \sum c_i M_i^2 N_i,$$

где  $c_i$  есть постоянная для данного газа величина и суммирование распространено на все составные части воздуха. Для каждого отдельного газа уравнение [4] будет справедливо, но не для всей смеси. Поэтому здесь нельзя определить температуру, как решение дифференциального уравнения, подобного [5], а приходится задаваться рядом ее значений, который определит значения  $N_i$  по уравнениям [7] и затем рассеивающую способность каждого газа в отдельности, или же сразу  $[\log F_{1,i}(h)]$  по уравнению [4]. Сумма рассеивающих способностей составных частей должна равняться вытекающей из наблюдений рассеивающей способности смеси. Путем проб можно подобрать искомую зависимость температуры от высоты, которая удовлетворяла бы сумеречным наблюдениям. В случае теории молекулярного рассеяния, вытекающей из более строгой теории Ми, в выражение коэффициента рассеяния войдет диаметр молекулы, и относительная величина коэффициентов  $c_i$  для составных частей воздуха изменится. Таким образом, выбор теории рассеяния влияет на результат. Можно было бы обойтись без всякой теории, если бы существовали достаточно надежные определения коэффициентов рассеяния различных газов лабораторным путем, но такие определения малочисленны и недостаточно точны. Поэтому и приходится прибегать к теории рассеяния и остановиться на одной из них для вычисления температур. Теория Рэлея, созданная на основании многих упрощающих предположений, на первый

взгляд кажется недостаточной. Если, развивая идеи того же Рэлея, найти выражение для коэффициентов рассеяния на основании формул Ми, то для большинства газов атмосферы эти коэффициенты должны быть приблизительно в  $2^{1/4}$  раза меньше, чем по теории Рэлея, так что справедливость той или иной возможно обнаружить экспериментально даже при современном состоянии техники этих очень тонких и трудных измерений. До настоящего времени, однако, специальных наблюдений с этой целью не ставилось, а обработка существующих единичных определений дает противоречивые результаты. Поэтому было бы крайне желательно поставить определения коэффициентов рассеяния газов, особенно их абсолютные определения, возможно шире в наших физических лабораториях. Попытка определения диаметров молекул газов оптическим путем, на основании имеющегося скудного материала по рассеянию света газами, привела к результатам, хорошо согласующимся с данными других определений, что косвенно говорит в пользу теории рассеяния по Ми. Однако следует заметить, что эта теория была им построена не для молекул, а для сплошных частиц, например металлов. Поэтому применение ее к молекулярному рассеянию может быть принципиально неправильным. В последние годы Кабанн во Франции и Раман со своими учениками в Калькутте создали теорию рассеяния света от молекулы, состоящей из протонов и электронов, рассматриваемых как неподвижные. Эта теория лучше согласуется с современными взглядами на молекулу, чем предыдущие, исходившие из понятия сплошного шарика. Она дает довольно сложное выражение для коэффициентов рассеяния жидкостей и паров их вблизи критического состояния, для идеальных же газов приводит к давно знакомой формуле Рэлея с небольшой поправкой за анизотропию молекулы. Трудно сказать сейчас, является ли здесь формула Рэлея первым приближением и не даст ли более строгое решение вопроса тех поправок, которые отличают формулу Ми для бесконечно малых частиц от формулы Рэлея, или возвращение к формуле Рэлея есть принципиальное и окончательное? Неизвестно также, какие изменения внесет в формулу допущение движения электронов. Поэтому настоятельная необходимость экспериментального исследования рассеяния в газах особенно сильно чувствуется.

В настоящее время ведется работа по определению температуры стратосферы сумеречным методом на основании визуальных наблюдений Фесенкова 1916 г. в предположении переменного молекулярного веса. Нечто аналогичное было сделано мною совместно с В. П. Ветчинкиным (3) несколько лет тому назад, но тогда мы определяли коэффициент рассеяния воздуха, исходя из „средней“ молекулы на данной высоте, а не суммируя коэффициенты рассеяния для отдельных составных частей. При том быстром изменении молекулярного веса, которое было нами предположено на высотах 60—100 км, получается значительная разница в вычисленных тем или иным способом коэффициентах рассеяния, так что этим обстоятельством может даже объясняться полученное нами резкое повышение

температуры с таким же резким ее падением („язык температуры“) на высоте 60—90 км. Оставляя вопрос о реальности этого явления пока открытым, могу на основании настоящей своей работы подтвердить, что прежний наш результат о господстве низких температур порядка 40° абс. на высотах больших 100 км остается в силе, если принять там чистый водород ( $M=2$ ). Эта температура должна быть повышена пропорционально молекулярному весу, если принять там иной состав. Что же касается относительно малых высот, то для согласования сумеречных наблюдений с температурой в 220°, даваемой аэрологическими и звуковыми наблюдениями на 30 км, следует принять молекулярный вес на 30 км очень малым ( $M=15.7$ ), что вряд ли правдоподобно. Таким образом, неувязка между указанными сумеречными наблюдениями, с одной стороны, и звуковыми и аэрологическими, с другой, не устраняется и в гипотезе атмосферы переменного молекулярного веса. Имея в виду факт приложения сумеречного метода к одному лишь ряду наблюдений, дающих, возможно, нетипичный случай сумеречной кривой, можно надеяться устранить эту неувязку путем накопления наблюдательного материала и получения сумеречных кривых в различных условиях. Только тогда можно будет надеяться на получение определенных результатов, которые сумеречный метод может и должен дать в вопросе изучения верхней стратосферы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gowan. Proc. Roy. Soc. (A), 120; 655 (1928) и 128; 531 (1930).
2. Lindeman and Dobson. Proc. Roy. Soc. (A), 102; 411 (1922) и 103, 721.
3. Тр. Астроф. общ., т. II; Р. Астр. журн., IV, в. 4; то же, VII, 100 и 303.
4. Gowan. Proc. R. Soc. (A), 128, 542.
5. Angenheister. Terr. Magn., 37, № 4 (1932).
6. Vegard. Terr. Magn., 37, № 3 (1932).



М. В. БЫЛОВ

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЛИЧЕСТВА ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ ПО ПОЛОСАМ ПОГЛОЩЕНИЯ В ИНФРА- КРАСНОЙ ЧАСТИ СОЛНЕЧНОГО СПЕКТРА

Фоуль (1), на основании работ, произведенных в Астрофизической обсерватории Смитсоновского института в Вашингтоне, по определению распределения энергии в спектре солнца, разработал способ определения количества водяного пара во всей толще атмосферы. Болограммы, полученные обсерваторией, показали обширные полосы поглощения в инфракрасной части солнечного спектра. Ими то и воспользовался Фоуль для своей работы.

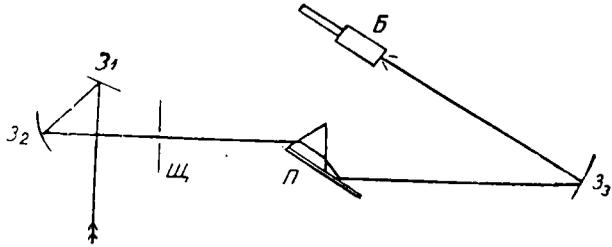
Наиболее удобными оказались полосы, обозначаемые:  $\rho$  ( $0.93 \mu$ ),  $\Phi$  ( $1.13 \mu$ ) и  $\Psi$  ( $1.4 \mu$ ) (в скобках указаны длины волн в микронах, положения максимумов поглощения в полосе).

Установка (2), которой пользовался Фоуль в своей работе, схематически представлена на фиг. 1.

На схеме  $\mathcal{Z}_1$  и  $\mathcal{Z}_2$  — зеркала сидеростата,  $\mathcal{U}$  — щель спектрографа, на которую падает луч солнца, отраженный зеркалами сидеростата,  $\mathcal{P}$  — призма из флинта с зеркалами,  $\mathcal{Z}_3$  — вогнутое зеркало, направляющее спектр на болометр  $\mathcal{B}$  (гальванометр и записывающая часть на схеме не показаны).

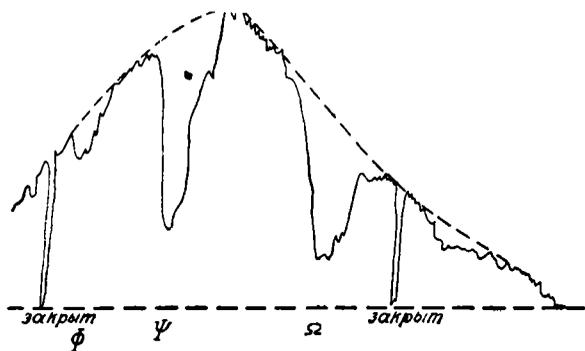
Определение поглощения водяным паром предварительно было произведено в лабораторной обстановке.

В этом случае источником света служила лампа Нернста, луч от которой проходил между зеркалами в трубе с двойными стенками. Зеркала находились на таком расстоянии, что путь луча до щели спектрографа равнялся 117 м, а добавочными зеркалами этот путь можно было довести до 245.5 м. Общий путь, считая и путь в спектрографе, равнялся в первом случае 128.5 м.



Фиг. 1.

Количество водяного пара в трубе определялось или „сухим и смоченным“ термометрами или путем взвешивания поглощенной воды хлоркальциевыми трубками и пятиокисью фосфора. Определения обоими методами дали хорошее согласие.



Фиг. 2.

Определение количества водяного пара производилось следующим путем. На полученной болограмме (фиг. 2) проводилась линия, соединяющая вершины кривой, и измерялась ордината от нулевой линии до максимума поглощения в полосе и ордината над этим максимумом,

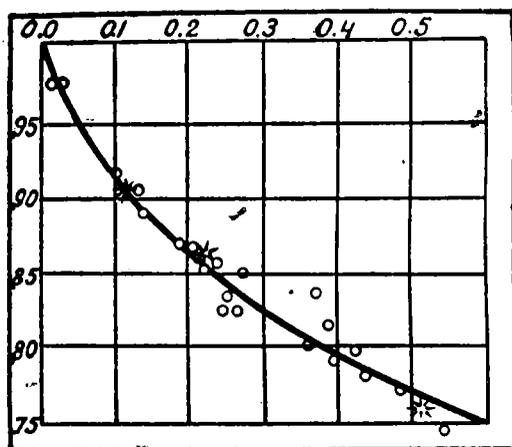
как если бы поглощение отсутствовало. Логарифм отношения измеренных ординат и служил мерою прозрачности для радиации.

Сопоставляя эти величины с количеством „осажденной воды“ (т. е. того слоя воды, который получился бы, если сконденсировать весь пар в столбе воздуха с тем же самым сечением), Фоуль нашел закономерность, графически представленную на фиг. 3 и 4.

На фиг. 3 представлена эта зависимость для полосы  $\Phi$  ( $1.13 \mu$ ), а на фиг. 4  $\Psi'$  ( $1.47 \mu$ ).

Так как количество водяных паров в трубе было то же, что и в окружающем воздухе, то максимальное количество „осажденной воды“ доходило только до 0.5 см.

В естественных же условиях количество „осажденной воды“ значительно больше. Для расширения диапазона графика перешли уже в естественные условия, измеряя полосы поглощения при разных высотах солнца. Этот прием позволил еще продолжить кривую до 3.5—4.0 см. На фиг. 5 представлена эта кривая. По оси абсцисс (так же, как и на фиг. 3 и 4) расположены количества „осажденной воды“ в сантиметрах, а по оси ординат — логарифмы пропускания. Сплошная кривая относится к  $\Psi$ , а прерывистая для  $\Phi$ .



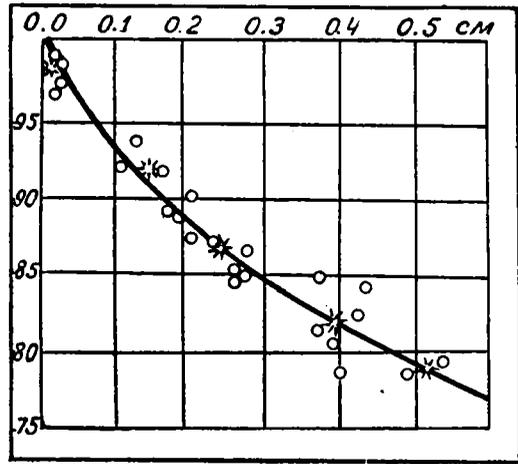
Фиг. 3.

Эти кривые позволили довольно просто обрабатывать получавшиеся болограммы.

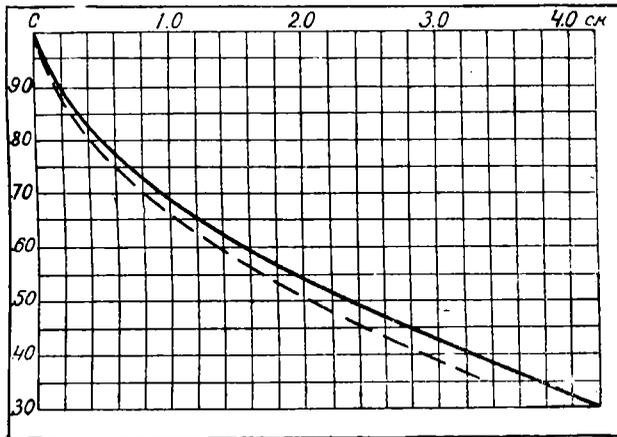
Нанп'ом дана была формула:  $Q_w = ke_w$ , где  $Q_w$  количество „осажденной воды“,  $k$  — постоянная величина и  $e_w$  — упругость паров у поверхности земли. По определению Нанп'а  $k = 2.3$ ; Humphreys дает для ясных дней другую величину, а именно  $k = 2.0$ . Приводя к уровню места наблюдения (Mount Wilson, 1730 м над ур. м.) величина  $k = 1.9$  на горе и  $k = 1.7$  — для свободной атмосферы на этой же высоте.

Предпочиталась постоянная, данная Humphreys'ом, так как наблюдения с спектроболографом производились исключительно в ясные дни.

Постоянная, полученная из наблюдений полос поглощения, дала  $k = 1.8$ , т. е. среднее между 1.9 и 1.7. Величина  $k$  для отдельных наблюдений колебалась в пределах от 0.33 до 11.8, что Fawle приписывает ошибкам наблюдения и считает,



Фиг. 4.



Фиг. 5.

что эти наблюдения пригодны лишь для определения средних величин.

Описанная установка непригодна для массовых наблюдений, так как представляет собой сложное и дорогое устройство. Так, например, призма спектрографа имела в стороне 13 см и в высоту 19 см, а длина всего спектрографа была около 12 м.

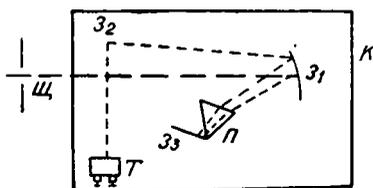
Более простой и портативный прибор

был предложен Горчинским, схематический вид которого представлен на фиг. 6.

На схеме:  $\mathcal{U}$  — щель, которая находится в фокусе объектива, не показанного на схеме,  $\mathcal{Z}$  — вогнутое зеркало. Отразившись от зеркала, луч падает на призму  $\mathcal{P}$ . Пройдя призму, луч отражается от плоского

зеркала  $\mathcal{Z}_3$  и снова проходит призму, после чего вторично отражается зеркалом  $\mathcal{Z}_1$  и направляется к плоскому зеркалу  $\mathcal{Z}_2$ , которое направляет луч на термобатарею Молля  $T$ .

На схеме не показаны гальванометр с регистрирующим барабаном (для фотографической записи) и приспособление, поворачивающее призму  $P$ , которое перемещает спектр по щели термобатареи.



Фиг. 6.

Приведенное на схеме устройство помещено в светонепроницаемый ящик  $K$ , установленный на параллактической установке с часовым механизмом.

Полученные таким спектрографом записи распределения энергии в спектре солнца, конечно, более грубые, чем записи

спектрографа, все же позволяют измерить количество водяного пара в атмосфере, что и было сделано Горчинским и Stenz'ем.

При измерениях также использовались полосы  $\Phi$  и  $\Psi$ . Измерения большой полосы поглощения  $\Omega$  ( $1.9 \mu$ ) оказались неудобными, вследствие сильного поглощения, и в наземных условиях давали слишком малую точность.

Наблюдения со спектрографом Горчинского ставились в нескольких местах, а именно: в Ницце, в Монпелье и в Тунисе.

Эти наблюдения показали хорошую сходимость с американскими наблюдениями и также показали большое колебание постоянной формулы Нанп'а, что авторами приписывалось действительным колебаниям содержания водяного пара, а не случайным ошибкам.

Применение подобного метода для изучения количества водяного пара в атмосфере, распределение его по высоте при свободных полетах могут представить известный интерес, необходимо только еще более упростить аппаратуру и использовать полосу поглощения  $\Omega$ , которая, как указывалось выше, чрезвычайно сильна и позволит измерять незначительные количества содержания водяного пара в атмосфере.

М. М. ВИЛЕНЧИК и Л. И. ДЕМКИНА

## ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА НЕБА СО СТРАТОСТАТА

### I

1. При полете стратостата „Осоавиахим I“ измерение цвета неба производилось с помощью цветной шкалы, изготовленной К. К. Томсоном. Шкала представляла собой полосу холста длиной в 40 см и шириной в 2 см, разделенную на 35 различно окрашенных участков.

Цветная шкала освещалась рудничной лампой 1.3W — 2.6V при рабочем напряжении в 2V. За лампой устанавливался рефлектор. Измерение цветовой температуры аналогичной лампы при напряжении 2V, произведенное (уже после полета стратостата) в Цветовой лаборатории ГОИ, дало значение 2375° K.

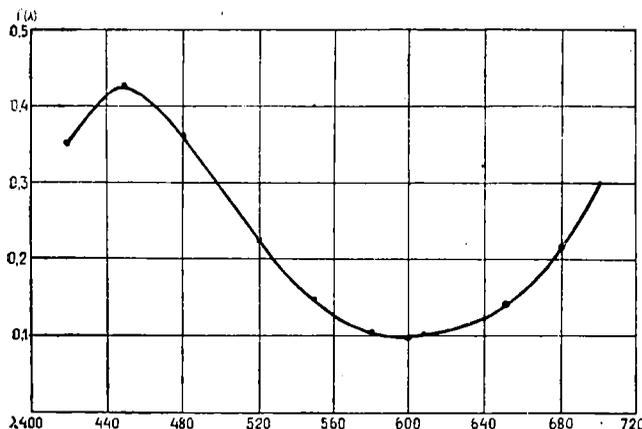
Лампочка была заэкранирована голубым светофильтром, спектрофотометрическая кривая пропускания которого дана на фиг. 1.

Во время сравнения цвета шкалы с цветом неба лампа с рефлектором передвигалась от руки около шкалы так, чтобы источник был по возможности ближе к используемому в данный момент участку шкалы. Сила света светильника в целом (лампа с рефлектором) не была измерена. Поэтому неизвестной осталась создаваемая им на шкале освещенность. Невозможно ручаться также и за постоянство ее во все время измерения, поскольку не фиксировалось ни расстояние лампы до шкалы, ни угол падения на нее светового пучка. Наконец, большое значение должно было иметь общее освещение внутри гондолы, которое могло быть различным в зависимости от положения ее относительно солнца.

Поэтому к приводимым ниже данным для относительного хода изменения яркости неба с высотой нужно относиться лишь как к сугубо ориентировочным.

2. Цвета шкалы Томсона были измерены в ГОИ на трехцветном колориметре Демкиной. На фиг. 2 приводится общая схема расположения отдельных частей установки. Здесь *O* — диффузный осветитель, *K* — собственно колориметр, *P* — коробка для испытуемых образцов — *T*, *U* — источник света, служащий для освещения шкалы, который поддерживался при температуре 2375° K, наконец *Ф* — голубой светофильтр — такой же, что и примененный на стратостате.

Таким образом, измерение цвета шкалы производилось при таких условиях, как если бы в стратостате она освещалась одним лишь искусственным светом. Такой способ был принят в виду полной невозможности учета роли общего освещения гондолы. Поэтому результаты измерения



Фиг. 1.

цвета с достаточной точностью дают лишь взаимное расположение отдельных цветов друг относительно друга. На фиг. 3 имеем участок поля цветов, в котором по осям координат отложены так называемые „трехцветные коэффициенты“  $x$  (красная составляющая) и  $y$  (зеленая составляющая). Из точки  $B$ , отвечающей цвету белой пластинки, освещенной стандартным белым источником  $B$  ( $4800^\circ K$ ), проведены прямые 470, 480..., дающие направления, по которым располагаются цвета соответственного цветного тона. Эти прямые пересекаются кривыми, определяющими уровни чистоты цвета — 10, 20, 30%. Кроме линий равного цветного тона и равной чистоты цвета, имеем на той же фиг. 3 кривую изменения цвета черного тела в зависимости от его температуры. Отдельные точки отмечают цвет соответственных участков шкалы.

Мы видим, что все они располагаются в виде широкой полосы, идущей параллельно линии черного тела, причем основная масса цветов лежит в области цветных тонов от 480 до 500, а чистота их цвета колеблется в пределах от 10 до 30%.

Если проследить изменение цветности в зависимости от номера участка шкалы, то невозможно обнаружить какой-либо закономерности.

На фиг. 4 графически представлены значения коэффициента яркости  $R$  шкалы в зависимости от номера участка  $N$ . Мы видим, что на протяжении всей шкалы он постепенно падает от 40 до 3.5% с тем, чтобы в конце ее опять несколько приподняться (до 5—8%).

цвета с достаточной точностью дают лишь взаимное расположение отдельных цветов друг относительно друга.

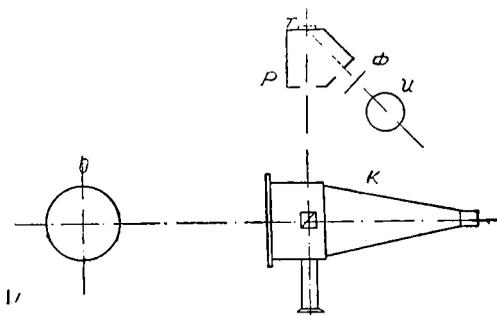
На фиг. 3 имеем участок поля цветов, в котором по осям координат отложены так называемые „трехцветные коэффициенты“  $x$  (красная составляющая) и  $y$  (зеленая составляющая). Из точки  $B$ , отвечающей цвету бе-

лой пластинки, освещенной стандартным белым источником  $B$  ( $4800^\circ K$ ), проведены прямые 470, 480..., дающие направления, по которым располагаются цвета соответственного цветного тона. Эти прямые пересекаются кривыми, определяющими уровни чистоты цвета — 10, 20, 30%. Кроме линий равного цветного тона и равной чистоты цвета, имеем на той же фиг. 3 кривую изменения цвета черного тела в зависимости от его температуры. Отдельные точки отмечают цвет соответственных участков шкалы.

Мы видим, что все они располагаются в виде широкой полосы, идущей параллельно линии черного тела, причем основная масса цветов лежит в области цветных тонов от 480 до 500, а чистота их цвета колеблется в пределах от 10 до 30%.

Если проследить изменение цветности в зависимости от номера участка шкалы, то невозможно обнаружить какой-либо закономерности.

На фиг. 4 графически представлены значения коэффициента яркости  $R$  шкалы в зависимости от номера участка  $N$ . Мы видим, что на протяжении всей шкалы он постепенно падает от 40 до 3.5% с тем, чтобы в конце ее опять несколько приподняться (до 5—8%).



Фиг. 2.

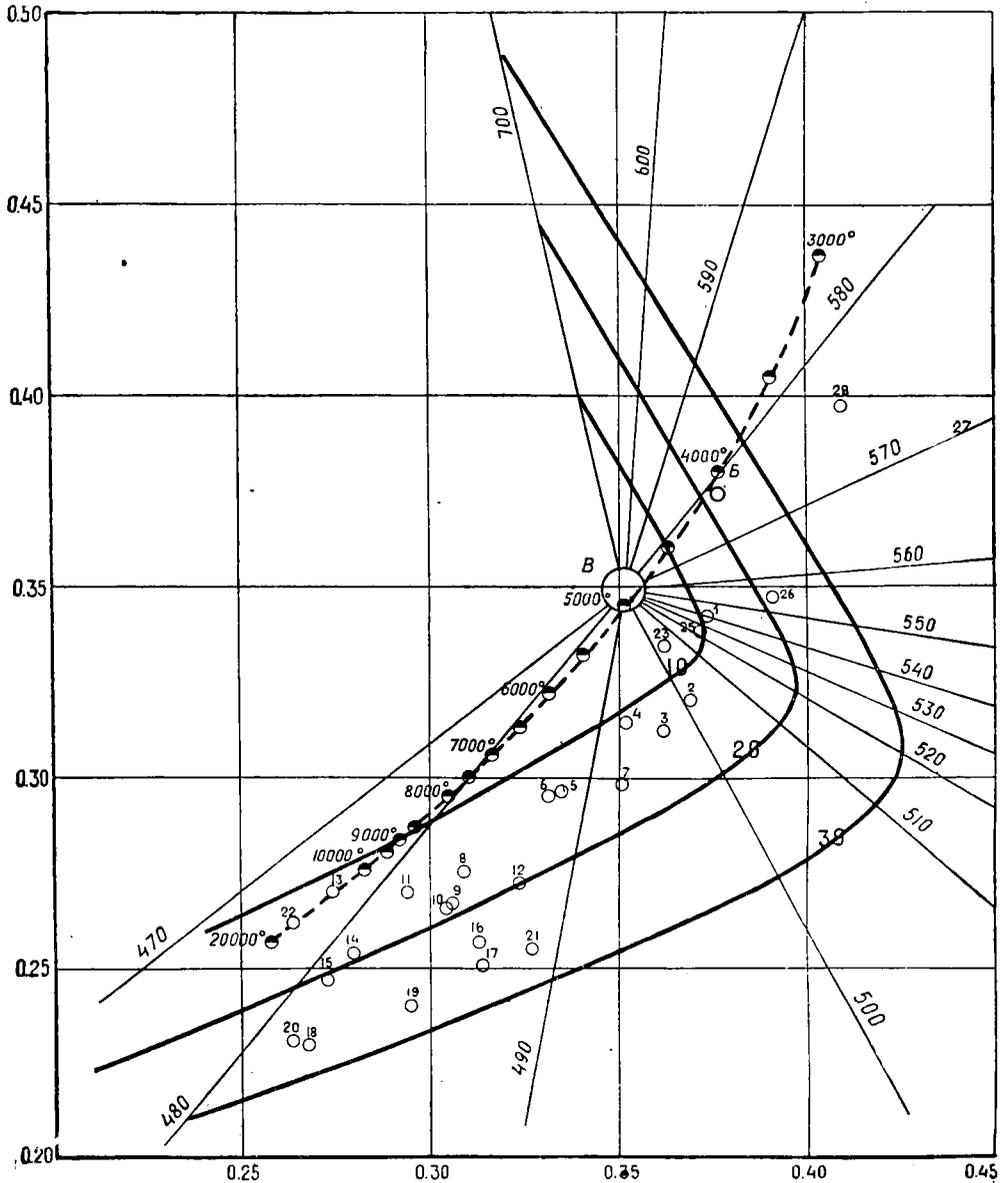
3. Некоторые из сохранившихся в бортовом журнале записей по измерению цвета неба представлены в следующих таблицах.

Таблица 1

Время	Высота в км	Цвет неба почти в зените (80°)			Цвет неба на горизонте			
		Название цвета	№ участка	$R_a$	Название цвета	№ участка	$R_r$	$\frac{R_r}{R_a}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ч. м.								
9 25	8.5	Темносиний	20	4.8	Темноголубой	9	23	4.8
9 35	11	» »	19	5.5	»	11	22	4.0
9 55	13	Темнофиолетовый	27—28	6.6	—			
10 34	19	Темнофиолетовый	28	7.6	Темноголубой	8	28	3.7
10 40	19	Темносиний	24—25	6.9	»	6—10	28	4.1
11 03	20	Темносерый	27—29	7.4	—	—	—	—
11 10	20	Темносинефиолетовый	—	—	—	—	—	—
11 55	21	Черно-фиолетово-серый	29	9.0	—	—	—	—
12 25	22	Черно-серый	32—33	5.8	—	—	—	—
13 30	21	» »	34	5.1	—	—	—	—
13 56	19	Черно-фиолетово-серый	30	10.3	Темноголубой	8	28	2.7
15 21	17	Темно-темнофиолетовый	28	7.6	—	—	—	—
15 23	16	Темно-темнофиолетовый	28	7.6	—	—	—	—
		В среднем		7.0			26	3.7

Таблица 2

Высота над горизонтом	Цвет неба на высоте 12 км			
	Название цвета	№№ участка	$R$	$\frac{R_{\alpha}^{\circ}}{R_{80}^{\circ}}$
1	2	3	4	5
20°	Темно-темноголубой	13	18	5.1
30	Синеголубой	16—17	10	2.9
45	Сине-голубой темный	17—18	8	2.3
60	Синий	19—20	5.1	1.5
70	Синий темный	21—22	4.1	1.2
80	Темносиний	22	3.5	1.0



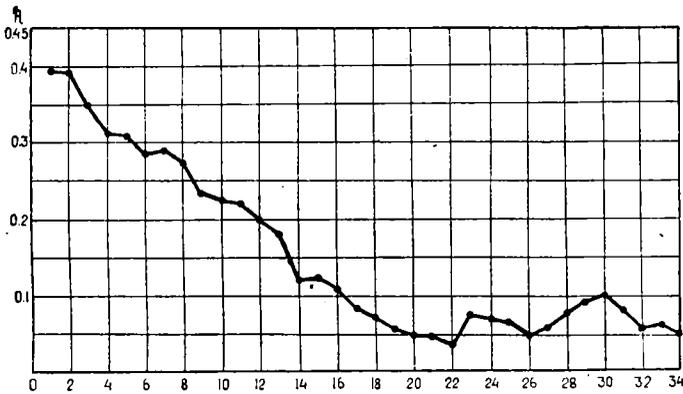
Фиг. 3.

В первой из них сопоставлены данные по измерению цвета неба на различной высоте для двух направлений — в зените и у горизонта. В 3 и 6 столбцах указана словесная характеристика цвета, которую давали стратонавты, в 4 и 7 — номера тех участков шкалы Томсона, цвет которых был близок к цвету неба, в 5 и 8 — значения коэффициентов яркости этих участков, наконец в последнем — отношение  $\left(\frac{R_r}{R_z}\right)$  коэффициентов яркости образцов, отвечающих цвету неба у горизонта и в зените.

Если бы освещенность шкалы всегда оставалась постоянной, то значения  $R$  были бы пропорциональны яркости неба. На самом деле это условие, повидимому, не соблюдалось. Так, если судить по данным 4 столбца, яркость неба в зените на высоте 8.5 км ( $R_s = 4.8$ ) была в два раза меньше, чем на высоте 19 км ( $R_s = 10.3$ ), что, конечно, не могло иметь места.

Поэтому использовать эти данные для суждения об изменении яркости неба с высотой не представляется возможным.

Гораздо более надежными являются данные последнего столбца, которые представляют собой отношения двух одновременно (т. е. в более



Фиг. 4.

или менее одинаковых условиях освещения) полученных значений  $R$ , и поэтому их можно считать равными отношению яркости неба соответственно у горизонта и в зените. Мы видим, что это число колеблется в пределах от 4.8 до 2.7 для различных высот, составляя в среднем 3.7.

В табл. 2 дается ход изменения значения  $R$  (стлб. 4) в зависимости от высоты участка неба над горизонтом, измеренное при высоте 12 км над землею. Если яркость в зените ( $80^\circ$ ) принять равной единице, то для других направлений получим значения, указанные в последнем столбце — у горизонта яркость неба в 5 раз превышает яркость в зените.

Таким образом, данные в табл. 1 и 2 дают один и тот же порядок в соотношении между яркостью неба у горизонта и в зените, а именно — 4—5. Однако, несмотря на это совпадение, их нельзя считать достаточно надежными.

В приведенных таблицах рядом с коэффициентом яркости  $R$  мы не даем значения цветности соответственных участков шкалы, так как в данных конкретных условиях измерения они не являются достаточно характерными.

Действительно, шкала была построена вполне закономерно лишь в отношении коэффициента яркости, цветность же колебалась от одного

участка к другому совершенно случайно. Поэтому равенство цвета шкалы и цвета неба наблюдатель мог устанавливать лишь по яркостному признаку, пренебрегая возможной разницей в цветовом тоне или в чистоте цвета.

4. Нам остается еще остановиться на том, как описывают свои цветовые ощущения сами стратонавты. Они называют небо и темносерым и темносиним и темнофиолетовым и все это практически на одной и той же высоте 19—21 км. Встает вопрос: почему наблюдаются столь разноречивые показания и обусловлено ли указание на фиолетовый цвет неба объективными или субъективными причинами?

Фиолетовый цвет может быть получен или за счет крайней части фиолетового конца спектра или при одновременном участии коротковолнового и красного его конца. В первом случае мы должны были бы иметь необычайно насыщенный цвет, который ни в коем случае нельзя смешать с серым (см. табл. 1), а во втором — фиолетовый цвет мог бы быть любой чистоты в зависимости от ширины работающих участков спектра.

Иными словами, если наблюдавшийся фиолетовый цвет обусловлен объективными причинами, то в спектре излучения неба должен существовать минимум в середине видимой его части (510—570  $m\mu$ ).

Гораздо естественнее предположение о субъективной природе этого явления. Известно, что при наблюдении цветных объектов наступает цветное утомление, так наз. цветовая адаптация, которая ведет к изменению наших ощущений.

Вполне возможно, что голубое небо у горизонта несколько „зеленее“, чем в зените; например, у горизонта — 480, а в зените 474  $m\mu$ . Как показывает опыт, произведенный в Цветовой лаборатории Н. Д. Ньюбергом, такой разницы совершенно достаточно для того, чтобы после фиксирования взглядом относительно яркого горизонта зенит уже казался фиолетовым (цветной тон 440).

Тем же явлением адаптации может быть объяснено и различие в показаниях наблюдателей.

## II

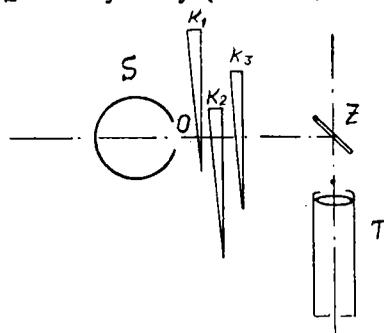
1. В виду необычайной простоты работы с цветными шкалами они находят большое распространение в практике измерения цвета. Испытуемый предмет и шкала, расположенные рядом, освещаются обычно одним и тем же источником света; поэтому установление цветового тождества не зависит от абсолютного уровня освещенности на них. Малые колебания в относительном спектральном составе освещения также практически не влияют на результаты измерений.

Иначе обстоит дело в данном случае, когда испытуемый объект — небо — и поле сравнения — участок шкалы — освещаются различными источниками, а именно солнцем и лампой. Здесь всякое изменение в напряжении лампы или в ее положении неизбежно ведет к нарушению раз установленного тождества. Для того, чтобы в этих условиях производить

измерения с помощью шкалы, необходимо очень тщательно следить за постоянством ее освещения.

Сама шкала должна быть составлена таким образом, чтобы в ней отражалась трехмерность цветового восприятия. Наиболее удобно если в ней закономерно меняются следующие величины: цветной тон, чистота цвета и коэффициент яркости. Однако при этом потребуется очень большое число образцов, что значительно осложнит работу. Так, даже грубая шкала из 20 ступеней по яркости, 6 — по цветному тону (от 440 до 490 через 10%) и 6 — по чистоте цвета (от 5 до 30% через 5%) дает уже 720 образцов.

Это число можно значительно сократить (до 36), если менять цвет лишь по двум направлениям, определяющим качество цвета, т. е. цветной тон и чистоту цвета, количественное же изменение осуществлять с помощью переменного освещения. Последнее можно проводить различно, важно лишь, чтобы был известен закон изменения освещенности на шкале.



Фиг. 5.

Такая шкала, тщательно защищенная от постороннего света и снабженная источником, создающим с достаточной точностью ту или иную освещенность, является уже в сущности колориметром. Она теряет свое основное преимущество — простоту, сохраняя существенный недостаток — ступенчатость и ограниченность области доступных измерению цветов.

Поэтому встает вопрос о специальном приборе для измерения цвета неба, который наряду с простотой и легкостью конструкции давал бы достаточную для практики точность.

2. Если стремиться к соблюдению условий, обеспечивающих надежность получаемых результатов, можно наметить несколько схем приборов, приуроченных для измерения цвета неба. Конструктивно простой является, например, схема фиг. 5.

Здесь  $S$  диффузный источник света, представляющий собой побеленный внутри сосуд, в котором помещается небольшая лампочка.

Задняя стенка осветителя через отверстие  $O$  наблюдается в зеркальце  $Z$ . Между ними два хроматических клина: фиолетовый  $k_1$ , и синезеленый —  $k_2$ , перемещая их получают любые промежуточные цвета. Третий клин  $k_b$  — серого цвета — служит для изменения яркости.

Эта система дает, таким образом, поле сравнения, которое с помощью зеркальца  $Z$  может быть сопоставлено с цветом неба, наблюдаемого непосредственно через отверстие в окулярной трубе  $T$ .

Перемещая клинья, возможно установить полное тождество сравниваемых полей. Путем соответственной градуировки нетрудно перейти от полученных при этом показаний по шкалам клиньев непосредственно к координатам цвета в одной из общепринятых систем.



Г. Н. РАУТИАН

## СПЕКТРОГРАФ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

§ 1. Объектами спектрографического исследования при стратосферных полетах могут явиться:

а) заэкранированная в условиях земного наблюдения полосами поглощения озона и кислорода область солнечного спектра  $2900\text{—}2000 \text{ \AA}$ ; б) полосы паров воды, кислорода и углекислоты в инфра-красной области солнечного спектра —  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ ; в) распределение интенсивности в спектре рассеянного атмосферой света; г) фотографическая спектрофотометрия земной поверхности.

Универсального решения в отношении аппаратуры, которая обслужила бы все эти задачи, быть не может.

Отдельно должен быть рассмотрен спектрограф для ультрафиолетовой области и отдельно для инфра-красной и видимой, т. е. три, самое меньшее — два типа.

Разделение типов может идти еще в ином направлении — в отношении автоматизации съемки или ручного их действия.

В дальнейшем рассматриваются основные черты намечаемого устройства ультрафиолетового спектрографа.

§ 2. В основу конструирования спектрографа надо положить:

а) достаточную дисперсию в области  $2000\text{—}4000 \text{ \AA}$ , т. е. достаточную длину спектра; б) достаточную светосилу; в) незаметное искривление линий; г) возможность многократных съемок; д) компактность и легкость.

Малый относительный вес прибора может быть достигнут экономичностью конструкции и применением легких и сверхлегких сплавов.

Требование компактности приводит к мысли применить систему à vision directe.

§ 3. Кривизна линий, связанная с показателем преломления, фокусным расстоянием коллиматора линзы и углом падения на грань призмы может быть сделана практически незаметной соответственным выбором вышеуказанных параметров, напр. так, чтобы стрелка прогиба линий при высоте спектра в 8 мм не превышала 0.2 мм.

§ 4. Предварительный расчет выполненный Оптико-вычислительным сектором ГОИ показал, что, применив систему à vision directe из одной

кварцевой призмы с углом в  $119^{\circ}9'$  и двух флюоритовых с углами  $90^{\circ}$ , можно получить дисперсию для участка  $2000\text{--}4000 \text{ \AA}$ , равную  $8\frac{1}{2}^{\circ}$ , при луче  $2746 \text{ \AA}$ , проходящем через призму без отклонения.

§ 5. В целях уменьшения размеров прибора и увеличения длины спектра желательно применить только одну линзу, отказавшись от параллельного хода лучей в призме.

В таком случае намечается такая оптическая схема спектрографа.

На  $95 \text{ мм}$  за щелью располагается ахроматизированная кварц-флюоритовая линза с фокусом  $70 \text{ мм}$  и рабочим отверстием  $12 \text{ мм}$ .

Непосредственно за линзой следует описанная выше призма, имеющая для суммы оснований флюоритовых призм  $82 \text{ мм}$ .

На расстоянии около  $300 \text{ мм}$  за линзой приходится плоскость изображения спектра, где и должен быть расположен светочувствительный фотографический слой. Общая длина спектрографа намечается, таким образом, примерно в  $40 \text{ см}$ .

При вышеуказанных данных длина спектра на отрезке  $2000\text{--}4000 \text{ \AA}$  получается около  $42 \text{ мм}$ , причем линза работает со светосилой  $1:23$  и даст увеличение  $\times 3$ .

Таким образом, при высоте щели  $3 \text{ мм}$ , высота спектральной полоски определяется в  $9 \text{ мм}$ .

§ 6. Имея в виду портативность прибора, крайне желательным было бы применить в нем для съемок ленту, хотя бы, например, разрезанный на полосы подходящей ширины аэрофотосъемочный фильм или же обычную киноплёнку.

§ 7. Фокусирование спектра и вообще визуальное его наблюдение возможно осуществить, применив флуоресцирующее стекло с выгравированной на нем шкалой длин волн, рассматриваемой в сильную лупу ( $\times 10$ ).

§ 8. Применение в призме двоякопреломляющего вещества, каким является кварц, заставляет принять меры к тому, чтобы двойное лучепреломление не искажало картины спектра и не понижало разрешающей силы прибора.

Для этой цели кварцевая призма должна иметь кристаллическую ось, направленную параллельно основанию.

Небольшое различие в показателях преломления обыкновенного и необыкновенного лучей у кварца ( $\Delta n = 0.01$ ) позволит мириться с тем, что не все лучи в спектре проходят кварцевую призму точно вдоль оси и потому должны давать некоторое раздвоение.

§ 9. Чтобы свести до минимума вращение плоскости поляризации, которым кварц также обладает, необходимо применить прием Соппи, делая кварцевую призму составной из двух половинок соответственно право- и левовращающего кварца.

§ 10. Для успеха съемок крайне существенным является возможность избавиться от рассеянного света других длин волн, который мог бы попадать на изучаемые места спектра. Для этой цели необходимо снабдить

спектрограф темным светофильтром, пропускающим, однако, ультрафиолетовые лучи. Таким фильтром мог бы явиться плавленный кварц, окрашенный никелем и марганцем.

§ 11. К прибору должна привинчиваться насадка для помещения его на штатив, позволяющая вместе с тем придавать ему различные наклоны в вертикальной плоскости и повороты по азимуту.

§ 12. Автоматизация съемки ставит два вопроса: экспонирование и смену светочувствительного слоя для новой съемки. Для последней цели необходим легкий часовой механизм, который на определенное время открывал бы действию света щель и перематывал бы фильм с одной катушки на другую.

§ 13. Для того, чтобы при вертикальном подвешивании прибора обеспечить попадание в него света, необходимо расположить против щели отражающую, хотя бы и диффузно, поверхность, которая освещалась бы солнцем независимо от возможного вращения прибора вокруг вертикальной оси и его качаний.

§ 14. Здесь возможны различные решения, из которых одно предполагает расположение прибора щелью вниз и под ним горизонтальную пластинку, обладающую диффузным отражением.

§ 15. Другим вариантом было бы расположение прибора в более устойчивом положении щелью вверх, при этом для освещения щели непосредственно под нею располагается своим срезом небольшая полая сфера (~ 3 см диам.) со снятым по параллели в верхней половине ее поясом (~ 8 мм ширины).

Небольшой расчет показывает, что при освещенности на сфере в 15 фот и коэффициенте отражения ее внутренних стенок, равном 0.85, внутри нее должна создаваться более или менее равномерная яркость около 1 стильба, т. е. больше яркости неба.

3 IV 1934

Цветовая лаборатория ГОИ.



## ПРЕНИЯ

ПО ДОКЛАДУ В. КАСТРОВА

**Акад. С. И. Вавилов.** Докладчик г. Кастров указывал, что с Рэлеевой теорией неблагоприятно, так как существуют некоторые расхождения между нею и опытом. Непонятно, что докладчик имел в виду, так как Рэлеевское рассеивание никаких сомнений не возбуждает. Постоянная  $N$  может быть удобно определена в лабораторных условиях. Таким образом, все факторы для расчета молекулярного рассеивания имеются налицо.

Насколько значительна роль Рамановского рассеивания в рассеивании света атмосферой — сейчас решить трудно. Возникает вопрос, что оно дает в количественном отношении?

Говоря о возможности объяснения аномалий рассеивания света в стратосфере, г. Кастров упомянул о возможности флуоресценции. опыты, которые ведутся в лаборатории акад. С. И. Вавилова, показывают, что под влиянием жесткой корпускулярной радиации в некоторых веществах возбуждается достаточной интенсивности флуоресценция. Если принять во внимание, что при наблюдении небесного свода для нас суммируется флуоресценция слоев большей толщи, то это, конечно, может создать довольно значительный эффект, особенно для фиолетовой части.

**В. Кастров.** Когда для объяснения неполноты поляризации теория Рэлея была обобщена Кабанном на случай анизотропных молекул и он, попробовав подсчитать число Лашмидта  $N$ , то получилось довольно значительное расхождение с другими методами определения этого числа. Поэтому и было упомянуто в докладе о невязках с теорией Рэлея. Правда, обобщения Кабанна было сделано в 1921 г., но, насколько известно, с тех пор ничего не было сделано для объяснения этого расхождения.

Что касается флуоресценции под влиянием корпускулярного излучения, то действительно газы обладают способностью флуоресцировать, особенно при малых давлениях. Кон (Канада) исследовал флуоресценцию, которая обнаружилась при давлении 0.4 мм. Им была высказана гипотеза, что флуоресценция происходит под влиянием корпускулярного излучения солнца, причем электроны летят не только по штермеровским путям, но еще и по прямолинейным, достигая освещенной части атмосферы. Он приложил свою гипотезу к целому ряду фактов из области атмосферной оптики, атмосферного электричества и магнетизма. Однако его аргументы весьма слабы, и возражения, которые недавно были сделаны Jensen'ом на эту работу, подвергают ее очень большому сомнению. Для геофизиков ясно, что все наблюдения, которые производятся у земной поверхности, ничего не говорят о флуоресценции.

Акад. **С. И. Вавилов** указывает, что его замечание относится к весьма высоким слоям.

**Н. А. Рынин.** Пикар перед полетом рассчитывал видеть звезды, но затем, как он пишет в своем дневнике, звезд на черном, почти фиолетовом небе не было видно. Такие же заключения делали и те, кто летал на наших стратостатах. Можно ли ожидать, что видны будут звезды, или их свет потонет в свете неба. Если видеть звезды возможно, то с какой высоты?

**Д. И. Еропкин** указывает, что он, интересуясь вопросом, который поднял акад. С. И. Вавилов о влиянии раман-эффекта, производил вычисления, как должны размываться контуры спектральных линий в атмосфере благодаря этому эффекту. При этом предполагалось, что атмосфера однородна и состоит из одного азота. Получилась величина порядка  $0.1\%$ . При некоторой натяжке можно ожидать в крайнем случае  $1\%$ .

По вопросу о видимости звезд со стратостата мы знаем, что ночное небо испускает довольно интенсивные эмиссионные линии, линии полярных сияний, линии азота.

В сумеречном свете Лайфер наблюдал очень большое число азотных полос. Возможно, что это эмиссионное свечение настолько сильно, что нужно считаться с тем, что оно помешает видимости звезд.

**Г. Н. Раутман.** При последнем полете стратостата должны были быть произведены снимки неба, которые указали бы распределение яркости по спектру; на стратостате имелся также люксметр, который должен был дать интегральную яркость неба. Сохранившиеся показания дают возможность говорить только о цвете неба, определявшемся по цветной шкале К. К. Томсона. Пластинки и записи отсчетов по люксметру не сохранились. Последние производились на целлулоидных пластинках, разбитых при катастрофе.

Что касается видимости звезд, то более естественно предположить, что звезды не были видны, потому что яркость неба в стратосфере даже для зенита не очень мала, а у горизонта, как показали вычисления Гершуна, даже очень значительна.

То противоречие, которое докладчик т. Кастров видел между наблюдениями над яркостью и цветом неба по шкале Томсона и теорией рассеяния, не позволяет еще делать какие-либо выводы в виду возможности субъективных ошибок. При таком элементарном, несовершенном способе, как визуальное сравнение раскрашенных полосок с небом при переменном освещении, можно ожидать ошибок в 10 раз.

**М. С. Эйгенсон** задает два вопроса. Во-первых, не совсем ясно, каково окончательное суждение об эмпирических результатах, полученных при подъеме на стратостате, по отношению к цвету неба. Здесь говорили, что цвет должен быть голубой, и получается резкое расхождение, потому что как раз при советских подъемах определено, что цвет фиолетовый и даже пурпурно-черного тона.

Во-вторых, — вопрос, уже заданный проф. Н. А. Рыниным, — о видимости звезд. Этот вопрос связан с вопросом о возможности наблюдать самые короткие ультрафиолетовые лучи светил. Не менее интересен вопрос о солнечной короне и об ореоле вокруг солнца на высоте стратосферы. Каковы в этой области результаты? Пока что эмпирических данных нет. Можно ли на этой высоте фотографировать лучи солнечной короны?

**В. В. Шаронов** считает, что вопрос о рассеивании света весьма важен с точки зрения теоретического изучения атмосферы. В связи с этим.

возникает практический вопрос о видимости со стратостата вниз. Очевидно, здесь имеет значение яркость различных слоев воздуха и воздушной дымки, и мы можем сделать расчеты о видимости земной поверхности с той высоты, на которой находится стратостат. Были сделаны расчеты для границы земной атмосферы; в надире видимость получилась хорошая, причем оказалось, что для каждой высоты существует определенный круг видимости, за которым видимость прекращается в зависимости от состояния тропосферы. Было бы интересно знать, можно ли сделать более подробные подсчеты надирной дымки.

Что касается видимости звезд, то, помимо соображения о яркости неба на высоте стратосферы, имеет значение освещение внутренности гондолы солнцем и те яркости, которые получаются при наблюдении вниз. Повидимому, адаптация глаза к этим большим яркостям и ведет к тому, что никто из наблюдателей, подымавшихся в стратосферу, не видел звезд,

**В. Кастров.** Оппонентами был сделан ряд замечаний относительно видимости звезд, причем Г. Н. Раутиан указывал на расчет Гершуна, согласно которому яркость зенита в стратосфере достаточно велика. По вычислениям докладчика она равняется около 75 свечей на  $1 \text{ м}^2$ . Это довольно большая величина, и несомненно, что при ней звезды не могут быть видимы. Поэтому влияние эмиссии ночного неба не нужно привлекать для объяснения этого факта.

Оценки, сделанные стратонавтами со шкалой Томсона, могут заключать большие ошибки, потому что мы не знаем, что стратонавты хотели определить. Если они хотели найти тон, более близкий по цвету на шкале, то они могли неверно определить яркость. Если они хотели определить яркость, то они не считались с цветом. Поэтому особенного внимания заслуживают оценки цвета, сделанные без применения каких бы то ни было приборов. Конечно, нельзя им вполне доверять сейчас, но они возбуждают интерес к этому вопросу. Несомненно, что благодаря одному рассеиванию мы не могли бы получить фиолетового цвета неба. Расчеты видимости солнечной короны в стратосфере докладчиками не делалось, хотя их сделать нетрудно. Яркость неба около солнца будет, по всей вероятности, того же порядка, что и яркость зенита, т. е. около 75 свечей на  $1 \text{ м}^2$ . Что касается яркости дымки, застилающей землю при наблюдении со стратостата, то приближенные расчеты можно сделать без особого труда.

#### ПО ДОКЛАДУ Н. Н. КАЛИТИНА

**В. Г. Фесенков** задает вопрос по поводу утверждения Н. Н. Калитина, что солнечная постоянная является действительно постоянной, а именно — каково отношение докладчика к 11-месячной периодичности, которая, очевидно, является реальной.

**Седых** спрашивает докладчика, существует ли воздухоплавательный актинометр.

**Ю. А. Победоносцев** задает вопрос о том, влияет ли на солнечную радиацию количество пятен и если влияет, то насколько?

**Н. Н. Калинин.** В настоящее время мы должны считать, что солнечная постоянная — постоянна. Если же на самом деле она меняется, то, конечно, весьма возможен 11-летний период.

Отвечая на вопрос т. Седых, Н. Н. Калинин указывает, что им был сконструирован пирано-альбедометр для наблюдений при полетах в страто-

сферу. Этот прибор измеряет потоки радиации, падающие на горизонтальную поверхность сверху и снизу. Если его подвесить на достаточно длинном подвесе под гондолой стратостата, то солнце не будет затеняться, а величиной рассеянной радиации, идущей сверху в стратосфере, по сравнению с потоком солнечной радиации можно пренебречь. Поэтому в условиях стратосферы он практически измеряет лишь прямую радиацию солнца. При применении его в тропосфере (напр. на дирижаблях) возникают трудности, связанные с тем, что по техническим соображениям его придется поместить где-нибудь сверху дирижабля, и, кроме того, благодаря неизбежной на дирижабле тряске, нельзя будет пользоваться для измерений силы термо-тока гальванометром. В своем докладе Ю. Д. Янишевский пояснит, как можно было бы обойтись без гальванометра.

Что касается указания тов. Победоносцева о связи с солнечными пятнами, то, повидимому, такая зависимость имеется, т. е. в связи с увеличением количества пятен увеличивается и радиация; однако количественную зависимость установить трудно. Известно, что деятельность солнца связана с магнитными явлениями на земной поверхности, но в то же время мы знаем, что при наличии весьма больших солнечных пятен, которые казалось бы должны были вызвать большие магнитные бури, этих бурь не наблюдается. И, наоборот, при малых солнечных пятнах, и даже когда эти пятна отсутствуют, налицо очень сильные возмущения. То же самое можно сказать в отношении радиации. Наблюдались группы пятен, которые влекли сильное увеличение радиации, а иногда прохождение пятен не отзывалось на радиации. До сих пор вопрос этот изучен весьма мало.

**В. Г. Фесенков** указывает на то, что он поставил вопрос не об 11-летней периодичности, а об 11-месячной. Постоянные годовые колебания не вызывают сомнения. Они совершенно естественны и хорошо изучены. Данные Смитсоновского института показывают, что в прежние годы наблюдалась определенная корреляция с коэффициентом прозрачности атмосферы. Следовательно, эти колебания имеют 12-месячную периодичность. В работе Аббота, при учете влияния озона, указывается, что его последние наблюдения устанавливают наличие корреляции не с 12-месячной периодичностью, а с 11-месячной. Этот вопрос и требует ответа.

**Н. Н. Калитин.** При определении солнечной постоянной мы ограничены точностью нашего актинометра и самой методики, поэтому вопрос трудно разрешим. Следует отметить, что и сам Аббот, установив эту корреляцию, потом от нее отказался. Вопрос этот требует еще дальнейшей разработки.

**М. С. Эйгенсон** спрашивает, какие актинометрические задачи можно поставить при подъеме стратостата.

**Н. Н. Калитин.** Из актинометрических задач можно поставить такие интересные вопросы, как измерение длины ультрафиолетовой части спектра, измерение интенсивности ультрафиолетовой радиации, вопрос об озоне. Если распределение озона подчиняется той гипотезе, которая сейчас принята, то, поднимаясь на высоту 35 км, мы вступаем уже в зону распространения озона и можем получать чрезвычайно интересные данные.

Все методы наблюдения солнечной постоянной основаны на весьма сильной экстраполяции. Всякая цифра, полученная наверху, может быть чрезвычайно ценна, чтобы подтвердить или разбить предположения, которые здесь делаются.

**М. С. Эйгенсон** указывает, что у Аббота есть 7 периодичностей, которые, возможно, связаны с процессами в тропосфере. Может быть следовало бы вскрыть земные источники в природе этих периодичностей?

**Н. Н. Калитин.** Колебания солнечной постоянной находятся почти в пределах точности наших измерений около земной поверхности. Поднимаясь на стратостатах, мы, вероятно, будем терять в точности измерений. Если мы будем разрабатывать такую методику, при которой можем в стратосфере получить радиацию с такой же точностью, что и на земле, то будем получать результаты более значимые. В этом направлении мы работаем.

**Седых** указывает, что т. Калитин говорил о возможности разрушения оболочки, и задает вопрос, не производилось ли обследования оболочки стратостата.

**Н. Н. Калитин** напоминает, что он говорил о действии на резину. Такие работы при конструкции оболочки стратостата производились в других учреждениях.

Исследование солнечной радиации представляет громадный теоретический интерес и дает целый ряд практических возможностей. Этот вопрос будет отмечен в резолюции.

#### ПО ДОКЛАДУ ЯНИШЕВСКОГО

**Н. Н. Калитин.** Доклад т. Янишевского касается интересного вопроса об измерении радиации в условиях полета в стратосферу. При всех полетах мы занимались этим вопросом, но натолкнулись на большую сложность наших измерений по сравнению с другими специальностями. Следует приветствовать методику, предлагаемую докладчиком. Очевидно, по этому пути придется идти, потому что измерение методом гальванометра очень затруднительно. Разработанный докладчиком метод очень простой и для нас весьма существенный и ценный.

#### ПО ДОКЛАДУ В. Г. ФЕСЕНКОВА

**В. Кастров** задает вопрос о том, какой вывод делает докладчик из тех наблюдений, которые производились в 1930 г. над температурой верхних слоев воздуха.

**В. Г. Фесенков** указывает, что подобного вывода им сделано не было.

**Н. М. Штауде** выражает сожаление, что высота, к которой относятся фотографические наблюдения явлений сумерек, не достигала 80 км. Сейчас нельзя увязать данные докладчика с величинами, наблюдаемыми им же в 1916 г. Лучше всего было бы исследовать градиент плотности  $k$ . Этот градиент  $k$ , на основе прежних работ В. Г. Фесенкова, Штауде изобразила на графике, причем сразу обнаружилось, что стратосферу можно разбить на три части: первая часть — до 70 км — характеризуется почти постоянной величиной градиента, затем от 115—150 км — другая область постоянства  $k$ , а в промежутке оно резко меняется.

Разделив таким образом стратосферу на три части, Штауде продолжила математически ряд значения для  $k$  от того момента, когда  $k$  вступает в область своего резкого изменения. Получилось очень медленное изменение  $k$ ; если коэффициент рассеяния разложить на сумму двух, то получается, что рассеяние в стратосфере может быть представлено как сумма двух рассеяний. Одно изменяется плавно, другое имеет явно выраженный максимум на высоте выше 100 км. Сначала коэффициент рас-

сеяния (одно слагаемое) возрастает, затем — отчетливый максимум и далее медленное падение. Повидимому, есть возможность изучать слой Хевисайда после захода солнца на основании явления сумерек. Это дало бы также возможность освободить наблюдаемое значение коэффициента рассеяния от влияния космической пыли.

Касаясь доклада В. Г. Фесенкова, Штауде полагает, что в данном случае теория и лабораторные исследования не сказали своего последнего слова, потому что теория рассеяния Рэлея исходит из предположения, что молекула представляется сплошной. Теория Ми вносит поправку и расширяет теорию Рэлея о рассеянии света от сплошных частиц, но теория Ми применяется к не сплошным молекулам. Мы весьма далеко ушли от подобного понятия о молекуле. В настоящее время теория рассеяния, созданная Кабанном, приводит к формуле Рэлея с небольшими поправками, но она исходит из предположения, что электроны неподвижны в молекуле. Нет основания думать, что теория, приведшая Рэлея к установлению определенного закона и в более развитом виде созданная Ми, даст худшие результаты. Есть возможность синтезировать теорию Кабанна и теорию Ми. Желательно поставить лабораторные исследования для удовлетворительного определения экспериментальным путем коэффициента рассеяния, чтобы, имея известное предположение об изменении молекулярного веса при изменении состава, сразу подсчитать на основании экспериментальных данных, каков должен быть коэффициент рассеяния. К сожалению, экспериментальные работы у нас недостаточно точны, что имеет практическое значение. При подсчете наблюдений по теории Рэлея и по теории Ми, было получено весьма интересное расхождение на высоте от 60 до 100 км. Рассматриваемый  $M_s^2$ , относящийся к среднему молекулярному весу, вносит также погрешность. Такой же путь был выбран в первой работе Штауде, но теперь она убедилась, что выводы этой работы следует пересмотреть, так как рассеяние зависит от состава воздуха. Возьмем средний молекулярный вес; если  $M$  быстро изменяется, то получается большая разница в теоретических кривых, которая может быть объяснена также повышением температуры на этих высотах.

**В. В. Шаронов.** Может быть метод фотометрии сумерек при исследованиях высших слоев атмосферы является одним из наиболее простых и легких и дающих конкретный результат в виде распределения температуры и плотности в атмосфере.

Следует пожалеть, что до сих пор имеется так мало материала в области фотометрии сумерек. Хотелось бы узнать, какого рода аппаратура необходима и каково должно быть распределение обсерваторий для подобных наблюдений. Одним из результатов настоящей Конференции должна быть организация систематических фотометрических наблюдений над сумерками на целом ряде обсерваторий Союза.

В. В. Шаронов лично склоняется к визуальным наблюдениям, но не исключает возможности, что фотографические наблюдения могут дать лучший результат.

**В. Г. Фесенков** к задаче исследования сумеречных явлений подходит с точки зрения фотометрической методики, как астрофизик. Поэтому он считает задачу законченной, если она доводится до вывода оптических плотностей воздуха на разных высотах.

В. Г. Фесенков не вполне согласен с указанием Штауде о том, что изменение среднего молекулярного веса может повести к значительным погрешностям.

Если бы было необходимо учитывать характер индикатрисы рассеяния, то крупные частицы оказались бы далеко преобладающими по сравнению с более мелкими. Однако нам все равно, какая здесь будет индикатриса рассеяния, так как все явление сумерек соответствует лишь небольшому изменению в зенитном расстоянии солнца. Он полагает, что какой-нибудь заметной погрешности эта сторона дела внести не может.

Что касается инструментального оборудования, то аппаратура может быть самая разнообразная, но она должна обеспечить возможность одновременной регистрации яркости по крайней мере в двух точках неба, симметрично расположенных относительно зенита. Применение визуального фотометра предполагает определение яркости лишь в одной точке небесного свода в каждый данный момент, что является не вполне целесообразным. Он применял два трубочных фотометра, которые вращались около вертикальной оси. Эти два фотометра регистрировали яркость двух точек неба — на запад и на восток. Затем вся система поворачивается, и производилась регистрация в двух других точках. Таким образом, в быстрой последовательности регистрировались яркости в вертикале солнца в четырех точках неба, симметричных относительно зенита.

Смарт применял при наблюдениях сумерек фотоклетку. Подобные наблюдения были недавно поставлены в Англии. Не представляет затруднения разработать этот вопрос детально.

#### ПО ДОКЛАДАМ Г. В. КРУПЕНСКОГО И В. И. СЕМЕНОВА

**М. М. Гуревич** по докладу т. Семенова указывает, что если схема, изображенная на чертеже, приблизительно соответствует масштабу прибора, то, судя по размеру положительной линзы и расстоянию ее от пластинки, ждать равномерной освещенности этой пластинки не приходится, потому что там входит косинус 4-й степени, а явление дисторсии, как будто бы, не должно ничего прибавить в смысле равноосвещенности, создаваемой отверстием объектива.

Относительно последнего аппарата, который состоит из двух зеркал и комбинации линз, докладчик указал, что допускаемое расстояние — менее 3 мм при светосиле 4.5; размеры большого зеркала им указаны не были. Размер зеркала должен быть порядке 90 см в диаметре. Насколько это портативно? Не потребуется ли поставить очень жестко условия для абберрационного совершенства поверхности и возможно ли такое большое зеркало изготовить с нужной степенью точности?

**Б. Семейкин.** Докладчик т. Крупенский указал, что целый ряд факторов определяют качество фотопластинки, в том числе контрастность и чувствительность, подразумеваемая под последней спектральную чувствительность пластинки. Это в действительности так и есть. Но ведь можно идти другим путем. Можно сохранить высокую чувствительность и на время потерять контрастность и затем при обработке пластинки применять такие реактивы, которые обеспечат максимальную контрастность.

Далее докладчик не указал тех новых путей, которые применяются в отношении сенсбилизации пластинок. Насколько известно, применение криптоцианина особой чувствительности не дало. Из доклада не явствует, насколько Институт аэрофотосъемки, представителем которого является докладчик, обеспечен сенсбилизаторами, очувствляющими пластинки в сторону инфра-красной части спектра и насколько зона их действия глубоко распространяется.

Украинский институт метрологии и стандартизации занят аналитической работой при участии т. Семейкина в этой области. Результаты работ института настолько удачны, что оказалось возможным фотографирование в полной темноте предметов, освещающихся электрическим утюгом, при экспозиции в один час, т. е. той экспозиции, которая применяется и при аналогичных заграничных пластинках. Здесь доходим до 9600 А.

**К. А. Кириллов** указывает, что т. Семенов, не приведя цифровых данных, до некоторой степени голословно сделал свое сообщение. Поэтому возникает ряд сомнений. Для специальных снимков, нужных для измерения кривизны земли, требуется соответствующая аппаратура, которая опирается в светосилу. Неясно, что тов. Семенов подразумевает под светосилой объектива. Известно, что со светосилой можно работать 1:3.5 или 1:4. Если же пойти выше, например 1:1 или 1:2.1, то эти объективы будут страдать искажениями, которые потом никакой трансформацией не исправить. Если говорить о тех искажениях, которые возможно заметить со стратостата и вычислить, то это является невозможным. Дисторсия, которая здесь предлагается, является несовершенной в том смысле, что вместе с ней вводится другая аберрация. Задачи, которые здесь поставлены, — правильны, но подход к ним является неправильным. Может быть некоторые цифровые данные, которые будут представлены, дадут некоторое разъяснение.

**Семенов.** Светосила должна быть порядка 4.5. Это тот предел, который мы требуем от широкоугольной оптической системы. Здесь говорилось о сферичности земли, но еще большее значение имеет атмосферная рефракция. То и другое необходимо и можно исправить только с помощью дисторсии. Других путей нет.

Закон дисторсии должен удовлетворять закону Ламберта, т. е. закону падения освещенности, но сжатие изображения на краях снимка в известной мере это компенсирует.

Снимки, имеющиеся у т. Семенова, исполненные камерой ШК, показывают, что они получаются достаточно равноосвещенными.

В отношении зеркал, насколько известно, не получается таких больших габаритов, как указывалось. Если даже предположить, что диаметр здесь 90 см, то эти 90 см особого значения не имеют. Что касается сферической поверхности, то дело именно в том, что она сферическая, а не асферическая, так как это упрощает ее изготовление.

**Г. В. Крупенский** указывает, что в докладе он останавливался на вопросах фотоматериала, не касаясь вопросов обработки его. Рассматривались только свойства, присущие данному материалу вне зависимости от того, что получится дальше, хотя, конечно, можно, а в некоторых случаях необходимо, компенсировать свойства данного материала его дальнейшей обработкой. Но по вполне понятным причинам надо, чтобы материал обладал нужными свойствами — в этом случае отпадает всегда нежелательная последующая обработка негатива. Хороший негатив должен быть получен сразу, а не в результате исправления плохого.

По поводу сенсibilизаторов тов. Крупенский указывает, что он не считал нужным докладывать о том, какими сенсibilизаторами располагает Институт аэрофотосъемки. Это частный вопрос. Все работы в отношении сенсibilизаторов институту известны, и имеется полная возможность ими пользоваться.

## **ПРОБЛЕМЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**



П. Н. ТВЕРСКОЙ

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРЫ

Электрическое состояние атмосферы, определяемое в основном теми процессами ионизации, которые мы наблюдаем в ней во всей ее толще, самым теснейшим образом связано не только с разрешением ряда основных проблем геофизики, среди которых можно назвать здесь проблему отрицательного заряда земли, проблему внешнего магнитного поля и его вариаций, земные токи, полярные сияния, но также с разрешением ряда вопросов, имеющих большое практическое значение, среди которых несомненно первое место принадлежит вопросам радио-связи как в направлении изучения условий распределения электромагнитных волн, так и в направлении выяснения вопроса об „атмосферных помехах“.

Наши непосредственные инструментальные наблюдения над электрическим состоянием атмосферы простираются, к сожалению, до сравнительно небольших высот, порядка 10 км для проводимости и 20 км для напряжения электрического поля; к тому же и число этих измерений весьма незначительно. На большие высоты — в частности на наиболее интересные нас в практическом отношении слои стратосферы — нам приходится экстраполировать данные, полученные для более низких слоев, а свои заключения об электрическом состоянии весьма высоких слоев атмосферы мы вынуждены строить на основании ряда косвенных соображений. Ряд явлений и прежде всего некоторые особенности в характере вариаций магнитного поля земли, а также полярных сияний и особенно возможность огибания электромагнитными волнами земной поверхности требовали предположения о значительной проводимости высоких слоев атмосферы. Это предположение (впервые высказанное еще в 1878 г. Бальфур Стюартом, а затем в 1902—1903 гг. Кеннели и Хевисайдом), в связи с развитием радио-связи на коротких волнах за последние годы, получило настолько убедительное подтверждение, что в настоящее время в этом ни у кого нет никаких сомнений; и сейчас вопрос заключается лишь в том, чтобы детально изучить эти слои в отношении их электрических свойств и теоретически обосновать наблюдаемую степень проводимости.

Электрические свойства атмосферы и электрические процессы, происходящие в ней, особенно в ее нижних частях до высоты 30—40 км, имеют существенное значение для успешного разрешения интересующей нас проблемы — освоения стратосферы. Основными факторами, определяющими всю совокупность наблюдаемых нами электрических явлений в атмосфере, являются, с одной стороны, процессы, обуславливающие ее ионизационное состояние (ее проводимость), и процессы электризации, а с другой стороны, процессы, благодаря которым отрицательный заряд земли, уничтожаемый притекающими к нему из атмосферы положительными зарядами, непрерывно возобновляется.

Если первая группа процессов в настоящее время изучена достаточно подробно, то этого никак нельзя сказать про вторую группу; в связи с этим ничего нельзя сказать и о причинах электрического поля земли которое появляется в результате совокупного действия поверхностного заряда земли и объемных зарядов атмосферы.

Все попытки найти факторы, поддерживающие указанную выше разность потенциалов и ежесекундно подводящие к земной поверхности отрицательный заряд порядка в 1400 кул., до сего времени не привели ни к какому удовлетворительному результату.

На основании имеющихся наблюдений можно утверждать, что в обычных условиях состояния атмосферы электрическое поле в ней направлено вниз и его напряжение составляет у земной поверхности в среднем  $-120 \frac{\text{вольт}}{\text{м}}$ , что при средней проводимости атмосферы в  $2 \cdot 10^{-4}$  сек.<sup>-1</sup> обуславливает наличие вертикального тока проводимости с плотностью порядка  $-2.7 \cdot 10^{-16}$  амп/см<sup>2</sup>. Своей проводимостью в районе, прилегающем к земле, атмосфера обязана присутствию в каждом см<sup>3</sup> воздуха у земной поверхности 600—700 так наз. легких ионов с подвижностью порядка  $1-2 \frac{\text{см/сек}}{\text{вольт/см}}$ , которые представляют собою комплексы молекул газов (порядка 10—15 молекул); имеющиеся в нижних слоях атмосферы, в местах ее наибольшей запыленности, иногда в весьма большом числе „тяжелые“ ионы в проводимости играют весьма второстепенную роль в силу их малой подвижности, но зато они имеют весьма большое значение в образовании свободных объемных зарядов, оказывающих весьма резкое влияние на величину напряжения электрического поля. Ионизационное состояние нижних слоев атмосферы изучено весьма подробно, и мы знаем, что основными ионизаторами в тропосфере являются космические лучи. Роль радиоактивных веществ, содержащихся в атмосфере и земной коре, весьма невелика, и их действие сколько-нибудь заметно сказывается только до высоты порядка 2 км; что же касается ионизации, обусловленной действием космических лучей, то представление о ней можно получить из следующих чисел:

высота	= 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 км
ионизация	= 1	2	3.5	5	7	9.5	13	17	20.5	23 I,

полученных Виганом в результате перерасчета на свободную атмосферу данных, полученных из наблюдений помощью прибора Кольгерстера и ему подобных. \*

Если подсчитать ионизацию на больших высотах, то, принимая во внимание уменьшение плотности атмосферы с высотой, мы получим ее уменьшение, а именно будем иметь :

на высоте $h = 20$	40	60 км
ионизация $I = 18$	1	около $5 \cdot 10^{-2}$ .

Учитывая, однако, что подвижность ионов с высотой увеличивается, мы должны ожидать значительного увеличения и проводимости атмосферы, что и подтверждается как наблюдениями на горах, так и теми, правда, немногочисленными наблюдениями, которые были сделаны во время свободных полетов и полетов на аэропланах, когда на высоте около 10 км была встречена проводимость порядка  $40 \cdot 10^{-4}$  сек.<sup>-1</sup>, т. е. примерно в 20 раз большая, чем у земной поверхности. Бенндорф, принимая космические лучи за единственный источник ионизации в тропосфере, дает для изменения проводимости  $\lambda$  с высотой  $h$  следующую эмпирическую формулу:

$$\lambda = \lambda_0 e^{-\frac{h}{3.8}},$$

которая весьма удовлетворительно согласуется с результатами наблюдений и дает следующие числа:

	$h = 0$	1	3	6	9	15
	$\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$	$5.7 \cdot 10^{-4}$	$9.7 \cdot 10^{-4}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$	$2.3 \cdot 10^{-2}$
$F = -\frac{dV}{dh}$	-120	-42	-25	-11	-5	-1.1
				20	30 км	
				$8.5 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \text{ сек.}^{-1}$	
				$-38 \cdot 10^{-1}$	$-2.1 \cdot 10^{-2} \text{ в/м}$	

В последней строке этой таблицы приведены теоретические значения напряжения электрического поля, полученные на основании аналогичной эмпирической формулы:

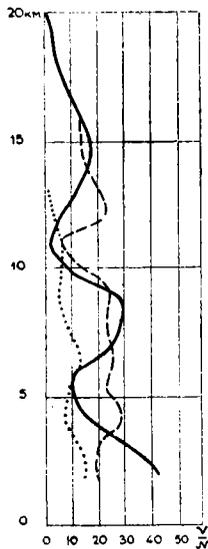
$$F = F_0 e^{-\frac{h}{3.8}}.$$

Что касается значений напряжения поля, полученных путем непосредственных измерений, то оказалось, что с высотой оно действительно довольно быстро убывает, особенно в нижних слоях, доходя на высоте около 9 км до величины, измеряемой несколькими вольтами на метр, ( $\approx -5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ ); правда, данные, полученные Идраком методом подъема регистрирующих приборов на шарах-зондах, как будто бы указывают на до-

\* В этой таблице и дальше буквой  $I$  обозначена сила ионизации, при которой образуется 1 пара ионов в  $1 \text{ см}^3$  за 1 сек.

вольно заметное увеличение напряжения поля при переходе от тропосферы к стратосфере, с последующим убыванием в последней до высоты около 20 км, где оно приближается к нулевым значениям; но эти данные несомненно нуждаются в проверке и уточнении. Мы приводим на фиг. 1 средние данные, полученные Идраком.

Естественно, что результаты каждого отдельного измерения как проводимости, так и напряжения поля будут, и иногда очень сильно, отличаться от указанного среднего характера изменения с высотой, так как в каждом отдельном случае мы будем иметь дело с различными массами воздуха, зачастую резко отличающимися своими физическими свойствами, в том числе и свободными зарядами. Особенно большие нарушения мы должны наблюдать в районах развития интенсивных процессов электризации, подобных тем, какие мы наблюдаем в грозowych облаках и при пылевых и снежных бурях.



Фиг. 1.

... ночью  
 --- утром  
 ——— днем

На границе раздела таких воздушных масс, различных в электрическом отношении, должны происходить различного рода процессы выравнивания их электрических свойств; наиболее резкой формой таких процессов является молния, но многие из них несомненно происходят в формах, не наблюдаемых нами невооруженным глазом, и по нашему глубокому убеждению проявляются в тех атмосферных помехах, с которыми мы имеем дело при работе с радиоприемником; наши работы в Слуцке по изучению атмосферных помех дают основание утверждать, что многие из последних идут из очагов, расположенных на стыке воздушных масс

различного происхождения, преимущественно из мест, характеризующихся особенно сильной неустойчивостью масс в термодинамическом и динамическом отношениях. Соответствующим образом организованные наблюдения над этими помехами, можно надеяться, позволят локализовать подобные участки атмосферы и, следовательно, могут быть использованы в Службе погоды. С другой стороны, их изучение дает возможность определить условия радио-приема. Приходится также иметь в виду то возможное влияние, какое могут оказывать различного рода поверхности раздела в атмосфере, особенно при работе малыми мощностями, на радио-связь лётного аппарата (стратостата) с землей; это особенно важно в случае определения координат передатчика помощью радио-пеленгации, так как при некоторых условиях возможно искривление траектории луча при переходе через такие поверхности раздела.

При полетах в стратосферу необходимо считаться с наличием электрического поля, влияние которого прежде всего проявляется в том, что в момент отрыва от земной поверхности каждый лётный аппарат (стратостат)

уносит на себе значительный отрицательный заряд, который в общем случае будет тем больше, чем больше размеры аппарата и чем выше он при старте располагается в атмосфере. Правда, этот заряд во время полета благодаря проводимости атмосферы постепенно рассеивается, и аппарат в каждый момент стремится принять потенциал некоторой уровенной поверхности того участка атмосферы, в котором он находится, но это выравнивание потенциала не происходит достаточно быстро, и потенциал аппарата всегда будет отличен от потенциала точек окружающей атмосферы; даже принятие чрезвычайно сильных мер, способствующих выравниванию потенциалов, не может иногда оказаться действительным, особенно при резких колебаниях напряжения поля и быстром движении аппарата. Указанное обстоятельство усложняется в некоторых случаях еще тем, что аппарат во время полета может приобрести весьма значительные заряды, появляющиеся при работе моторов на аэропланах и дирижаблях, а также при сбрасывании балласта при свободных полетах; мало выяснено, но также возможно приобретение заряда по ряду других причин, в частности в результате фотоэлектрического действия солнечных лучей на оболочку, gondolu и другие части стратостата. Происходящие в результате этих зарядов искажения нормального электрического поля весьма трудно учитываются, что, между прочим, весьма затрудняет проведение наблюдений над полем во время полетов. Но и при отсутствии собственных зарядов стратостата он вносит в естественное поле искажения, которые в общем сводятся к тому, что первоначально параллельные между собой изопотенциальные поверхности вокруг стратостата сильно сгущаются около его верхней и нижней частей, а, следовательно, градиент потенциала около этих частей сильно увеличивается, причем это увеличение будет тем больше, чем больше вертикальные размеры стратостата. Наконец, еще одно обстоятельство может иметь существенное значение — это наличие достаточной проводимости всей поверхности лётного аппарата и хорошего электрического контакта между всеми его частями, так как только в этом случае может быть выполнено условие, при котором весь лётный аппарат будет находиться при одном и том же потенциале; в противном случае между отдельными его частями могут возникнуть разности потенциалов, могущие повести к появлению большей или меньшей силы электрических токов и разрядов, весьма нежелательных особенно в стратостатах, наполняемых легко воспламеняющимся газом, каким является водород.

Наиболее интересными элементами для измерения на значительных высотах являются напряжение электрического поля и проводимость, так как знание одновременных значений этих величин дает возможность путем вычисления найти и вертикальный ток; также интересны и непосредственные измерения числа ионов. Говоря о методике этих измерений, следует учесть, с одной стороны, указанное выше уменьшение с высотой напряжения поля и увеличение проводимости, а с другой стороны, то иска-

жающее влияние на естественные условия, которое оказывает стратостат; это предъявляет определенные требования как в отношении чувствительности и конструкции приборов, так и в отношении соответствующего выбора места их расположения, обычно на значительном расстоянии от гондолы. Сверх того трудности, связанные с проведением непрерывных визуальных наблюдений во время высотных полетов, побуждают стремиться к возможно наибольшей автоматизации применяемых приборов, сводя роль наблюдателя в основном к пуску прибора в работу и к контролю за его действием. Эти вопросы подробно разобраны в докладе Р. А. Аллика, почему мы на них останавливаться не будем, отметив только, что на основе указанных соображений к полету стратостата „СССР“ нами были построены как прибор для регистрации напряжения поля помощью радиоактивных коллекторов, так и прибор по типу прибора Гердиена для регистрации проводимости, показавшие при испытаниях вполне удовлетворительные результаты; регистрация осуществлялась фотографическим способом помощью струнных электрометров. Приборы в полете не участвовали по ряду случайных причин. Нашей ближайшей задачей является, разрабатывая и уточняя дальше методику измерений, поставить исследование неизвестных пока нам высот как при предстоящих полетах в стратосферу, так и путем применения метода шаровозондов.

Переходя к вопросу об электрическом состоянии высоких и верхних слоев атмосферы, следует еще раз подчеркнуть, что все наши заключения в этом направлении базируются на тех косвенных выводах, которые мы получаем из наблюдений над теми геофизическими явлениями, которые в известной мере зависят от электрического состояния этих слоев — сюда относятся некоторые явления в области земного магнетизма, полярные сияния и так наз. „атмосферные помехи“, — эти явления представляют, так сказать, эксперименты, осуществляемые самой природой, и роль человека здесь пассивна, мы должны стремиться по возможности к наиболее полному и непрерывному наблюдению над этими экспериментами во времени и пространстве. Из активных методов изучения электрического состояния этих слоев — методов, которыми мы можем распоряжаться по своему желанию, варьируя время, место и условия опыта, — мы в настоящее время имеем один — это так наз. метод электромагнитных волн, в основном заключающийся в изучении условий отражения и поглощения в высоких слоях атмосферы электромагнитных колебаний различной частоты.

Все эти эксперименты доставляют нам некоторые более или менее достоверные данные, характеризующие электрическое строение высоких слоев атмосферы; дальнейшей нашей задачей является теоретическое обоснование и объяснение наблюдаемой картины, что естественно представляет трудную задачу из-за отсутствия точных сведений о составе и физических свойствах атмосферы на этих высотах, а также о действующих здесь агентах; с другой стороны, решая задачу при тех или иных

вероятных предположениях, мы можем в то же время выбрать наиболее вероятные из последних и косвенно осветить, таким образом, основной вопрос о составе и строении атмосферы на этих высотах.

Данные, полученные на основании только что упомянутых экспериментов, позволяют с полной достоверностью при вертикальном расчленении атмосферы, выделить в стратосфере, кроме слоя озона, еще один слой, нижняя граница которого располагается на высоте примерно 75—80 км и характерной особенностью которого является весьма высокая степень проводимости, превышающей, примерно, в  $10^{12}$  раз проводимость слоев атмосферы, прилегающих к земной поверхности. Этот верхний слой с полным основанием можно назвать ионосферой, так как весьма заметная часть молекул и атомов газа на этих высотах находится в ионизированном состоянии. На основании имеющихся данных следует считать, что строение ионосферы оказывается довольно сложным и, прежде всего, несомненно слоистым; при этом в настоящее время с уверенностью можно говорить о наличии двух областей повышенной ионизации: области *E*, уровень максимума ионизации которой располагается на высоте около 100 км, и области *F*, располагающейся на высоте, примерно, в два раза большей, т. е. около 200 км, причем возможно, что эта область имеет также слоистое строение с вторичными максимумами ионизации на высотах 200, 240 и 280 км. Кроме областей *E* и *F*, весьма вероятно существование промежуточного слоя *M*, располагающегося между ними, а также возможно существование слоев, располагающихся выше области *F*, но несомненно, что плотность ионизации в них меньше, чем в последнем; некоторые данные указывают на возможность существования таких слоев даже на высотах, повидимому превышающих 1000 км. Следует здесь же отметить, что эта общая картина расслоения ионосферы отличается чрезвычайной подвижностью в связи с сильной изменчивостью определяющих ее факторов, и ни в коем случае не следует представлять себе указанные области, как располагающиеся по сферам, концентрическим с земной поверхностью; так, возможно, как это убедительно показали одновременные наблюдения в Ленинграде и Мурманске, при наличии слоя *E* в одном пункте — отсутствие его в другом, не говоря уже о различной высоте этого слоя над различными участками земной поверхности. Для численной характеристики степени ионизации в этих областях, которая по тем же причинам подвержена чрезвычайно сильным колебаниям во времени, приведем некоторые средние числа, дающие порядок величин, с которыми мы имеем дело. Предварительно заметим, что из наблюдений над прохождением коротких волн мы можем вычислить лишь концентрацию электронов, так как малоподвижные ионы оказывают весьма малое влияние на преломление волн, причем их действие по отношению к распространению таково, что один электрон эквивалентен  $4.10^4$  ионов. Несомненно, что проводимость ионизированных слоев обусловлена наличием как ионов, так и свободных электронов, причем упомянутые слои отличаются и в этом

отношении один от другого, и в то время как в нижнем слое значительно преобладают ионы, в верхнем слое число свободных электронов уже достаточно велико и приближается к числу положительных ионов. Выражая плотность ионизации числом свободных электронов в  $1 \text{ см}^3$ , мы для слоя  $E$  в полдень для дня равноденствия можем принять ее равной  $2 \cdot 10^5$ ; в летний полдень плотность ионизации в 2.2 (а по Appelton'у даже в 3.1) раза больше, чем зимой; ночные минимальные значения составляют около  $\frac{1}{20}$  полуденных. Что касается слоя  $F$ , то здесь плотность ионизации в полдень примерно в  $3\frac{1}{2}$ —4 раза больше, чем в слое  $E$ , причем максимум ионизации по невыясненным причинам наступает 1—2 часа спустя после полудня; как сезонные (зима—лето), так и суточные колебания в слое  $F$  меньше таковых для слоя  $E$ ; так, Аппельтон дает для слоя  $F$  отношение летнего максимума к зимнему равным 1.5—1.8. Некоторые авторы дают несколько большие цифры.

Эта общая картина строения ионосферы, полученная на основании данных земного магнетизма и, главным образом, методом радио-волн, последним методом изучена также и во многих отдельных деталях как ее строения, так и ее периодических и непериодических колебаний (см. доклад проф. М. А. Бонч-Бруевича).\*

Нашей задачей является найти объяснение наблюдаемой картине, что сводится к выявлению действующих ионизаторов, их интенсивности и условий поведения образующихся ионов и электронов, в сильной мере зависящих от состава и физического состояния атмосферы. Действительно, тогда в выражении для проводимости:  $\lambda = \Sigma \varepsilon (n_+ u_+ + n_- u_-)$  все величины могли бы быть определены; здесь  $\varepsilon$ —элементарный заряд,  $n_+$ ,  $n_-$  и  $u_+$ ,  $u_-$  числа ионов и их подвижности каждого знака, причем число ионов в простейшем случае изменяется во времени по закону:

$$\frac{dn}{dt} = I - \alpha n^2,$$

где  $I$ —интенсивность ионообразования, а  $\alpha$ —коэффициент воссоединения.

• Если же принять во внимание, что при ионизации в начальный момент образуются положительные ионы и свободные электроны и число последних изменяется во времени в результате образования за их счет отрицательных ионов и воссоединения их с положительными ионами, то скорость изменения их числа определится из выражения:

$$\frac{dN}{dt} = I_e - \alpha N n - \frac{N}{\tau},$$

где  $\frac{N}{\tau}$  есть число электронов, присоединяющихся к нейтральной молекуле.

В качестве возможных, действующих на интересующих нас высотах ионизаторов мы можем рассматривать различного рода излучения как

\* Между прочим есть намеки на весьма интересную связь этих колебаний с пятнообразовательной деятельностью солнца, магнитными бурями и грозами.

электромагнитной природы, так и потоки корпускул, заряженных и нейтральных, идущие к нам от солнца, от других планет и звезд и, возможно, из мирового пространства, а также и некоторые второстепенные причины — падение метеоров и др. Однако, основываясь на экспериментальных данных, можно утверждать, что основной действующей причиной являются солнечные излучения. Более детальное рассмотрение в отдельности действия каждого из этих ионизаторов будет дано дальше, сейчас же мы остановимся на вопросе о том, как разрешается вопрос о плотности ионизации на высоте и о ее колебаниях во времени. Этот вопрос в самой общей форме получил успешное разрешение только в последние годы, главным образом, благодаря теоретическим работам Чэпмана. Чэпман рассмотрел ионизирующее действие монохроматического излучения, идущего от солнца, для любой точки атмосферы, в зависимости от высоты —  $h$ , времени дня и года ( $\delta$  и  $\Phi$  — склонение солнца и местное время в радианах) и географической широты места ( $\varphi$ ) при следующих основных предположениях:

1. Состав атмосферы определяется как смесь газов с плотностью убывающей по закону  $\rho = \rho_0 e^{-\frac{h}{H}}$ , где  $H$  — высота однородной атмосферы.

2. Поглощение излучения, независимо от его характера, на любой высоте пропорционально его интенсивности и давлению газа.

3. Коэффициент рекомбинации —  $\alpha$  не зависит от высоты и времени.

При этих предположениях для интенсивности ионизации в любой точке дается уравнение:

$$I(\delta, \Phi, \varphi, z) = I_0 e^{1-z - \frac{e^{-z}}{\cos \kappa}} = I \exp. \left\{ 1 - z - \frac{e^{-z}}{\cos \kappa} \right\},$$

где  $z = \frac{h-h_0}{H}$  и  $\kappa$  угол, составленный падающими лучами с вертикалью,  $I_0$  и  $h_0$  — максимальная ионизация и высота, где она наблюдается при отвесно падающем излучении ( $\kappa = 0$ ).

Для числа  $n$  ионов, содержащихся в  $1 \text{ см}^3$  в любой момент времени в дневные часы, дается уравнение:

$$\sigma_0 \frac{dn}{d\Phi} + n^2 = \exp. \left\{ 1 - z - \frac{e^{-z}}{\cos \kappa} \right\} = F(z, \kappa);$$

для ночи последнее уравнение принимает вид:

$$\sigma_0 \frac{dn}{d\Phi} + n^2 = 0.$$

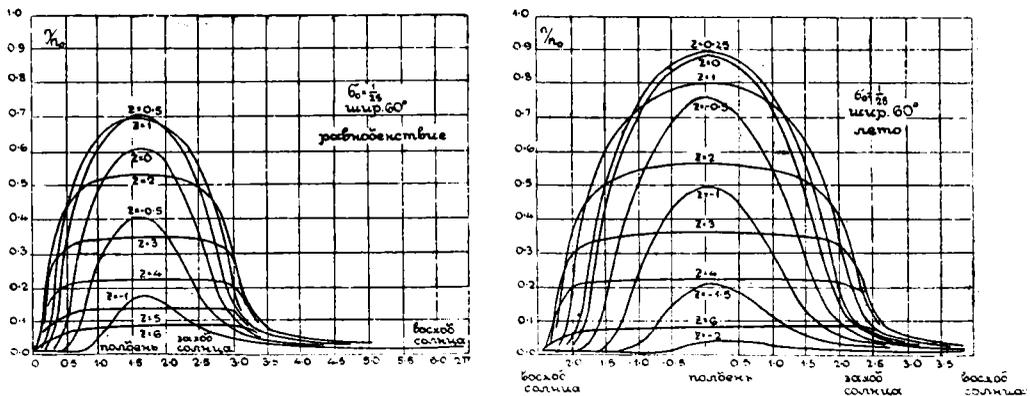
$$\text{Здесь } n = n_0 : n_0 \text{ и } \frac{1}{\sigma_0} = 1.37 \cdot 10^4 \sqrt{I_0 \alpha},$$

причем  $n_0 = \sqrt{\frac{I_0}{\alpha}}$ , т. е.  $n_0$  и  $\sigma_0$  можно рассматривать как параметры, определяющие  $I_0$  и  $\alpha$ .

Эти уравнения дают самое общее решение и могут быть применены к любому излучению и при любых предположениях, причем благодаря соответствующему выбору единиц определенные численные значения входящих в них величин подставляются только в конечные формулы.

Назовем величину  $D = h_0 - h = 2H$  толщиной ионизируемого слоя — это толщина ионизируемого слоя от его нижней границы до высоты максимальной ионизации, тогда общая толщина слоя будет примерно в  $2^{1/2}$  раза больше, т. е. нарастание плотности ионизации в нижней части слоя происходит быстрее, чем ее убывание в верхней части слоя.

Характер распределения числа ионов на различных высотах и в различные моменты также может быть получен для различных значений пара-



Фиг. 2.

метра  $\sigma_0$ , и на фиг. 2 представлены результаты таких вычислений для широты Ленинграда ( $\varphi = 60^\circ$ ) для дня равноденствия и летнего солнцестояния при значении  $\sigma_0 = \frac{1}{25}$ , каковое, по мнению Чэпмана, ближе всего отвечает наблюдаемой картине; на фиг. 3 дано распределение числа ионов на высоте в различное время дня.

Приведенные выше ур-ния не учитывают влияния кривизны земной поверхности и соответствующих слоев атмосферы; для того, чтобы учесть это влияние, необходимо ввести в рассмотрение параметр  $R$  — расстояние от центра земли до высоты, на которой в полдень над экватором мы имеем наибольшую ионизацию.

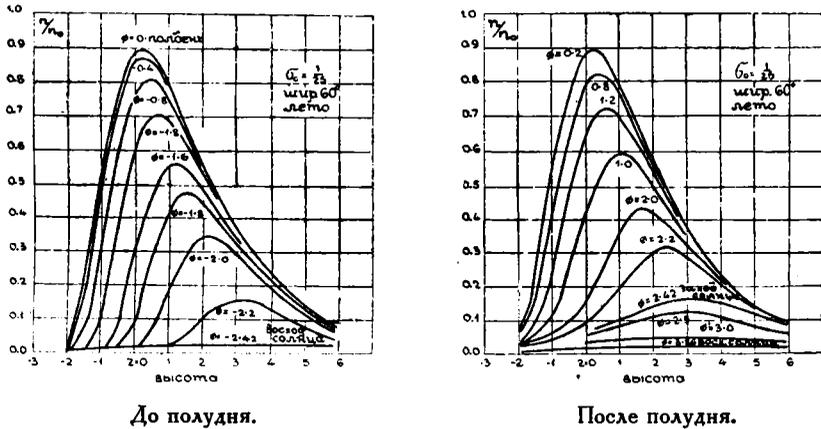
Введение этой поправки сказывается заметным образом только в моменты около восхода и захода солнца и существенным образом картины не изменяет.

Подобного рода расчеты дают возможность составить карты распределения ионизации в верхних слоях атмосферы, беря за координаты географическую широту и долготу.

Однако указанная теория, определяя весьма удовлетворительно общий характер вариаций во времени, не определяет ни высоты, на ко-

торой располагается слой и которая зависит от величины коэффициента абсорбции и абсолютного значения давления, ни абсолютного значения плотности ионизации, каковые приходится устанавливать на основании данных земного магнетизма и радиоизмерений. Следует также отметить, что общий вид ионизированного слоя определяется для данного газа только его температурой. Таким образом, совершенно необходимо точное знание значения  $H = \frac{RT}{gM}$ , которое для  $T = -53^\circ C = 220^\circ K$  имеет значение:

для	$\frac{1}{H}$	$2H$ (толщ. иониз. слоя в км)
$N_2$ . . . . .	$1.5 \cdot 10^{-6}$	12
$O_2$ . . . . .	$1.72 \cdot 10^{-6}$	13
He . . . . .	$2.15 \cdot 10^{-7}$	94
$H_2$ . . . . .	$1.08 \cdot 10^{-7}$	185



Фиг. 3. Распределение числа ионов в зависимости от высоты в различное время дня.

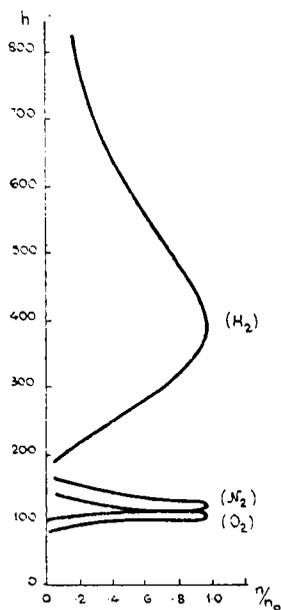
При иной молекулярной массе и иной температуре значения  $H$  могут сильно отличаться от приведенных выше, и, напр., если среда состоит из атомного кислорода при температуре  $T = 400^\circ K$ , то для нее  $H = 23$  км.

Относительно действующих ионизаторов общим является мнение, что главнейшим из них является ультрафиолетовое излучение солнца, ионизирующее действие которого для каждого газа и каждой длины волны определяется соответствующей величиной энергии ионизации.

При этом несомненно, что газы, входящие в состав атмосферы на этих высотах, могут встречаться как в атомном, так и в молекулярном состоянии. Величина энергии ионизации для некоторых, возможных составляющих частей атмосферы определяется следующими числами:

газ	O	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	He	вольт —
ионизационный потенциал	16.6	16.1	16.1	16.9	25.3	
длина волны излучения	910	770	770	730	490	Å —

Из этой таблички видно, что говорить о ионизации гелия ультрафиолетовой радиацией не приходится вследствие большого ионизационного потенциала, когда действующими лучами могут быть только лучи длиной волны меньше  $50 \mu\mu$ , но несомненно, что ионизация атомного кислорода может быть обусловлена действием этой радиации. Если не считаться с возможностью образования последнего в результате диссоциации молекул  $O_2$ , происходящей под действием лучей с  $\lambda = 1850 \text{ \AA}$  ( $6\frac{1}{2}$  вольт) и с диссоциацией озона —  $O_3$  ( $\lambda = 2900 \text{ \AA}$   $4\frac{1}{4}$  вольт), а также



Фиг. 4.

с естественным сосредоточением его на больших высотах (что предполагает Чэпман), то можно, как это делают Форстерлинг и Лассен, принять, что слой  $F$  образуется в результате ионизации водородной атмосферы, а слой  $E$  — кислородной и азотной. Относительная плотность ионов на разных высотах при этих предположениях дана на фиг. 4.

При малом давлении и малой склонности водородных электронов к образованию „ионов“ мы будем иметь в слое  $F$  большое число свободных электронов (мах.  $1.3 \cdot 10^6 \frac{e}{\text{см}^3}$ ). При этом, вследствие медленного воссоединения нет совершенно никакой надобности предполагать наличие ночью каких-то дополнительных ионизаторов для объяснения наблюдаемой картины. Однако, как справедливо указал еще раньше Паннекук, наличие водородной атмосферы, поглощающей лучи с  $\lambda < 770 \text{ \AA}$  исключает возможность положения ионизированного кислородного и азотного слоя на высотах ниже, примерно, 200 км; этим ставится под сомнение сама

возможность существования водорода в высоких слоях тем более, что и спектр полярных сияний не обнаруживает водородных линий. Чэпман, считая ультрафиолетовую радиацию основным ионизатором для верхнего слоя (220 км), для возможности объяснения ионизации нижнего слоя допускает наличие нейтрального корпускулярного излучения (возможно нейтроны), ионизирующего, прежде всего, молекулярный азот; что касается заряженных частиц солнечного происхождения, то они достигают только областей приполярных, где они проникают до высоты 80 км. Правда, это предположение Чэпмана встречает серьезные возражения и, прежде всего, в вопросе о возможности проникновения подобных частиц до требуемой высоты (скорость в 1600 км/сек. недостаточна); но здесь возникает вопрос о возможности экстраполяции данных лабораторных опытов по закону эквивалентных масс на те малые плотности газовой среды, которые мы имеем на этих высотах, и вопрос окончательно не разрешается. Решение вопроса о наличии такого корпускулярного излучения можно было бы

получить из наблюдений над радио-волнами во время солнечного затмения в полосе возможной корпускулярной тени, положение которой не должно совпадать с оптической тенью Луны, в силу значительно большей аберрации. Весьма интересные соображения по вопросу о возможном действии солнечных лучей, даже сравнительно большой длины, высказаны С. М. Крючковым (см. его доклад).

Хотя многое в вопросе о деталях процесса ионизации под действием солнечных лучей еще не вполне ясно, но, без сомнения, они являются главным ионизирующим агентом. Что касается световых излучений Луны, звезд и планет, то их возможное влияние на ионизацию еще не вполне ясно. Наибольший интерес представляет вопрос об источниках ионизации в высоких широтах во время полярной ночи; наиболее вероятным, как указано выше, является действие потока заряженных частиц, проникающих в эти области, но возможно, как думает Гельберт, что ионизация в этих областях атмосферы производится теми ионизированными молекулами, которые, вылетев из экваториальных и тропических областей на весьма большие высоты, при своем обратном падении попадают в полярные области под действием магнитного поля земли. Малочисленность наблюдений в полярных областях затрудняет решение вопроса, и наши наблюдения на Земле Франца-Иосифа и в Мурманске, которые были проведены во время II МПГ и которые несомненно должны быть продолжены и расширены, несомненно помогут выяснить этот вопрос.

Из всех возможных других ионизаторов атмосферы остановимся на космических лучах. Являясь главным и, можно сказать, единственным ионизатором в тропосфере и в нижних слоях стратосферы, в ионосфере, они, несомненно, отходят на задний план. Хотя Бенндорф в своих расчетах (1926 г.) пришел к довольно высоким значениям ионизации, производимой этими лучами, и полагает, что ею можно было бы объяснить ночную электропроводность, но к такому выводу он приходит потому, что, считая коэффициент воссоединения  $\alpha$  пропорциональным плотности, берет его значение на высоте 100 км равным  $\alpha = 10^{-12}$ ; Гельберт, позднее разбирая подробно этот вопрос, показал, что ионизация, вызываемая космической радиацией на высотах свыше 60 км, ничтожна по сравнению с ионизацией, обусловленной ультрафиолетовыми лучами солнца во всех широтах и во все часы дня и ночи; он оценивает ее в  $1.28 \cdot 10^4$  электронов и положительных ионов в секунду в столбе сечением в  $1 \text{ м}^2$  от высоты в 60 км до междупланетного пространства, в то время как ионизация под действием ультрафиолетовых лучей составляет величину больше  $2.10^8$ .

Таким образом следует, повидимому, признать, что космические лучи могут обусловить лишь весьма слабо проводящий постоянно существующий слой на высоте около 70 км, причем активными могут быть только очень мягкие, но интенсивные компоненты, не наблюдаемые у земной поверхности.

При решении всех вопросов, связанных с ионизацией, существенное значение имеет рекомбинация ионов различных знаков, а в интересующих нас слоях также процесс рекомбинации положительных ионов с свободными электронами и процесс образования отрицательных ионов, в результате оседания электронов на нейтральных молекулах. В теории Чэпмана сложность этого вопроса обходится тем, что путем подбора параметра  $\frac{1}{\sigma_0} = 1.34 \cdot 10^4 \sqrt{I_0 \alpha} = 1.34 \cdot 10^4 n_0 \alpha$  подбирается решение, ближе всего удовлетворяющее наблюдаемой картине; беря значение  $\sigma_0 = \frac{1}{25}$ , как наиболее подходящее для слоя  $E$ , мы получим следующие числа:

$$\begin{aligned} \text{при } n_0 = 10^6 \quad \alpha &= 2.10^{-9} \\ \text{„ } n_0 = 10^7 \quad \alpha &= 2.10^{-10} \end{aligned}$$

Для слоя  $F$ , по данным Миллингтона, наиболее подходящим значением  $\sigma_0$  будет значение  $\sigma_0 = 1$ , что дает при  $n = 10^6$  значение  $\alpha = 7.10^{-11}$ .

Как известно, численное значение коэффициента воссоединения для положительных и отрицательных ионов воздуха при  $0^\circ\text{C}$  и 760 мм составляет  $\alpha = 1.6 \cdot 10^{-6}$ . Маккалунг и другие нашли, что от давления он не зависит, т. е.  $\alpha_p = \alpha_0$ , по теории же Ланжевена он изменяется по закону  $\alpha_p = 2.1 \cdot 10^{-9} p$ , где  $p$  — давление в мм. Однако, принятие теории Ланжевена для высоких слоев весьма сильно противоречит результатам наблюдений и приводит к очень малому изменению концентрации ионов во времени.

Поэтому Томсон, введя в рассмотрение электрические силы взаимодействия между  $+$ -ионами и свободными электронами при больших свободных путях, усовершенствовал эту теорию, получив для  $\alpha$  значение, примерно, в 10 раз больше, т. е.  $\alpha_{Th} = 2.1 \cdot 10^{-8} p$ .

Педдерсен и Гельберт учитывают в своих рассуждениях, что в верхних слоях, наряду с рекомбинацией, имеет место также улавливание свободных электронов нейтральными молекулами, но поскольку численное значение электронного сродства, к сожалению, изучено еще не достаточно точно, мы лишены возможности дать сколько-нибудь точные данные для учета этого фактора, и дальнейшие как теоретические, так и экспериментальные исследования в этом направлении особенно желательны.

В заключение следует упомянуть о том, что в результате возможных и вероятных движений сильно ионизированных масс воздуха в высоких слоях могут образоваться электрические поля и возникать электрические токи. В качестве причин, порождающих последние, можно указать: вторжение в атмосферу заряженных частиц, различную скорость диффузии электронов и молекулярных ионов, тепловые движения ионизированного газа в магнитном поле земли и т. д. Современное состояние наших сведений об этих токах, о которых мы судим по вариациям магнитного поля земли, изложено в докладе Н. В. Пушкова, и мы останавливаться на этом не будем.

Подводя итоги изложенному, мы видим, что изучение электрического состояния атмосферы в настоящее время значительно продвинулось вперед; однако многое в этой области наших знаний еще находится в стадии более или менее вероятных гипотез и нуждается в дальнейшем интенсивном изучении, особенно в части, касающейся электрического состояния верхних слоев атмосферы, в отношении которых мы, на основании данных относительно ионизационного состояния, сможем судить о составе, давлении, температуре и прочих физических свойствах атмосферы на интересующих нас высотах.

Что же касается электрического состояния нижних слоев атмосферы до высот, техническое освоение которых мы ставим своей ближайшей задачей, то изучение их в этом отношении приобретает особую актуальность ввиду тех воздействий на лётный аппарат, которые могут наблюдаться со стороны электрических процессов в атмосфере.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Appleton, E. V. On Some Measurements of the Equivalent Height of the Atmospheric Ionised Layer. Proc. Royal Soc., v. A 126, 1930, 542—569.
2. Appleton, E. V. and Naismith, R. Some Measurements of Upper Atmospheric Ionisation. Proc. Royal Soc., v. A 137, 1932, 36—54.
3. Appleton, E. V. and Naismith, R. Weekly Measurements of Upper Atmospheric Ionisations. Proc. Physic. Soc., 45, 1933, 399—413.
4. Appleton, E. V. Fine-Structure of the Ionosphere. Nature, 131, 1933, 872—873.
5. Bartels, J. Die höchsten Atmosphärenschichten. Ergebnisse der exacten Naturwissenschaften. Berlin, Springer, 1928, Bd. 7, 114—157.
6. Bendorff, H. Über den durch die Hess'sche Hohenstrahlung bedingten Ionisations—Leitfähigkeitzustand der höheren Luftschichten. Physic. Z., 27, 1926, 686—692.
7. Chapman, S. Ionisation in the Upper Atmosphere. Royal. Meteor. Soc., 52, 1926, 225.
8. — The Absorption and Dissociative or Ionising Effect of Monochromatic Radiation in an Atmosphere on a Rotating Earth. Proc. Physic. Soc., 43, 1931, 26—45, 483—501; № 236, № 240.
9. — Some Phenomena of the Upper Atmosphere. Proc. Royal Soc. A. 131, 1931, 353—374.
10. Colwell, R. C. Cyclons, Anticyclons and the Kennelly-Heaviside Layer. Proc. I. R. E., 21, 1933, № 5, 721—725.
11. Dobson, G. L'ozone atmosphérique. J. de Phys., v. 10, 1929, № 7, p. 241—246.
12. Ekersley, T. L. Polarisation of Echoes from the Kennelly-Heaviside Layer. Nature 130, 1932, p. 398.
13. Emden, R. Thermodynamik der Himmelskörper. Enzyklop. math. Wiss. Lpz., 1926. VI, 2, 21, S. 515.
14. Forsterling, T. K. u. Lassen, H. Die Ionisation der Atmosphäre die Ausbreitung der kurzen electrischen Wellen über die Erde. Z. techn. Phys., 12, 1931, 453—469, 502—527.
15. Gilliland, T. K. Continuous Measurements of the Virtual Heights of the Ionosphere. B. S. Journ. of Res., 11, 1933, 141—146.
16. Hamba, S. A General Theory of the Propagation of Radio Waves in the Ionised Layer of the Upper Atmosphere. Rep. of Radio Res. and Waves Japan, 2, 1932, № 3, 303—328.

17. Hulburt, E. Ionisation in the Upper Atmosphere. Proc. I. R. E., v. 16, 1928, № 2, 174.
18. — Ions and Electrical Currents in the Upper Atmosphere of the Earth. Phys. Rev., 34, 1929, 1167—1183.
19. — Ionisation in the Upper Atmosphere of the Earth. Phys. Rev., v. 31, 1928, № 6, 1018, 1037.
20. — Ionisation in the Upper Atmosphere; Variation with Longitude. Phys. Rev., 35, 1930, 240—248.
21. — Wireless Telegraphy and the Ionisation in the Upper Atmosphere. Proc. I. R. E., v. 18, 1930, № 7, 1231—1238.
22. — Atmospheric Ionisation by Cosmic Radiation. Phys. Rev., 37, 1931, 1—8.
23. — Tables of the Ionisation in the Upper Atmosphere. Phys. Rev., 39, 1932, 977—992.
24. — Ionisation in the Upper Atmosphere at about 200 km above Sea Level. Physics, 4, 1933, 196, 201.
25. — Ionosphere. Electrician, 110, 1933, 857.
26. Lassen, H. Über die Ionisation der Atmosphäre und ihren Einfluss auf die Ausbreitung der kurzen elektrischen Wellen der drahtlosen Telegraphie. Jahrb. d. d. T. u. T., Bd. 28, 1926, № 4, 109—113.
27. — La refraction ionique et la propagation . . . G. E. R., v. 30, 1927, № 2, 113.
28. — Die täglichen Schwankungen des Ionisations Zustandes der Heaviside-Schicht. ENT. Bd. 4, 1927, № 4, 174.
29. Maris, H. B. A Theory of the Upper Atmosphere and Meteors. Proc. I. R. E., v. 16, 1928, № 2.
30. Martin, D. F. Atmospheric Pressure and the Ionisation of the Kennelly-Heaviside Layer. Nature, London, v. 133, 1934, № 3356, p. 294—295.
31. Millington. Ionisation Charts of Upper Atmospheric. Proc. Phys. Soc., v. 44, 1932, № 245.
32. Pannekok, A. Ionisation Equilibrium in Stellar Atmospheres and in the Earth's Atmosphere. Proc. Roy. Acad., 9, 1926, 1165.
33. Petersen, H. Über den Einfluss der Temperatur auf die Zusammensetzung der Atmosphäre in den obersten Schichten. Phys. Z., Bd. 29, 1928, № 23, 879.
34. Ranzani, I. Ionospheric Investigation in Low Latitude. Nature, v. 133, 1934, № 3349, p. 99.
35. Ratcliffe, J. A. and White, E. Fine Structure of the Ionosphere. Nature, v. 131, 1933, № 3320, p. 873.
36. Schafer and Goodal. Observations of the Kennelly-Heaviside Layer Heights during the Leonide Meteor Shower of November 1931. Proc. Inst. of Radio Engin., v. 20, 1932, № 12.
37. Swann, W. F. The Variation with Pressure Altitudes and its Relation to the Cosmic Radiation. Journ. Frankl. Inst., v. 209, 1930, № 2, 151—200.
38. Watson Watt. The Ionosphere. Nature, 132, 1933, 13—17.
39. Whipple, F. Relations between the Combination Coefficients of Atmospheric Ions. Proc. Phys. Soc., 45, 1933, 367—380.

М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧ

## РОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

1. Связь между электромагнитными волнами и электрическими процессами, происходящими в атмосфере на всех ее высотах, проявляется в двух смыслах: во-первых, электрическая пертурбация, происходящая в атмосфере, сопровождается излучением некоторого комплекса электромагнитных волн. Эти волны распространяются на более или менее значительное расстояние и могут быть обнаружены радиоприемными устройствами; во-вторых, присутствие в атмосфере свободных зарядов и, в особенности, свободных электронов (обладающих большой подвижностью), влияет на распространение электромагнитных волн, вызывая явления преломления, отражения и поглощения.

Электрические пертурбации в своей основной массе принадлежат к явлениям нижней атмосферы. Ионные слои, влияющие на распространение электромагнитных волн, наоборот, расположены на высотах, больших 40 или 60 км и могут быть обнаружены до 2000 км или далее.

В соответствии с этим изучение электрических явлений в атмосфере методами радиоволн может быть разделено на изучение явлений в нижней атмосфере путем наблюдения, измерения и определения местонахождения источников электрических пертурбаций, и на изучение явлений в верхней атмосфере путем наблюдения за распространением радиоволн различной длины и зондирования атмосферы радиоволнами.

2. Быструю электрическую пертурбацию мы будем обозначать термином „атмосферик“. Одним из методов изучения атмосфериков является непосредственная запись их при помощи того либо другого осциллографа. Такая запись дает течение процесса во времени и его амплитуду, измеряемую в вольтах на метр. Ватсон Ватт, Эпльтон, Джошек и ряд других исследователей производили подобного рода записи и установили классификацию этих импульсов в отношении их формы, характера и скорости течения процесса. Основные черты, которые при этом выявлены, дают основание думать, что огромное большинство таких пертурбаций является результатом внезапного перехода некоторого количества электричества (главным образом отрицательного знака) из атмосферы в землю. Таким образом, наиболее простым объяснением этих явлений может быть следующее.

Разряд молнии, происходящий, может быть, в значительном удалении от пункта наблюдения, сопровождается переходом электричества в землю и сообщает поверхности земли некоторый заряд. Этот заряд, распределяясь далее по всему земному шару, изменяет общий потенциал последнего относительно атмосферы. Обратное выравнивание разности потенциалов происходит за счет токов, непрерывно текущих в атмосфере. Без сомнения, однако, что только часть импульсов может быть зарегистрирована данным методом, при котором по необходимости применяются приборы с относительно грубым порогом чувствительности.

Тот же атмосферик, действуя на радиоприемник, создает так называемую радио-помеху, выражающуюся в конечном счете в некотором импульсе или в некотором ряде импульсов в оконечном каскаде приемного усилительного тракта. Этот импульс по своей форме и по своему характеру имеет мало общего с атмосфериком, явившимся его первопричиной. Однако энергия этого импульса дает некоторую относительную меру энергии, приходящуюся в атмосферике на ту полосу частот, которая пропускается фильтром данного приемного устройства. Таким образом, при помощи радиоприемника с переменной настройкой можно сделать грубый спектральный анализ атмосфериков. Применение пеленгирующих устройств позволяет выделить направления, с которых приходят наиболее частые или наиболее интенсивные атмосферерики. Таким же путем могут быть выделены и направления, которые соответствуют минимальной интенсивности атмосфериков. И то и другое возможно сделать, главным образом, в результате статистической обработки длительных систематических записей, производимых автоматическими приборами. Наблюдения этого рода делались Ватсон Ваттом, Шиндельхауером, Робертом Бюро, Н. И. Леушиным, П. Н. Куксенко и целым рядом других наблюдателей. В результате этих наблюдений установлено, что спектры атмосфериков содержат в себе всевозможные частоты. Если исключить местные и ближние влияния, то общий характер спектров сводится к следующему.

Количество энергии, приходящееся на более низкие частоты, значительно больше, чем на более высокие частоты. На этот основной характер накладываются условия распространения электромагнитных волн, в результате чего получаются некоторые максимумы, соответствующие волнам, для которых в данное время суток или года условия распространения вдоль земной поверхности наиболее благоприятны. В соответствии с последним обстоятельством в зимнее время ночные помехи сильнее дневных. Помехи летнего на длинных волнах времени имеют максимальное значение днем, что, совершенно очевидно, связано с усилением выравнивающих электрических процессов в атмосфере в летнее время в районе, окружающем приемную станцию. Существуют две точки зрения на происхождение помех. Первая, которой придерживается большинство исследователей, заключается в том, что помеха является отображением элек-

трических разрядов в тропосфере. Помехи делятся на ближние, обусловленные электрическим разрядом в районе до 1000 или 2000 км около места наблюдения, и дальние, приходящие главным образом из некоторых очагов грозовой деятельности на земном шаре. Другая точка зрения, выдвинутая Шиндельхауером и поддерживаемая Н. И. Леушиным; видит источник радио-помех в процессах, происходящих в верхней атмосфере, и связывает их с явлениями выравнивания в верхних ионизированных слоях.

Совокупность объективных факторов в гораздо большей степени соответствует первой из этих двух точек зрения, но конечно нельзя отрицать того, что некоторая, хотя, вероятно, и очень незначительная часть помех, которую мы пока не умеем выделить из общей совокупности, может быть обусловлена как явлениями в самой атмосфере, так и космическими влияниями. Последние могут быть в первую очередь обнаружены только при самых коротких волнах, так как ионизированные слои, расположенные в верхней атмосфере, образуют непроницаемый экран для всех волн длиннее, например, 20 или 25 м.

С точки зрения изучения атмосферы весьма важен тот факт, что центры циклонов, зоны неустойчивости и холодные фронты в тропосфере являются очагами интенсивных радио-помех. Это установлено рядом исследователей, в том числе П. Н. Тверским и Б. Ф. Архангельским. Пеленгование этих очагов при настройке приемника на волнах, для которых распространение с далеких расстояний исключается, дает, повидимому, метод для определения районов неустойчивого состояния атмосферы с относительно далекого расстояния (600—1000 км).

Такого рода определения регулярно делаются в Австралии и Японии с целью обнаружения тайфунов. Этот метод мог бы быть применен с большой пользой в арктических странах для обнаружения циклонических явлений в недоступных областях арктических морей.

Я думаю, что при подготовке стратосферных полетов наблюдения за интенсивностью и направленностью радио-помех могли бы быть использованы как одна из характеристик степени неустойчивости атмосферы, в районе, окружающем место старта.

3. Что касается использования радио-волн для изучения стратосферы, то укажем прежде всего, что физической причиной, вызывающей преломление, являются те колебательные токи, которые образуются движением заряженных частиц, происходящим под влиянием электрического поля и электромагнитной волны. Поля, образуемые этими токами, складываются с полем волны, в результате чего получается некоторая новая суммарная система волн, отличающаяся по своей фазе и направлению движения от первоначальной. Формально это явление рассматривают как результат изменения диэлектрической постоянной под влиянием ионизации, в результате чего коэффициент преломления в ионизированном газе оказывается отличным от единицы.

Элементарная теория дает следующее значение для коэффициента преломления.

$$\mu^2 = 1 - \frac{4\pi Ne^2}{m(\omega^2 + a^2)} \quad [1]$$

В этом выражении  $N$  — плотность ионизации,  $e$  — заряд,  $m$  — масса заряженной частицы,  $\omega$  — круговая частота волны,  $a$  — некоторый коэффициент, пропорциональный числу столкновений иона или электрона с молекулой.

Написанная формула показывает, что коэффициент преломления приближается к нулю с увеличением плотности ионизации и приближается к единице при увеличении массы заряженной частицы.

Последнее обстоятельство позволяет принимать во внимание только действие электронов, пренебрегая действием тяжелых ионов, и понимать, следовательно, под  $N$  число свободных электронов в  $1 \text{ см}^3$  газа.

Что касается влияния частоты, то, как видно из формулы, уменьшение ее или, говоря иначе, удлинение волны приближает коэффициент преломления к единице так же, как и увеличение числа столкновений, представляемое коэффициентом  $a$ .

Столкновения ионов и электронов с молекулами приводят к превращению части энергии в тепло, вследствие чего амплитуда плоской волны экспоненциально уменьшается по мере движения волны. Коэффициент  $K$ , характеризующий это уменьшение, может быть в элементарной форме выражен следующим образом

$$K = \frac{2\pi Ne^2 a}{cm(\omega^2 + a^2)} \quad [2]$$

Здесь все обозначения прежние, и  $c$  — скорость света.

Эта формула показывает, что поглощение увеличивается с увеличением длины волны, с увеличением плотности ионизации и с уменьшением массы. Поэтому и в этом случае можно принимать в расчет только действие свободных электронов. Что же касается зависимости коэффициента поглощения от величины  $\omega$ , то следует рассмотреть два случая  $\omega \ll a$  и  $\omega \gg a$ . Первый случай соответствует либо очень длинной волне либо очень большой плотности газа. Второй случай соответствует малой плотности газа или короткой волне.

В первом случае будем иметь

$$K \approx \frac{2\pi Ne^2}{cma} \quad [3]$$

Эта формула показывает, что коэффициент поглощения уменьшается с увеличением  $a$ . Во втором случае будем иметь

$$K \approx \frac{2\pi Ne^2}{cm\omega^2} a. \quad [4]$$

Эта формула показывает, что коэффициент поглощения увеличится с увеличением  $a$ . Максимальное поглощение наступает при условии

$\omega = a$ . В действительности явление значительно сложнее, в особенности вследствие влияния магнитного поля земли и взаимного влияния заряженных частиц друг на друга.

Действие магнитного поля приводит к закручиванию электронов, в результате чего движение их становится спиралеробразным и получает характер различный, в зависимости от соотношения между направлением магнитного поля земли и направлением движения волны. В конечном счете это приводит к распаду плоско-поляризованного луча на два луча с круговой поляризацией и различными показателями преломления и коэффициентами поглощения. Однако для целей общего описания явлений можно пройти мимо этой стороны дела, имеющей, впрочем, весьма большое значение для практической радио-связи.

Из сказанного ясно, что луч электромагнитной волны может испытать преломление, поглощение и отражение в ионизированных слоях верхней атмосферы.

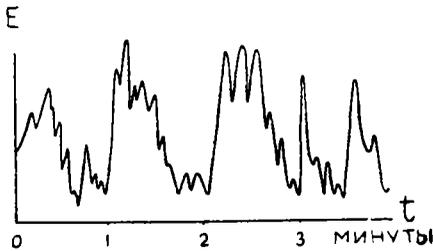
Волны меньшей длины и лучи, направленные под более высоким углом к горизонту, требуют для своего возвращения на землю после преломления в верхних слоях атмосферы более плотной ионизации. Существование относительно резко ограниченных дискретных слоев с иным ионным содержанием может привести к частичному отражению электромагнитных волн. Шанс такого отражения больше для самых длинных волн, так как изменение ионизации на протяжении одной длины волны в этом случае больше, чем при коротких волнах. Наибольшему поглощению подвергаются волны, частота которых оказывается сравнимой с частотой столкновений или, точнее говоря, с величиной  $a$  в тех районах атмосферы, где эти волны проходят более или менее значительный участок своего пути.

4. Различают три способа распространения радио-волн в пределах земного шара. Самые длинные волны, испытывая отражение от слоев, находящихся на высоте 40 или 60 км, претерпевают вместе с тем значительную диффракцию у земной поверхности, позволяющую им огибать кривизну земного шара в форме так наз. земной волны. Относительная роль диффракции и отражения различна на различных расстояниях. На близком расстоянии превалирует диффрагирующая волна, а на далеких — почти все поле образуется за счет волн, претерпевших одно или много отражений от верхних слоев атмосферы. При самых коротких волнах диффракция почти не играет никакой практической роли, и земная волна, при расположении антенн на уровне горизонта, может быть обнаружена лишь на протяжении немногих десятков километров. За этим расстоянием прием отсутствует вовсе, или имеет чрезвычайно неустойчивый характер. Здесь образуется так наз. мертвая зона, которая простирается тем дальше, чем короче волна и слабее ионизация, достигая, при самых коротких волнах, применяемых для радио-связи, нескольких тысяч километров. За мертвой зоной прием возобновляется и притом с чрезвычайно большой силой, что

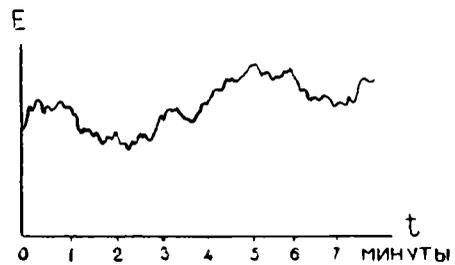
обусловлено лучом, возвратившимся из верхней атмосферы после преломления в ионизированных слоях.

Таким образом, в этом случае земная диффразирующая волна не играет роли, и все распространение обусловлено процессами в верхней атмосфере.

Третий способ распространения представляет собою нечто среднее между первыми двумя. В этом случае диффразирующая волна играет известную роль, но одновременно с этим имеются случаи как отражения, так и преломления в верхней атмосфере. Этим способом распространяются так называемые средние волны. С ослаблением ионизации распространение средних волн приближается по своему характеру к распространению коротких, а с увеличением ионизации, наоборот, оно становится похожим



Фиг. 1.



Фиг. 2.

на распространение длинных волн. Поэтому деление волн на диапазоны имеет приближенный характер. Обычно длинными волнами называют волны от 20 000 до 3000 м; средними — от 2000 до 200 и короткими — от 100 до 9. Более короткие волны в обычных условиях не находят достаточного количества ионов для своего возвращения на землю и удаляются в междупланетное пространство.

При изучении распространения мерой интенсивности является сила поля, измеряемая обычно в вольтах на метр. Методика исследования верхней атмосферы базируется на изучении как силы поля, так и всевозможных побочных явлений, которые сопровождают распространение волн различной длины. К этим явлениям, кроме упомянутого уже явления мертвой зоны, относятся следующие.

а) Замирание, выражающееся в относительно быстром изменении силы поля. Это изменение обусловлено интерференцией многих лучей, приходящих на приемную станцию, и имеет характер иногда беспорядочных, а иногда периодических колебаний силы поля. При самых коротких волнах замирания длятся несколько секунд и даже долей секунд, причем амплитуда может изменяться в несколько тысяч раз. При средних волнах замирания длятся минуты, и отношение максимальной амплитуды к минимальной выражается десятками или сотнями. Наконец, при длинных волнах замирания меньше всего выражены и имеют период, достигающий иногда несколько часов.

Фиг. 1 показывает характер изменения силы поля при коротких волнах.

Фиг. 2 показывает характер замирания при средних волнах.

б) Эхо, которое заключается в получении, кроме прямого сигнала, еще и повторного сигнала, образуемого лучами, пришедшими по более длинному пути.

Herrn Rückauf! Wie erwidern hergeleht, die  
 nun auf dem neuen radiophotografischen Wege  
 schon an dem Wärmehin für das Jahr 1929

Robert H. King  
 Berlin 8/11 29

Фиг. 3а.

Herrn Rückauf! Wie erwidern hergeleht, die  
 nun auf dem neuen radiophotografischen Wege  
 schon an dem Wärmehin für das Jahr 1929

Robert H. King  
 Berlin 8/11 29

Фиг. 3б.

Различают прямые эхо, обусловленные преломлениями или отражениями на кратчайшем пути, соединяющем станции, и кругосветное эхо, образуемое лучами, обошедшими земной шар по более длинному пути. Эхо наблюдается только на коротких волнах, где оно часто приводит к искажению сигналов. Пример такого искажения дан на фиг. 3, где видно, что при передаче текста повторные сигналы вызывают утолщение линий, образующих буквы, а в некоторых случаях раздвоенность букв.

На фиг. 4 показана последовательность сигнала и эхо при записи на осциллограф.

Здесь  $a$  — прямой сигнал,  $a_1$  — ближнее эхо,  $a_2$  — кругосветное эхо.

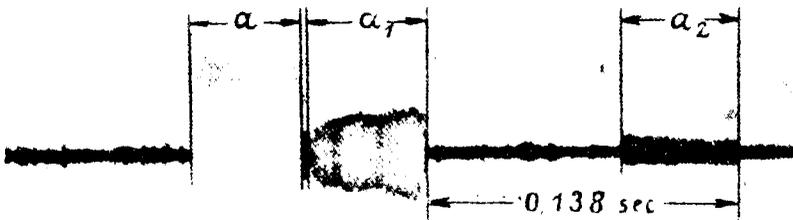
Кроме того, иногда наблюдается эхо, которое не может быть объяснено земным происхождением и приходит, повидимому, от каких-то фокусирующих образований в межпланетном пространстве.

Некоторые наблюдатели, например Йорген Хальс, отмечали эхо, приходящее после интервала в  $8\frac{1}{2}$  минут, что соответствует пути длиной 150 млн. км. Такое эхо называется космическим.

в) Эффект Доплера, вызванный изменением высоты отражения вследствие движения ионных слоев или вообще постепенного изменения высоты отражения.

г) Изменение плоскости поляризации или изменение характера эллиптической поляризации.

д) Изменение угла наклона луча по отношению к горизонту.



Фиг. 4.

е) Горизонтальная рефракция.

ж) Годовой и суточный ход средней силы поля в различных диапазонах.

з) Систематические изменения в условиях прохождения волн различных диапазонов.

и) Различного рода спорадические аномалии.

Связывая все эти явления с географическими факторами, с метеорологическими и космическими деятелями, и сопоставляя полученные результаты с теоретическими формулами, можно получить путем, так сказать, перекрестного допроса более или менее достоверные сведения относительно структуры ионных слоев и различных изменений, которые в них происходят, и влияние тех либо других факторов на течение этих процессов. Этот метод является до известной степени пассивным, так как наблюдатель располагает для эксперимента существующей сетью работающих радио-станций и лишь в редких случаях, при постановке специальных опытов, может по желанию изменять длину волны, энергию или направленность излучения. Результаты, которые вообще могут быть получены этим методом, базируются, главным образом, на статистике. Поэтому этот метод связан с необходимостью производства чрезвычайно большого количества наблюдений.

Своеобразие этого метода заключается также в том, что наблюдатель всегда имеет дело с результатом воздействия различных факторов

на всем пути движения луча, что крайне затрудняет выявление отдельных факторов.

В настоящее время во всех странах ведутся систематические наблюдения над волнами различной длины. В СССР эти наблюдения ведутся, главным образом, Народным Комиссариатом связи и Главной Геофизической обсерваторией. Имеется сеть пунктов, производящих регулярные измерения станций по определенной программе, при помощи аппаратуры, разработанной соответствующими специалистами. С 1931 г. организованы два наблюдательных пункта в Арктике: на Маточкином Шаре и Земле Франца-Иосифа. Пионерами этого дела у нас являются П. Н. Тверской, Б. Ф. Архангельский, Н. Н. Щукин и К. М. Рябов.

5. Наиболее совершенным методом исследования ионизированных слоев атмосферы является метод прямого измерения высоты отражения радиоволн. Существует несколько способов осуществить такое измерение.

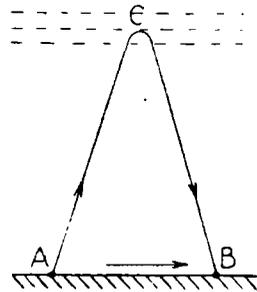
В настоящее время наиболее распространенным методом является так называемый метод эхо. Он состоит в следующем. У поверхности земли, в точках *A* и *B* (фиг. 5), находящихся на расстоянии нескольких километров, расположены две горизонтальные антенны, ось которых находится на одной линии. При таком расположении прямое взаимное влияние антенн, одной на другую, уменьшается до минимума.

Из точки *A* ритмически, т. е. через равные промежутки времени, подается радио-сигнал очень короткой продолжительности (например 0.001 сек.).

В точке *B* находится приемник, который регистрирует этот сигнал. Сначала в точку *B* приходит прямой сигнал от передатчика, а затем отраженный — сделавший путь *ACB*.

Предполагая, что сигнал распространяется со скоростью света, и измеряя промежуток времени, на который отраженный сигнал запаздывает относительно прямого сигнала, легко вычислить высоту точки *C* над землей.

В качестве хронографа при визуальных наблюдениях чаще всего применяется трубка Брауна, имеющая две взаимно перпендикулярные системы отклоняющих конденсаторов. Если сигнал подается *n* раз в секунду, то к одной системе конденсатора трубки Брауна прикладывается напряжение переменного тока, имеющего частоту *n* периодов в секунду, а к другой системе такое же напряжение, но сдвинутое на  $90^\circ$  по фазе. Вследствие этого пятно на экране описывает *n* раз в секунду полный круг. Зная диаметр этого круга и частоту переменного тока, легко рассчитать, какому промежутку времени соответствует та или другая длина дуги этого круга. Радиоприемник действует на одну из конденсаторных



Фиг. 5.

систем, и вследствие этого при приходе прямого сигнала пятно отбрасывается, а в круге образуется прорыв. Второе отклонение происходит некоторое время спустя, вследствие действия отраженного сигнала. Так как эти отклонения синхронно повторяются при каждом пробеге пятна по кругу, вследствие взаимной синхронизации вращающего тока и прибора, подающего сигнал, то получается некоторая картина, доступная зрительному наблюдению. Отклонение, образованное прямым сигналом, стоит неподвижно; отклонение, образованное отраженным сигналом, меняет свое положение, в зависимости от высоты отражения.

На фиг. 6 показана получающаяся при этом картина. Измеряя расстояние между начальными точками прорывов, легко отсюда вычислить, как уже было сказано, высоту отражения. Для записи высоты отражения в течение длительных промежутков времени применяются различные приборы, аналогичные приборам для приема изображений. В этом случае на фотографической ленте получается картина расположения слоев, отражающих данную волну.

Этот метод позволяет констатировать прежде всего существование на данной высоте условий, достаточных для того, чтобы данная волна, хотя бы частично, была отражена вниз. Такие условия могут иметь место, если концентрация свободных электронов достаточно резко изменяет свою величину, при сравнительно небольшой разности высот.

Отражение может произойти как в том случае, когда концентрация электронов внезапно увеличилась, так и в том случае, когда она внезапно уменьшилась.

При коротких волнах это явление должно сильно ослабляться вследствие того, что величина изменения плотности ионизации, рассчитанная на одну длину волны, становится ничтожной. В этом случае отражение должно происходить от района, в котором коэффициент преломления становится равным нулю.

Таким образом, получаемые путем этих наблюдений данные должны быть подвергнуты дальнейшему внимательному анализу, прежде чем из них можно сделать более или менее определенное заключение относительно самого слоя.

Мы видели, что коэффициент преломления в ионизированной среде выражается уравнением (1).

Пусть на некоторой высоте над землей концентрация электронов такова, что для данной длины волны коэффициент преломления получается равным нулю. Для этого должно быть,

$$\frac{4\pi Ne^2}{m(\omega^2 + a^2)} = 1 \quad [5]$$

Волна, достигшая района с такой степенью ионизации, должна быть отражена полностью и не может проникнуть за него. Это дает возможность, варьируя длину волны, определить экспериментально критическую длину волны, для которой данное условие сохраняет свою силу, в то время

как для волны более короткой ионизация оказывается уже недостаточной, и она может проникнуть сквозь данный слой и дать отражение от вышележащих слоев. Это позволяет вычислить ионизацию.

Соединение обоих методов, т. е. метода зондирования при постоянной длине волны и метода измерения ионизации при помощи критической волны, позволяет получить уже достаточно подробные сведения о структуре ионных слоев.

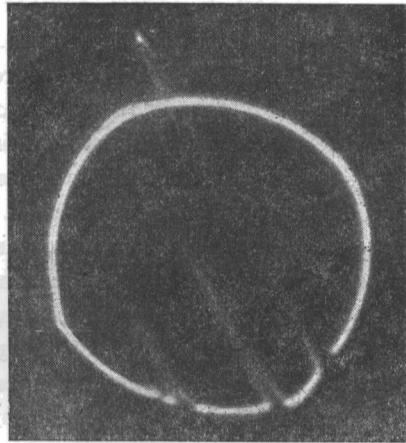
Данные, которые были получены до сего времени, как методом изучения распространения радио-волн, так и методом непосредственного зондирования слоя, позволяют составить себе довольно подробное представление о структуре верхних слоев и о происходящих в них электрических процессах.

В настоящее время выяснено, что имеется два главных района, в которых ионизация имеет максимальное значение. Нижний слой обозначается буквой *E*. Максимум ионизации в нем приходится на высоту около 100 км. Эта высота в средних и южных широтах сохраняется с большой устойчивостью, независимо от времени года и суток.

В течение суток плотность ионизации изменяется здесь в 20 или 30 раз, достигая в летний полдень значения  $4 \cdot 10^5$  свободных электронов в  $\text{см}^3$ , в зимний полдень до  $10^5$  свободных электронов в  $\text{см}^3$ . Этот слой более или менее резко ограничен и занимает обычно район от 80 до 120 км. Второй слой называется верхним слоем и обозначается буквой *F*. Он представляется менее устойчивым, и если несколько идеализировать действительность, то его можно описать следующим образом.

В дневное время в средних широтах максимум ионизации располагается на высоте 200—220 км и характеризуется концентрацией электронов порядка  $10^6$  в  $\text{см}^3$ . Ниже этого максимума концентрация падает, повидимому, довольно быстро. С закатом солнца высота максимума возрастает, и к концу ночи он бывает расположен на высоте от 300 до 700 км. В зимнее время эта высота вообще больше, чем в летнее. Зимняя ионизация обычно в 3 раза меньше летней, а ночная часто в 4 или 5 раз меньше дневной.

В последнее время произведено очень большое количество измерений высоты отражения, причем обнаружилось, что, кроме упомянутых основных слоев *E* и *F*, существует еще ряд промежуточных слоев или неровностей с менее ясно выраженным максимумом ионизации. Эти слои наблюдаются менее отчетливо и часто сливаются один с другим или со слоями *E* и *F*.



Фиг. 6.

Наблюдения, произведенные в Мурманске в 1933—1934 г. экспедицией Ленинградского отделения Научно-исследовательского института связи и Главной геофизической обсерватории, работавшей под руководством автора, выявили целый ряд особенностей, которыми обладают ионизированные слои в полярных странах.

Главнейшие результаты работы этой экспедиции сводятся к следующему.

а) В полярной области имеются оба основных слоя *E* и *F*. Слой *E* вообще слабее выражен, чем в средних широтах. Летом чаще всего он обнаруживается на волне 110—75 км, вблизи полуночи и иногда днем. Зимой почти исключительно около полуночи.

б) Слой *F* летом существовал, часто в течение всех суток, мало изменяя свою высоту. Зимой он появлялся только около полудня.

в) Отражения от верхнего района имеют очень сложный характер и обнаруживают слоистую или волнообразную структуру этого слоя. В этом слое обнаруживаются быстрые движения.

г) Опускание слоя *E* до высоты 65 км не сопровождалось усилением его экранирующего действия или изменением поглощения в нем. Поэтому вероятнее предполагать, что такое опускание в этом случае было вызвано перераспределением давления газа на больших высотах и соответствовало глубокому барометрическому минимуму в верхней атмосфере. Таким образом, весьма вероятно существование на рассматриваемых высотах вертикальных перемещений газа и, может быть, инверсии давления.

д) Наблюдались периоды полного прекращения эхо на всех применяемых волнах. Эти периоды продолжались иногда несколько часов подряд, иногда же были очень кратковременны и длились несколько минут. В последнем случае можно было констатировать, что картина отражения до прекращения эхо и после его возобновления оставалась неизменной. Эти наблюдения дают основания считать, что причина, вызывающая прекращение эхо, имела характер экрана, располагающегося между наблюдателем и отражающим слоем на некоторой промежуточной высоте.

Другими словами, отсутствие эхо следует приписать появлению слабого поглощающего слоя, расположенного ниже слоя *E*, вероятно, на высоте меньше 65 км. Замечено, что появление поглощающего слоя связано с периодами усиленной магнитной деятельности.

е) Не было обнаружено никакой связи между поведением слоев *E* и *F*, с одной стороны, и присутствием или отсутствием поглощающего слоя — с другой. Поэтому поглощающий слой, повидимому, следует рассматривать как некоторое независимое образование, не связанное со слоем *E* и не являющееся его органическим продолжением, а возникающее под действием других причин, чем слои *E* и *F*.

Что касается до источников ионизации, то среди них главное место занимает ультрафиолетовый свет солнца. Это вытекает из всей совокуп-

ности наблюдений над распространением волн и из результатов измерений слоев в дневное и ночное время.

Кроме прямой ионизации, производимой солнечным светом, некоторые авторы, например Хельберт, предполагают, что солнечный свет может явиться источником ионизации и для затемненных областей следующим путем.

Молекулы самой верхней атмосферы в освещенной части земного шара могут под влиянием полученной энергии отлетать на очень значительное расстояние от земли. Падая обратно, они могут попасть в затемненную часть земного шара. Если во время полета они будут ионизированы, то под влиянием магнитного поля земли они попадут в полярный район. Такие молекулы могут производить прямой перенос ионизации с экватора в высокие широты. Действие корпускулярных потоков солнца в настоящее время не поддается даже приблизительному учету, тем более, что сама природа этих потоков, мощность их и их пути достоверно неизвестны. Некоторые авторы считают, что ионизация в полярных областях во время вечной ночи целиком обусловлена именно этими потоками.

Наши наблюдения в Мурманске дают основание думать, что слой *E* в этом районе, появляющийся около полуночи, образован корпускулярными потоками. Наоборот, слой *F* совершенно явно связан с освещением верхней атмосферы солнечными лучами. Неоднократно отмечалось влияние относительного положения солнца, земли и луны на распространение радио-волн, что может быть объяснено отклонением корпускулярных потоков, вызываемым электрическим полем между землей и луной. Значение космических лучей также не выяснено. В настоящее время этим лучам и в особенности, метеорам придается большое значение в качестве ионизирующих агентов. Ультрафиолетовый свет звезд играет, повидимому, незначительную роль в общем балансе. Количество производимых ими ионов, вероятно, в тысячу раз меньше, чем количество их, производимое солнечным светом.

Влияние различных космических и геофизических событий на режим ионизированных слоев тоже еще сравнительно мало изучено, а имеющийся в этом отношении материал противоречив. Повидимому, увеличение солнечной активности увеличивает ионизацию нижнего слоя. В период максимума солнечной деятельности ионизация нижнего слоя, повидимому, на 60% выше, чем в период минимума. Такое заключение можно сделать, сравнивая условия распространения электромагнитных волн в 1927—1928 гг., с одной стороны, и в 1932—1933 гг. — с другой. Возможно, что дальнейшие измерения могут внести некоторое изменение в это заключение, которое основано на сравнительно малом периоде наблюдений.

Измерение высоты слоя во время солнечного затмения в августе 1932 г. показало, что в момент полного закрытия диска ионизация уменьшилась примерно на 60%. Высота слоя *F* сначала увеличивалась, затем к моменту полного закрытия диска вновь уменьшилась, затем снова увеличивалась,

после чего, ко времени окончания затмения, слой опустился до своей нормальной величины.

Из всего сказанного вытекает, что радио-волны являются одним из могучих орудий для исследования атмосферы, причем наиболее важные результаты в отношении верхних слоев могут быть получены при помощи метода прямого измерения. Этот метод применяется всего лишь несколько лет, и дальнейшая работа в этом направлении может, повидимому, дать весьма много ценных и интересных сведений.

Следует отметить, что эти сведения не исчерпываются в конечном счете только данными об электрическом состоянии верхних слоев.

В целом ряде случаев, изучая электрическое состояние, можно сделать косвенное заключение относительно давления газа. При дальнейшем накоплении материала и сопоставлении его с другими методами изучения атмосферы можно надеяться получить этим методом сведения и о составе газа, а также и другие данные относительно физики верхней атмосферы.

Ленинград.  
Ленинградское отделение Научно-  
исследовательского института  
связи и Главная геофизическая  
обсерватория.

П. И. ГУСЕВ

## ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ И ВЕРХНИЕ СЛОИ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Освоение стратосферы возможно только при полном ее изучении до крайних высших пределов.

Одним из важнейших методов изучения самых высших слоев атмосферы могут служить наблюдения полярных сияний, к серьезному изучению которых, однако, приступили сравнительно недавно.

Впервые в 1896 г. норвежский физик Биркелэнд высказал гипотезу корпускулярного происхождения сияний, принимая за источник корпускулярных потоков солнце. Ему же удалось своим знаменитым опытом с терреллой показать реальную возможность такого объяснения полярных сияний. Другой норвежский физик, К. Штермер, математически разработал теорию движения заряженных частиц (корпускул) в магнитном поле земли.

Впервые такая задача была поставлена и решена Пуанкаре, но решение это относилось только к движению корпускул в поле одного магнитного полюса. Задача, поставленная Штермером, была значительно сложнее, и для успешного решения ее ему пришлось ввести ряд упрощающих гипотез, сводящих геомагнитное поле к полю элементарного магнита (диполя). Результатом кропотливой вычислительной работы явилась стройная математическая теория полярных сияний, изложенная Штермером в ряде мемуаров. За последние годы он собрал выводы в прекрасной статье „Проблема полярных сияний“ (русский перевод), дополненной последними наблюдениями над полярными сияниями, возникающими в областях атмосферы, освещенных солнцем, на которых более подробно остановимся ниже.

Одновременно с теоретическими исследованиями Штермером и Веггардом было произведено в ряде экспедиций в северной Норвегии огромное количество определений высот полярных сияний, дающих нам представление о расположении их в пространстве. Весьма важную роль при этом играл предложенный Штермером фотограмметрический метод определения высот, позволяющий при подходящей базе и применении весьма светосильных специальных фотокамер достигать весьма точных результатов. Измерения одновременных снимков с двух пунктов показали, что полярные сияния распространяются от 80 км (нижняя граница) до высоты

более чем 1000 км, каковую высоту, конечно, нельзя еще считать наивысшим пределом. Измерения показали также, что лучистые формы полярных сияний, отдельные лучи и драпри располагаются вдоль силовых линий магнитного поля, что вполне подтверждает теоретические выводы упомянутого выше математического анализа. Однако, несмотря на прекрасное согласие между теоретическими выводами и экспериментальными работами норвежских физиков, остается еще много неразрешенных вопросов, и в формулы придется вводить ряд существенных поправок по мере развития наших знаний физической сущности возникновения свечения полярных сияний, характера корпускулярного излучения солнца, температурных условий и структуры атмосферы в областях возбуждения в пределах от 80 до 1000 км.

Существенную роль в этом случае должно играть изучение спектра полярных сияний, и в этом направлении, главным образом, и идут работы специальной обсерватории в северной Норвегии в Трёмзе.

Спектр полярных сияний состоит, главным образом, из известной уже давно загадочной линии с длиной волны  $5577 \text{ \AA}$  и ряда полос с длинами волн:  $4708 \text{ \AA}$ ,  $4278 \text{ \AA}$  и  $2914 \text{ \AA}$ . Много было сделано попыток для интерпретации линии  $5577 \text{ \AA}$ . Вегард (Vegard) пытался объяснить ее свечением азота, находящегося в кристаллическом состоянии. В последнее время исследованиями Мак Ленана (Mac Lean) удалось, повидимому, окончательно расшифровать ее и отождествить с линией, возбуждаемой в кислородных атомах, находящихся в метастабильном состоянии. Что касается широких упомянутых выше полос, то они, несомненно, принадлежат азоту. Весьма интересным является отсутствие в спектре линий наиболее легких газов водорода и гелия. Последнее обстоятельство, правда, еще не дает права делать заключение об их отсутствии в самых высоких слоях земной атмосферы и, может быть, просто объясняется необходимостью более высокого возбуждения потенциала для появления линий, чем тот, который имеет место при бомбардировке атомов корпускулярными лучами.

Интересно отметить, что интенсивность кислородной линии  $5577 \text{ \AA}$  меняется в зависимости от высоты. Приведенная ниже таблица результатов измерения двух спектрограмм сияний, полученных в Трёмзе (Trømse), показывает несомненное убывание интенсивности линии  $5577 \text{ \AA}$ , по крайней мере, по сравнению с полосами азота.

Линия	Пластика I		Пластика II	
	Нижняя граница	Верхняя граница	Нижняя граница	Верхняя граница
$5577 \text{ \AA}$	36	26	53	41
$4708 \text{ \AA}$	52	54	49	40
$4278 \text{ \AA}$	100	100	100	100
$3914 \text{ \AA}$	46	47	52	56

Все интенсивности взяты по отношению к интенсивности полосы  $4278 \text{ \AA}$ , интенсивность которой принята за 100. Спектры были получены

при высотах нижней границы около 100 км и верхней 160 км. Экстраполируя убывание интенсивности кислородной линии 5577 Å до высоты 400 км, Вегард получает изменение до 300%, что, отчасти, подтверждается спектрограммами, полученными Штермером (Störmer), а также наблюдающимся различием в окраске лучей, освещенных солнцем, и лучей, возникающих в земной тени, именно, в первых, по визуальным наблюдениям Штермера, имеет место преобладание фиолетовых оттенков.

Примененный в Трёмзе метод одновременного фотографирования полярных сияний в различных лучах спектра, с использованием светофильтров (зеленый и фиолетовый), с последующим промером пластинок на регистрирующем микрофотометре, дает интересную картину распределения изофот для зеленого и фиолетового лучей, указывающую на преобладание фиолетовой окраски в частях сияния на верхней границе.

Изучение спектров полярных сияний, кроме того, открывает широкие горизонты не только в смысле уяснения строения высших слоев атмосферы и природы космических агентов, вызывающих свечение, но, как показывает попытка Вегарда, может дать нам новый и пока единственный метод определения температур на столь больших высотах. В виду важности вопроса позволю себе остановиться на нем подробнее. Для определения температуры Вегард пользовался полосой 4278 Å, принадлежащей к отрицательной группе азота. Согласно квантовой теории полосатых спектров распределение интенсивности дается уравнением

$$I = c j e^{-k \left(j + \frac{1}{2}\right)^2}$$

$$k = \frac{h^2}{8\pi^2 J R T},$$

где  $j$  — ротациональное квантовое число, соответствующее высшему электронному уровню,  $h$  — постоянная Планка  $= 6.55 \times 10^{-27}$ ,  $J$  — момент инерции азотного иона  $N_2^+$  в высшем состоянии  $= 13.4 \times 10^{-40}$ ,  $R$  — постоянная Больцмана  $= 1.37 \times 10^{-16}$ ,  $T$  — температура, выраженная в градусах шкалы Кельвина. Уравнение можно написать в виде

$$\lg\left(\frac{I}{j}\right) = c \left[-k \left(j + \frac{1}{2}\right)^2\right].$$

Квантовое число, которым пользовался Фассельберг<sup>1</sup> при анализе полос, отличается от  $m$  постоянным числом, и уравнение можно переписать

$$I = c \left(m - \frac{1}{2}\right) e^{-km^2}.$$

В случае полос спектра полярных сияний принимаем, что квантовое число, измеренное Вегардом, является функцией  $m$ , и отсюда по положению

<sup>1</sup> ZS. Physik, 73—92, 1924.

максимума интенсивности определяется температура. Дифференцирование уравнения по  $m$  дает из условия максимума

$$T = \frac{h^2}{8\pi^2 R J} (2m_1^2 - m_1) = 2.96 (2m_1^2 - m_1),$$

где  $m_1$  — максимум  $m$ .

В эксперименте Вегарда на одной и той же пластинке получались три спектра: спектр азота при комнатной температуре, то же при температуре жидкого воздуха и спектр полярного сияния.

Результаты измерений приведены в следующей таблице:

	$\lambda_{\max}$	$m_1$	$T$	$t$
Комнатная температура . . . .	4267.55	7.27	291	18° С
Область полярного сияния . . .	4268.25	6.65	242	— 31° „
Температура жидкого воздуха . .	4271.25	3.69	70	— 203° „

Как видно, температура стратосферы в области полярных сияний неожиданно получается значительно выше предполагаемой раньше и близкой к температурам, полученным из высоты возгорания метеоров.

Конечно, метод не является точным, потому что для получения отчетливого спектра Вегарду приходилось удлинять выдержку до 40 час., и, таким образом, спектры сияний различных дней накладывались один на другой, не позволяя судить о кратковременных колебаниях температуры.

За последние годы Гульбертом и Марисом выдвинута совершенно новая теория полярных сияний, пытающаяся объяснить возникновение их кратковременными локальными вспышками ультрафиолетовой радиации солнца.

Новая теория считает, что под влиянием термического возбуждения солнечной радиации молекулы земной атмосферы в ее экваториальной области приобретают столь значительные скорости (10.5 км в сек.), что достигают высоты 50 000 км, где подвергаются сильному ионизирующему влиянию жесткой ультрафиолетовой радиации солнца. При своем обратном пути ионизированные частицы, движущиеся под малым углом к силовым линиям геомагнитного поля, как бы скользя по спиральям, опускаются вдоль этих линий уже на ночной стороне земли, и в результате столкновения появляется свечение.

Так объясняется возникновение сияний в ночное время. Кроме того, частицы наиболее часто опускаются в максимальной зоне полярных сияний на расстоянии 23° от магнитной оси, что как нельзя лучше совпадает с результатами наблюдений (расстояние максимальной изоазмы от полюса 23°). Слабым местом этой, в общем, интересной теории является слишком малые начальные скорости по сравнению с теми, которые позволили бы ионизированным частицам проникнуть до высоты 80 км. Несмотря на это, ультрафиолетовая теория Хельберта и Мариса освещает, как мне кажется, некоторые стороны явления полярных сияний, особенно

явления освещенных солнцем лучей. Реальность возможности временных локальных вспышек ультрафиолетовой радиации подтверждается последними работами Пулковской обсерватории и моими сопоставлениями средней суточной изменяемости потенциальной энергии с колебаниями радиации солнца с длиной волны  $1500 \text{ \AA}$ . Результаты показывают тесную связь с коэффициентом корреляции 0.98 между упомянутыми явлениями.

Весьма актуальной в настоящее время проблемой исследования из области полярных сияний, как упоминалось выше, является изучение сияний, развивающихся в освещенных солнцем областях стратосферы. Обычно полярные сияния наблюдаются в ночное время. Освещенные солнцем лучи появляются при исключительных условиях после заката и перед восходом солнца приблизительно около моментов равновесий, и, как показывают наблюдения 22—23 марта 1920 г., возникая на высоте более 1000 км, имеют нижней границей приблизительно 200 км. Интересно, что при прохождении верхнего сильно ионизированного слоя Хевисайда на высоте 400 км лучи не претерпевают какого-либо изменения ни в интенсивности ни по окраске. Необходимо рассмотреть здесь вкратце характерные черты, отличающие лучи сияния в освещенной и затененной атмосфере. Что атмосфера в земной тени существенно иная в смысле сходства с тем, как если бы она была освещена ультрафиолетовыми лучами солнца, сомнения не существует. Работы Форштелинга и Ляссена показывают, что ионизация после солнечного заката быстро убывает и через 10 часов практически достигает постоянного значения — 0.2 дневной величины. Вследствие этого мы имеем право ожидать и действительно имеем, что полярные сияния в тени в двух отношениях значительно отличаются от сияний, освещенных лучами солнца: 1) определение высот, произведенное Штермером, несомненно обнаруживает две группы: нижняя граница затененных лучей — 100 км, верхняя граница — около 200 км, освещенные лучи имеют нижней границей 300 км при верхней границе, лежащей выше 1000 км, 2) как уже выше упоминалось, в спектре освещенных солнцем лучей полярного сияния замечается значительное преобладание фиолетовой окраски по сравнению с обычным желто-зеленым цветом лучей в затененной земной атмосфере. Ближайшее рассмотрение еще скудного наблюдательного материала показывает, что существует значительная разница между освещенными солнцем лучами сияний, наблюдаемых после заката, и теми, которые возникают в утренние часы перед восходом солнца. Лучи, появляющиеся в вечерние часы, достигают большой длины, в то время как утренние лучи представляются нам короткими, мало отличающимися по длине от тех, которые возникают в затененной атмосфере. Различие находит себе объяснение в том, что освещенные солнцем лучи в первом случае — зарождаются в атмосфере с повышенной дневной ионизацией, во втором случае наоборот: область атмосферы, где они возникают, еще не успела перестроиться при переходе от ночного

к дневному состоянию и, следовательно, явление протекает при пониженной ионизации, и сами лучи по характеру походят на ночные.

Весьма интересен зарегистрированный Штермером случай наблюдения лучей в переходной зоне между освещенной атмосферой и тeneвым пространством, т. е. когда один и тот же луч пронизывает обе части атмосферы. Такой случай имел место 16 марта 1929 г., когда были получены прекрасные одновременные фотографии с трех пунктов: Осло (Oslo), Конгсберг (Kongsberg) и Тёмте (Tømte). Снимки показывают, что луч, светящийся в солнечном свете, исчезает в заревой зоне и вторично возникает в тени. Получается впечатление, что ионизированная ультрафиолетовыми лучами часть земной атмосферы как бы вздувается, приподнимаясь вверх в силу электрического отталкивания. Существует еще и другое объяснение для возникновения темного пространства на границе света и тени, а именно понижением возбуждения ниже определенной границы вследствие отрицательного пространственного заряда в этом слое. Пройдя упомянутый слой, луч снова вспыхивает и имеет силу как нормальный луч в затененной атмосфере. Во всяком случае, получается представление, что для освещенных солнцем лучей полярного сияния существуют два основных руководящих фактора: 1) общее ионизированное состояние, прямое или не прямое, — световое возбуждение подходящей бомбардировкой электронами, 2) ультрафиолетовое излучение солнца, подавляющее возбуждение кислородных атомов, находящихся в метастабильном состоянии. Таким образом, краткий обзор показывает, что теория корпускулярная, предложенная Штермером и Биркелэндом, и ультрафиолетовая теория Хельберта (Hulburt) и Мариса (Maris) имеют одинаковое право претендовать на объяснение явления, взаимно дополняя друг друга.

В заключение необходимо отметить, что для полного уяснения процессов, протекающих в высших слоях атмосферы, еще много нужно выполнить работы, еще много нужно собрать наблюдательного материала, особенно в области спектрографирования, являющегося наиболее слабым и в то же время весьма важным пунктом для физического объяснения явлений, изучение которых должно помочь нам вместе с изучением радиоволн зондировать всю толщу земной атмосферы как в смысле ее температурного состояния, так и в смысле структуры и движения.

Для всестороннего исследования стратосферы, мне кажется, является своевременным поставить у нас в Союзе работы, аналогичные работам норвежских физиков, используя, с одной стороны, единственную в мире по полноте сеть магнитных полярных обсерваторий, лежащую преимущественно близко к зоне максимальной повторяемости сияний, и, с другой стороны, считаю крайне актуальным вопрос об организации комплексной полярной обсерватории или, может быть, даже института, где можно было бы поставить ряд совместных работ по всем отраслям физики атмосферы и, вооружившись методами аэрологии, радио-волн, атмосферной

оптики и полярных сияний, идти на штурм стратосферы и ее освоения используя все преимущества дружного коллектива, которых не имеют ученые капиталистических стран.

Служк.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Störmer C. Über die Probleme des Polarlichtes. Gerlands Beitr. z. Geophys. Ergebnisse der Kosmischen Physik, 1931, p. 1—85.
2. Штермер К. Проблема полярных сияний (тоже на русском языке). Приложен указатель литературы.
3. Vegard. The temperature of the auroral region determined by the rotational series of the negative nitrogen-bands. Terr. Magn. and Atm. El., v. 37, No 3, 1932, pp. 389—398.
4. Störmer C. How the horseshoe-formed auroras can be explained by the corpuscular theory. Terr. Magn. and Atm. El., v. 37, No 3, 1932, pp. 375—388.
5. Maris H. and Hulbart E. O. A theory of auroras and magnetic Storms. Phys. Rev., v. 33, p. 412—431.

\*



Д. И. ЕРОПКИН

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПЕКТРА ПОЛЯРНОГО СИЯНИЯ И СВЕТА НОЧНОГО НЕБА

Попытки снимков спектров полярных сияний стали делаться со времени возникновения спектрографии. Ряд авторов, среди них русский астроном Сикора, дали длины волн и приближенные интенсивности спектральных линий полярного сияния. Вегард зарегистрировал 30 линий спектра полярного сияния и отождествил большую часть линий с полосами азота. Линии таких элементов, как гелий, даже в случае его наличия в верхних слоях атмосферы, не могут присутствовать в спектре полярного сияния в виду крайне высокого потенциала возбуждения, около 25 вольт.

Особенный интерес привлекла к себе зеленая линия  $5577 \text{ \AA}$ . Вегард выступил с гипотезой о принадлежности этой линии твердому замерзшему азоту. В 1924 г. он нашел, что твердый азот при бомбардировке его катодными лучами дает эту зеленую линию. Хотя эта гипотеза оказалась неверной, тем не менее она стимулировала целую серию лабораторных исследований, которые и привели к правильной интерпретации зеленой линии. В 1925 г. Мак Ленан и его сотрудники показали, что эта линия принадлежит кислороду и соответствует переходу из метастабильного состояния. Бебкок произвел весьма точное определение длины этой линии и отметил, что существует полное согласие теоретических и экспериментальных данных.

Таким образом, интерпретацию спектра полярного сияния в первом приближении можно считать законченной. Теперь на очереди дня проблема определения температуры по распределению интенсивностей в полосах спектра полярных сияний. Росселанд получил таким путем значение  $3000^\circ$  но вопрос об интерпретации этой цифры еще не ясен.

В 1919 г. Слайфер открыл, что зеленая линия непрерывно присутствует в спектре ночного неба.

После этих первых исследований, показавших, что зеленая линия полярного сияния может фотографироваться каждую ночь на любой широте светосильным спектрографом, лорд Рэлей обнаружил, что интенсивность этой зеленой линии несколько колеблется от одной ночи к другой. С этого времени начались систематические исследования спектра

Таблица 1

Н о ч н о е   н е б о				П о л я р н о е   с я н и е			
Slipher	Lord Rayleigh	Sommer	Dufay	Vegard	Kayser	Lord Rayleigh	Slipher
7 270							
6 870				6 564.9			
6 530							
6 315			6 315	6 318.3			
				6 147			
				5 997			
				5 940			
5 892			5 892				
			5 662 ?				
5 577	5 577	5 577	5 577	5 577.2	5 577	5 578	5 577
			5 316				
				5 238.0			
		5 130		5 139.0	5 127		
				4 998.0			
		4 860	4 866	4 857.4	4 866		
			4 837				
			4 780	4 779.2			
		4 709	4 708	4 708.8	4 707	4 709	
				4 698.4			
			4 679				
		4 650		4 651.9	4 642	4 651	
			4 615				
				4 593.1		4 599	
			4 576				
		4 552	4 554	4 552.1	4 550	4 554	
			4 512				
			4 500				
			4 478	4 480.7	4 489		
4 450	4 435	4 457	4 447		4 446		4 450
		4 422	4 421	4 423.6	4 424		
			4 382	4 375.8	4 371		
			4 351	4 346.1			
			4 330				
		4 278		4 277.4	4 276	4 278	4 277

(Продолжение табл. 1)

Н о ч н о е   н е б о				П о л я р н о е   с и я н и е				
Slipher	Lord Rayleigh	Sommer	Dufay	Vegard	Kayser	Lord Rayleigh	Slipher	
4 180	4 210	4 270	4 270	4 269.7	4 257			
		4 238	4 237	4 236.2	4 242	4 236		
		4 209						
		4 200		4 199.2		4 199		
		4 186	4 180	4 182.5			4 180	
		4 166				4 166		
				4 146	4 142.6			
				4 100				
				4 082	4 078.2			
			4 057		4 058.5	4 057		
				4 044				
				4 038				
				4 026				
				3 999		3 998.5	3 996	
				3 976	3 980	3 981.3	3 986	
		3 946	3 952	941	3 947			
		3 943	3 941	914.3	3 936			
		3 916	3 915	3.4	3 918	3 914	3 916	

ночного неба, которые получают особенное развитие в последние годы. По мере прогресса чувствительности и качества специальных фотографических пластинок находились новые линии; также был найден и слабый непрерывный спектр. Французскому астроному Дюфею удалось обнаружить несколько десятков новых эмиссионных линий как в видимой, так и в ультрафиолетовой области. Интересно, что яркие полосы азота, сопутствующие зеленой линии в спектре полярного сияния, отсутствуют в спектре ночного неба. По последним исследованиям Дюфея, среди линий спектра ночного неба кислорода и азота, некоторые и притом большинство довольно яркие, например 4435 и 4210, остаются до сих пор не отождествленными, так что проблема интерпретации спектра ночного неба до сих пор далеко не разрешена.

Для исследований спектра ночного неба употреблялись специальные спектрографы, чрезвычайно светосильные и притом с сделанными из дерева оправами, для меньшего влияния температуры. Обычный лабораторный металлический спектрограф без термостата при больших экспозициях размывает линии, тем более, что в целом ряде случаев экспонирование продолжается несколько дней и даже недель.

Таблица 2

(Dufay, Journ. de physique, 4, 221, 1933)

Полярное сияние (Vegard)	Ночное небо (Dufay)	Полосы азота		Линии азота	Линии кислорода
		Отрицат. группа	2-я положит. группа		
	4 886				4 872 (4)
4 857.4	4 837				4 857 (4)
	4 780			{ 4 788 (7) 4 780 (6) 4 774 (4)	
4 779.2	4 708	4 870			
4 708.8	4 679			{ 4 675 (5) 4 671 (4) 4 668 (4)	4 677 (7)
4 698.4					
	4 615	4 651	4 648	{ 4 655 (4) 4 651 (5)	{ 4 651 (5) 4 649 (8) 4 641 (8)
4 651.9				{ 4 622 (9) 4 614 (8)	
	4 599			4 607 (8)	{ 4 596 (8) 4 591 (9)
4 593.1	4 576		4 574		
	4 554	4 554			
4 552.1	4 512	4 515		{ 4 515 (4) 4 508 (7)	
	4 500		4 490		
	4 478	4 485		4 478 (5)	
4 480.7	4 447			4 447 (10)	{ 4 452 (5) 4 448 (5) 4 443 (5)
	4 421		4 416	4 426 (6)	{ 4 417 (10) 4 415 (10)
4 423.6	4 382			4 380 (4)	
4 375.8	4 351		4 356		{ 4 351 (7) 4 349 (9)
	4 346.1		4 344	4 348 (8)	{ 4 345 (8) 4 337 (5)
	4 330				{ 4 328 (4)

(Продолжение табл. 2)

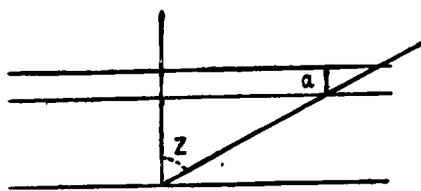
Полярное сияние (Vegard)	Ночное небо (Dufay)	Полосы азота		Линии азота	Линии кислорода
		Отрицат. группа	2-я положит. группа		
	4 330				4 327.5 (5) 4 325.8 (6)
4 277.4		4 278			
4 269.7	4 270		4 269		
4 236.2	4 237	4 237		4 242 (7) 4 237 (7) 4 228 (7)	
4 199.2		4 199	4 201	4 199 (5)	
4 182.5	4 180			4 180 (4) 4 176 (7) 4 172 (4)	4 190 (10) 4 185 (10)
		4 167			
4 142.6	4 146			4 146 (8)	4 154 (10) 4 146 (7) 4 144 (6) 4 142 (6)
		4 131			
	4 100	4 094		4 103 (5) 4 097 (8)	
4 078.2	4 082				4 089 (4) 4 085 (7) 4 079 (6) 4 076 (10) 4 072 (9) 4 070 (9)
4 058.5			4 059		
	4 044			4 042 (8)	
	4 033			4 035 (7)	
	4 026			4 026 (3)	
3 998.5			3 998	3 995 (10)	3 999 (4)
3 981.5	3 980				3 983 (8) 8 974 (10)
	3 952			3 956 (8)	
3 941.3	3 941		3 942	3 940 (4)	3 945 (8)
3 914.4	3 915	3 914		3 919 (10)	3 919 (8) 3 912 (9)

Таблица 3

Ультрафиолетовый конец спектра ночного неба  
Dufay, C. R. 198, 109, 1934

4815 ?	$N_2^+$	4072 (1)		3579 (1)	$N_2^+, N_2^-$
4759 (1)		4052 (1)	$N_2^+ ?$	3555 (5)	
4726 (1)	$N_2^+$	4037 (2)		3508 (1)	$N_2^+ ?$
4700 (1)		4010 (1)		3489 (3)	
4670 (2)	$N_2^+$	3989 ?		3472 (4)	$N_2^+, N_2^-$
4626 (1)		3949 (2)		3446 ?	$N_2^+$
4578 (1)	$N_2^+ ?$	3915 (2)	$N_2^-$	3429 (1)	
4550 (2)	$N_2^-$	3901 (1)		3400 (1)	
4490 (2)		3846 ?		3372 (3)	$N_2^+$
4448 (1)		3832 (2)		3336 (1)	$N_2^+$
4426 (5)		3818 (2)		3309 (5)	$N_2^+$
4400 (1)		3806 ?	$N_2^+$	3297 ?	$N_2^-$
4380 (1)		3785 ?		3284 (2)	$N_2^+$
4300 (1)		3754 (2)	$N_2^+$	3265 ?	$N_2^+$
4268 (2)	$N_2^+$	3740 (2)		3227 ?	
4237 (1)	$N_2^-$	3722 (1)		3217 (2)	
4200 (1)	$N_2^+, N_2^-$	3706 (1)	$N_2^+ ?$	3167 (1)	
4191 ?		3675 ?	$N_2^+$	3157 (2)	$N_2^+$
4179 (2)		3662 (2)		3144 ?	
4157 ?		3637 (1)		3135 (1)	$N_2^+$
4145 (2)	$N_2^+$	3627 (2)		3115 (1)	$N_2^+$
4098 (1)	$N_2^+ ?$	3617 (1)			
4086 (1)		3599 (1)			

Рассмотрим следующую задачу: как должны меняться интенсивности линий спектра ночного неба, в зависимости от высоты над горизонтом и на каком угле яркость максимальная?



Фиг. 1.

Допустим, что слой эмиссии, расположенный на некоторой высоте, имеет толщину  $a$  (фиг. 1). Интенсивность  $I$  спектра ночного неба, в зависимости от зенитного расстояния, —  $Z$  представляется как

$$I = a \sec Z e^{-A \sec Z}, \quad (1)$$

где последний множитель обусловлен поглощением света в нижних слоях.

Берем производную по  $Z$  и находим, при каком значении  $Z$  функция имеет максимум

$$I' = 1 - A \sec Z = 0; \quad (2)$$

отсюда

$$\cos Z = A, \quad (3)$$

так как

$$e^{-A} = P,$$

где  $P$  — коэффициент прозрачности,

$$A = \lg_e \frac{1}{P}$$

и

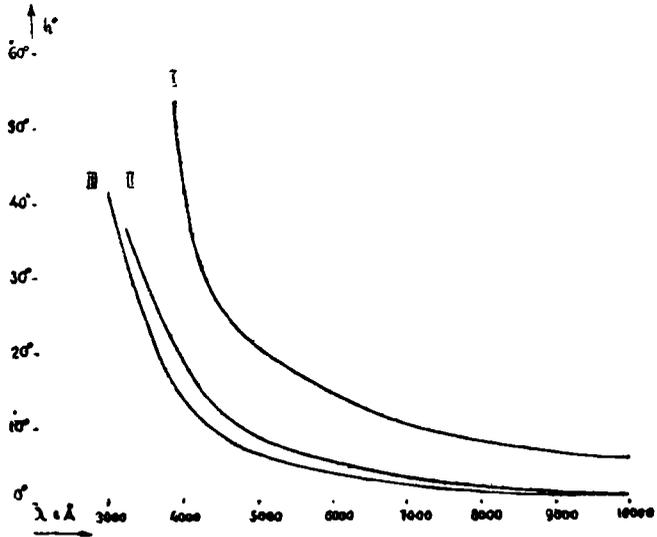
$$\cos Z_{\max} = \lg_e \frac{1}{P} \tag{4}$$

Беря различные значения  $P$ , отсюда легко получим соответствующие значения  $Z_{\max}$ .

Для зеленой линии  $5577 \text{ \AA}$   $P=0.86$ ; следовательно:  $Z_{\max} = 81^\circ$ , т. е. высота над горизонтом  $9^\circ$ . Для  $\lambda=4000 \text{ \AA}$ ,  $P=0.70$ ; следовательно:  $Z_{\max}=69^\circ$ , или высота над горизонтом равна  $21^\circ$  (высота наблюдателя  $h=2 \text{ км}$ ).

Ряд наблюдателей уже отмечал, что интенсивность полос и линий ночного неба увеличивается с зенитным расстоянием, однако снова уменьшаясь у самого горизонта.

Приблизительные оценки максимума, имеющиеся в литературе (Дюфей и Зоммер), вполне совпадают с нашими теоретическими результатами.



Фиг. 2. Высота над горизонтом  $h^\circ$  максимума яркости ночного неба для различных длин волн  $\lambda$  (Д. И. Еропкин).

I кривая — наблюдатель расположен на 10 м над ур. м  
 II " — " " " " 1780 " " " "  
 III " — " " " " 4420 " " " "

МакЛенан, как я упоминал, показал, что зеленая линия обусловлена нейтральным атомом кислорода во время перехода из метастабильного возбужденного состояния.

Средняя продолжительность жизни атома в этом состоянии точно неизвестна. Она должна значительно превышать продолжительность жизни атомов в нормально возбужденных состояниях ( $10^{-7}$  или  $10^{-8}$  сек.). Вероятно, она остается все-таки меньше 0.01 сек.

Поэтому весьма поразительным фактом является то, что запас кислорода, испускающего эту линию, поддерживается в течение всей ночи непрерывно. Некоторые авторы находят, что интенсивность зеленой линии имеет небольшое колебание с максимумом около полуночи. Такие тонкие исследования стали возможны только сейчас, когда удается получать зеленую линию в течение одного часа. В частности, интересны по-

следние работы индуса Раманатана с короткими экспозициями порядка 1 часа, но с дисперсией порядка 1 мм весь спектр.

Ослабление зеленой линии вечером и к утру (maximum в полночь) вполне естественно и может объясняться попаданием солнечных лучей в слой, где происходит эмиссия, т. е. стоять в связи с известным ослаблением зеленой линии в спектре полярных сияний, освещенных солнцем. Точные исследования на основе этой гипотезы могут пролить свет на высоту слоя эмиссии.

Из абсолютных фотометрических измерений Беккока следует, что  $1.8 \times 10^8$  атомов на  $1 \text{ см}^2$  атмосферного столба подвергается переходу в течение каждой секунды. Это очень значительное количество. Оно требует количества энергии приблизительно около 4% той, которая идет на ионизацию верхнего слоя, т. е.  $1.8 \cdot 10^8$  квант 2.2 вольта против  $7 \cdot 10^8$  на 13.6 вольта.

Естественно думать, что эта энергия имеет солнечное происхождение, накапливается в атмосфере за день и медленно расходуется ночью.

Накопление энергии, тем не менее, не может происходить в форме энергии возбуждения, так как в этом случае мы имели бы обратное излучение в виде света через 0.1 сек. самое большое; и еще до этого энергия возбуждения может превратиться в кинетическую энергию, если промежуток между столкновениями короче средней продолжительности жизни атома. С. Чэпман думает, что эта энергия должна аккумулироваться как энергия диссоциации, так как такая энергия может расходоваться только при помощи рекомбинации. Это предполагает столкновения более или менее частые в зависимости от плотности. Если газ достаточно разрежен, энергия может накапливаться часами и даже днями. Вычисления проф. Чэпмана приводят к заключению, что вероятнее всего эмиссия зеленой линии должна происходить в высотах 100—160 км.

Рэлей проводит систематические фотографирования спектра ночного неба с 1923 г. Определяя спектры в зависимости от характера присутствующих линий по условной шкале, Рэлей получил кривую, которую сопоставил с солнечной активностью. Данные до 1930 г. (опубликованные) определенно указывают на 11-летний период в изменениях спектра ночного неба. Это показывает, насколько глубока и актуальна проблема систематических наблюдений.

До сих пор у нас проявлялся индифферентизм к изучению спектра ночного неба, хотя инструментальных трудностей нет. Территория нашего Союза позволяет поставить систематические наблюдения („служба ночного неба“) с целью выяснить зависимость спектра ночного неба от географической широты. Поэтому своевременно поднять вопрос о сети станций. Комиссия по исследованию Солнца (КИСО) предпринимает в настоящее время постановку этих работ (как и стоящих в связи с этим спектrophотометрических исследований зодиакального света), и надо надеяться, что эта попытка не будет единственной.

Б. М. ЯНОВСКИЙ

## МАГНЕТИЗМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ МАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ

Материалы наблюдений магнитных обсерваторий всего земного шара над вариациями магнитного поля земли являются одними из наиболее ярких свидетелей о физических процессах, происходящих в высоких слоях атмосферы.

Недоступность непосредственных наблюдений на высоте не давала возможности до настоящего времени полностью судить о том, какие физические процессы могут происходить как в стратосфере, так и в более высоких слоях, и все наши современные сведения о них являются пока лишь гипотетическими, основанными на косвенных наблюдениях, производимых на земной поверхности. К числу таких наблюдений, впервые давших возможность высказать предположения о существовании электрических процессов на высоте, являются наблюдения над изменениями магнитного поля земли. Если до сих пор нам не ясны причины происхождения постоянного магнитного поля земли, то причины вариации его с несомненностью можно видеть в электрических процессах, происходящих в высоких слоях атмосферы.

Рассмотрим кратко результаты наблюдений над магнитным полем земли и те предпосылки, которые приводят к заключению о существовании электрических токов в атмосфере, а также вопрос о том, какие методы наблюдения магнитного поля необходимы для изучения электрического состояния стратосферы и более высоких слоев.

### § 1. ВНУТРЕННЕЕ И ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМНОГО ШАРА

Магнитное поле земли, как и всякое другое, характеризуется величиной вектора напряженности, составляющие которого носят название элементов земного магнетизма и доступны непосредственному измерению.

Наблюдения элементов земного магнетизма на земной поверхности, производившиеся в течение нескольких столетий, как в обсерваториях, так и в полевых условиях, привели исследователей к заключению, что вектор напряженности  $\mathbf{H}$  представляет собой совокупность многих векторов, имеющих совершенно различные причины. Одни из этих причин на-

ходятся внутри земного шара, другие вне его. Будем называть поле, образованное внутренними причинами — внутренним полем, а поле, образованное внешними причинами — внешним полем. Кроме того, как внутреннее, так и внешнее поле разделяются еще на постоянное магнитное поле и на переменное. Таким образом, вектор  $\mathbf{H}$  мы можем представить в виде следующей суммы

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_i + \mathbf{H}_e + \delta\mathbf{H}_i + \delta\mathbf{H}_e,$$

где  $\mathbf{H}_i$  — напряженность постоянного внутреннего поля,  $\mathbf{H}_e$  — то же внешнее поле,  $\delta\mathbf{H}_i$  и  $\delta\mathbf{H}_e$  — соответствующие напряженности переменного внутреннего и внешнего поля.

Разделение наблюдаемого поля на внутреннее и внешнее можно произвести, пользуясь разложением магнитного потенциала поля по шаровым функциям, — разложение, предложенное в свое время еще Гауссом. Вычисляя коэффициенты этого ряда из наблюдений элементов земного магнетизма в различных точках, равномерно распределенных по земной поверхности, можно установить, что одни из этих коэффициентов относятся к внутренним, другие к внешним причинам.

Сущность этого метода состоит в следующем: предположим, что вектор  $\mathbf{H}$  на поверхности земли имеет потенциал  $U$ , удовлетворяющий уравнению

$$\nabla U = 0.$$

Тогда, согласно теории дифференциальных уравнений, его можно представить в виде ряда, расположенного по степеням  $\frac{R}{r}$  и  $\frac{r}{R}$ , т. е.

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ [c_n^m \cos m\lambda + s_n^m \sin m\lambda] P_n^m(\cos\varphi) \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} + \right. \\ \left. + [\gamma_n^m \cos m\lambda + \xi_n^m \sin m\lambda] P_n^m(\cos\varphi) \left(\frac{r}{R}\right)^n \right\}, \quad [1]$$

где  $R$  — радиус земли,  $r$  — расстояние рассматриваемой точки от центра земли,  $\varphi$  — широта,  $\lambda$  — долгота точки,  $c$ ,  $s$ ,  $\gamma$  и  $\xi$  — постоянные коэффициенты и  $\{P_n^m(\cos\varphi)\}$  — сопряженные функции, выражаемые через полиномы Лежандра  $P_n(\cos\varphi)$  следующим образом

$$P_n^m(\cos\varphi) = \varepsilon_n^m \frac{d^m P_n(\cos\varphi)}{d(\cos\varphi)^m} \sin^m\varphi. \quad [1']$$

где

$$\varepsilon_n^0 = 1, \quad \varepsilon_n^m = \sqrt{\frac{2(n-m)!}{(n+m)!}} \quad \text{и} \quad P_n(\cos\varphi) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n (\cos\varphi - 1)^n}{d \cos\varphi^n}. \quad [1'']$$

Коэффициенты  $c$  и  $s$  относятся к внутренним причинам, а  $\gamma$  и  $\xi$  к внешним, поэтому предыдущую формулу мы можем написать

$$U = U_i + U_e,$$

где

$$U_i = R \sum_{n=1}^{\infty} [c, s] \left(\frac{R}{s}\right)^{n+1} \quad [2]$$

и

$$U_e = R \sum_{n=1}^{\infty} [\gamma, \xi] \left(\frac{r}{R}\right)^n. \quad [3]$$

Если рассматриваемая точка лежит на земной поверхности, то  $R = r$ , и поэтому

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} [c, s] + R \sum_{n=1}^{\infty} [\gamma, \xi]$$

или

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} [(c + \gamma), (s + \xi)] = R \sum_{n=1}^{\infty} [g, h], \quad [4]$$

где

$$g = c + \gamma \text{ и } h = s + \xi. \quad [5]$$

Составляющие вектора  $\mathbf{H}$  на оси координат  $\varphi$ ,  $\lambda$  и  $r$  будут:

$$X = \frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial \varphi} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\partial}{\partial \varphi} [(c + s), (s + \xi)] = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\partial}{\partial \varphi} [g, h] \quad [6]$$

$$Y = -\frac{1}{R \sin \varphi} \frac{\partial U}{\partial \lambda} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m}{\sin \varphi} [(-s - \xi), (c + \gamma)] = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m}{\sin \varphi} [-h, g] \quad [7]$$

$$Z = \frac{\partial U}{\partial r} = \sum [-(n+1)c + n\gamma; -(n+1)s + n\xi] = \sum [j, k] \quad [8]$$

где

$$j = -(n+1)c + n\gamma \text{ и } k = -(n+1)s + n\xi \quad [9]$$

Правые части уравнений [6], [7] и [8] представляют собой линейные функции неизвестных коэффициентов  $g$ ,  $h$ ,  $j$  и  $k$ , число которых, согласно уравнениям [1], [5] и [9], зависит от выбранного нами числа членов суммы, т. е. от значка  $n$ .

Магнитные наблюдения, производимые в различных точках земной поверхности, дают нам величины  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , подставляя которые в уравнения [6], [7] и [8], мы можем, решая эту систему, найти коэффициенты  $g$ ,  $h$ ,  $j$  и  $k$ .

Зная эти коэффициенты из уравнений [5] и [9], найдем коэффициенты  $c$ ,  $s$ ,  $\gamma$  и  $\xi$ :

$$c = (ng - j) / (2n + 1); \quad s = (nh - k) / (2n + 1); \quad [10]$$

$$j = \frac{(n+1)g + j}{2n+1}; \quad \xi = \frac{(n+1)h + k}{2n+1} \quad [11]$$

и, следовательно, задача разделения магнитного поля на внутреннее и внешнее, согласно ур-ниям [2] и [3], становится решенной.

В 1922 г. Бауэр на основании материалов, полученных Институтом Карнеджи по распределению элементов земного магнетизма, вычислил составляющие внутреннего и внешнего поля для различных широт. В приводимой таблице даны некоторые результаты вычислений Бауэра.

Широта	60°	40°	20°	0°	20°	40°	60°
$X_i$	+0.1203	+0.2318	+0.3133	+0.3244	+0.2889	+0.2021	+0.1510
$Z_i$	+0.5249	+0.4281	+0.2203	-0.0268	-0.2878	-0.3765	-0.4936
$X_e$	+0.0113	+0.0058	+0.0043	+0.0045	+0.0042	+0.0033	+0.0013
$Z_e$	-0.0061	-0.0304	-0.0006	+0.0008	+0.0018	+0.0040	+0.0037

Из этой таблицы видно, что компоненты внешнего ( $X_e$  и  $Z_e$ ) очень малы по сравнению с компонентами ( $X_i$  и  $Z_i$ ) внутреннего поля. Магнитное поле, вызываемое внутренними причинами, составляет 94% всего магнитного поля земли.

## § 2. НОРМАЛЬНОЕ И АНОМАЛЬНОЕ ПОЛЕ

Постоянное магнитное поле, обусловленное внутренними причинами, т. е. вектор  $\mathbf{H}_i$  в свою очередь представляет сумму двух векторов

$$\mathbf{H}_i = \mathbf{H}_n + \mathbf{H}_a,$$

из которых один  $\mathbf{H}_n$  имеет причины, находящиеся во внутренних частях земного шара, а второй  $\mathbf{H}_a$  связан с поверхностными слоями земной коры. Первый вектор  $\mathbf{H}_n$  характеризует так наз. нормальное поле, вектор же  $\mathbf{H}_a$  — аномальное поле.

Распределение нормального магнитного поля по высоте легко можно вычислить теоретически, исходя из формул разложения магнитного потенциала  $U$  по шаровым функциям.

Если ограничиться при разложении  $U$  по формуле [1] членами первого порядка, то для поля, вызываемого внутренними причинами, получим

$$U = \frac{R^3}{r^2} [c_1^0 P_1^0(\cos \theta) + c_1^1 \cos \lambda P_1^1(\cos \theta) + s_1^1 \sin \lambda P_1^1(\cos \theta)]$$

или, заменяя  $P_1^0$  и  $P_1^1$  их значениями по формулам (1''), будем иметь

$$U = \frac{R^3}{r^2} [c_1^0 \cos \theta + c_1^1 \sin \theta \cos \lambda + s_1^1 \sin \theta \sin \lambda] \quad [12]$$

Из теории потенциала известно, что для однородно намагниченного шара потенциал выражается формулой

$$U = \frac{(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r})}{r^3} = \frac{4}{3} \pi R^3 \frac{(\mathbf{I} \cdot \mathbf{r})}{r^3}, \quad [13]$$

где  $\mathbf{M}$  — магнитный момент,  $\mathbf{I}$  — интенсивность намагничивания шара.

Если обозначить координаты магнитного полюса шара через  $\theta_0$  и  $\lambda_0$ , то

$$\begin{aligned} (\mathbf{I} \cdot \mathbf{r}) &= Ir [\cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos (\lambda - \lambda_0)] = \\ &= Ir [\cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos \lambda \cos \lambda_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \sin \lambda \sin \lambda_0]. \end{aligned}$$

Поэтому потенциал однородно намагниченного шара выразится  $U = \frac{4}{3} \pi R^3 \frac{I}{r^3} [\cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos \lambda \cos \lambda_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \sin \lambda \sin \lambda_0]$  [14]

Сравнивая выражения (12) и (14), найдем, что

$$c_1^0 = \frac{4}{3} \pi I \cos \theta_0 \quad c_1^1 = \frac{4}{3} \pi I \sin \theta_0 \cos \lambda_0 \quad s_1^1 = \frac{4}{3} \pi I \sin \theta_0 \sin \lambda_0 \quad [15]$$

Таким образом, земной шар в первом приближении можно рассматривать как однородно намагниченное тело, магнитная ось которого составляет некоторый угол с осью вращения. Из уравнений [15], считая  $c_1^0$ ,  $c_1^1$  и  $s_1^1$  известными из наблюдений, можно определить интенсивность намагничения и координаты магнитного полюса. Решая их относительно  $I$ ,  $\theta_0$  и  $\lambda_0$ , найдем

$$\left. \begin{aligned} \frac{4}{3} \pi I &= (c_1^0)^2 + (c_1^1)^2 + (s_1^1)^2 \\ \operatorname{tg} \theta_0 &= \frac{1}{c_1^0} \sqrt{(c_1^1)^2 + (s_1^1)^2} \quad \operatorname{tg} \lambda_0 = \frac{s_1^1}{c_1^1} \end{aligned} \right\} [16]$$

Вычисление магнитного момента земного шара по формуле (13) дает величину

$$M = 8.6 \cdot 10^{25} \text{ c.g.s.}$$

Составляющие вектора  $\mathbf{H}_n$  по вертикали — вертикальная составляющая  $Z$  и на горизонтальную плоскость — горизонтальная составляющая  $H$ , получим из формулы (13)

$$Z = -\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{2M}{r^3} \cos \theta' \quad H = -\frac{\partial U}{r \partial \theta} = \frac{M}{r^2} \sin \theta', \quad [17]$$

если обозначить через  $\theta'$  угол между магнитной осью земного шара и радиусом вектором  $r$ .

Изменение элементов земного магнетизма с высотой, считая, что земной шар намагничен однородно, можно найти из ур-ний (17). Дифференцируя их, получим

$$\frac{dZ}{Z} = -\frac{3dr}{r} \quad \frac{dH}{H} = -\frac{3dr}{r}.$$

Для Ленинграда  $Z = 0.48$  и  $H = 0.154$ , откуда находим, что изменения вертикальной и горизонтальной составляющих при подъеме на каждый километр будут соответственно

$$dZ = -23\% \quad dH = -8\%.$$

Следовательно, при полете стратостата на высоту 20 км вертикальная составляющая нормального поля должна уменьшиться приблизительно на 460%, а горизонтальная на 160%.

Аномальное магнитное поле  $H_0$  вызывается намагниченностью горных пород в верхних слоях земной коры. Намагниченность пород зависит как от магнитной восприимчивости их, так и от остаточного намагничения, которые могут быть различны в различных породах.

Поэтому в различных местах земной поверхности оно может иметь совершенно различный характер и величину. Выделить аномальное поле из общего поля земли по данным наблюдения на земной поверхности представляет до сих пор задачу очень сложную.

В виду того, что влияние аномальных участков на общее магнитное поле очень быстро уменьшается с удалением от места аномалии, можно предполагать, что в стратосфере на высоте 20—30 км это влияние будет очень мало. Поэтому измерение магнитного поля на таких высотах, если бы его можно было осуществить с достаточной точностью, дало бы возможность получить истинное распределение нормального поля по земной поверхности, что очень важно для практической магнитометрии, разрабатывающей методы магнитной разведки различных рудных ископаемых.

### § 3. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

В § 1 было указано, что одними из составляющих вектора напряженности магнитного поля земли являются векторы  $\delta H_i$  и  $\delta H_e$ , меняющиеся во времени, которые носят название вариаций земного поля. Изучение этих вариаций представляет задачу магнитных обсерваторий, расположенных по всему земному шару. В настоящее время число действующих обсерваторий насчитывается около 60, схематическое расположение которых показано на фиг. 1. Магнитные обсерватории регистрируют непрерывно при помощи фотозаписи изменения основных элементов земного магнетизма — склонения, горизонтальной и вертикальной составляющих.

Простой обзор записей приборов уже показывает наличие изменений, имеющих периодический характер в течение суток, изменения, которые носят названия суточного хода. Эта суточная периодичность очень резко проявляется при обработке записей за более длинный промежуток времени — за месяц или год.

Характерной особенностью кривых суточного хода является предполуденный минимум горизонтальной составляющей для пунктов, удаленных от экватора, и максимум для пунктов экваториальной зоны. Вертикальная составляющая имеет минимум в послеполуденные часы в северном полушарии и максимум в южном. Склонение для пунктов северного полушария в утренние часы (8—10 час.) имеет наибольшее восточное, а после полудня, в 13—15 час., наибольшее западное. Для пунктов южного полушария имеет обратное явление. Средняя годовая амплитуда суточных вариаций для Слудка показана на фиг. 2.

Величина амплитуды вариаций меняется в течение года в зависимости от положения солнца на эклиптике. Как для северного, так и для

южного полушарий максимальная амплитуда приходится на время летнего солнцестояния, минимальная на время зимнего.

Наиболее наглядное представление о ходе суточных вариаций дает построение так наз. векторных диаграмм, которые представляют не что иное, как проекцию одного из концов вектора  $\delta\mathbf{H}$  на горизонтальную и вертикальную плоскость, когда другой конец вектора закреплен неподвижно.

Из рассмотрения таких диаграмм можно заметить следующее: вектор  $\delta\mathbf{H}$  в дневные часы всегда направлен в сторону некоторого центра притяжения, который перемещается над параллелью  $30^\circ$  N с востока на запад. Формально этот центр можно отождествить с осью вихревого тока, направление которого противоположно движению стрелки часов, если смотреть на этот ток сверху.

Таким образом, анализ вариаций суточного хода элементов земного магнетизма приводит к необходимости заключить о существовании каких-то вихревых токов над земной поверхностью, связанных с положением солнца относительно земной поверхности.

Изложение существующих теорий по этому вопросу дано в докладе Н. В. Пушкова, и поэтому останавливаться на них здесь мы не будем.

Далее, при ближайшем рассмотрении оказывается, что величина суточных вариаций, которые мы будем называть солнечно-суточными, меняется от года к году, имея определенный период около 11 лет, причем этот период почти с точностью совпадает с периодом солнечной деятельности, характеризуемой количеством и величиной солнечных пятен. В годы максимального появления солнечных пятен отмечается максимальная амплитуда суточного хода и наоборот.

Обработка записей путем развертывания величины вектора возмущенности в ряд по шаровым функциям позволяет, как и для постоянного поля, разделить этот вектор на две составляющих, из которых одна обусловлена внутренними, а другая внешними причинами. Вариации от внутренних причин составляют  $\frac{1}{8}$  общих вариаций и могут быть объяснены как следствие индукционных токов, возникающих в земной коре под действием внешних вихревых токов.

Кроме вариаций, связанных с положением солнца относительно земной поверхности, существуют еще вариации периодического же характера, связанные с положением луны по отношению к горизонту. Период этих вариаций точно совпадает с промежутком времени между двумя последовательными прохождениями луны через меридиан места, т. е. с лунными сутками, почему и сами вариации получили название лунно-суточных. Лунно-суточные вариации легко установить, если обрабатывать записи магнитографов относительно лунных суток, т. е. снимать ординаты кривых не в средние часы, а в лунные, и затем для каждого лунного часа составить средне-арифметические числа за какой-нибудь промежуток времени. Кривые лунно-суточного хода обнаруживают для всех пунктов земного шара двойную волну с максимумами и минимумами в моменты вос-

хода и захода и в моменты прохождения луны через меридиан места. Положение максимумов и минимумов меняется на обратное при прохождении через параллель в  $20^\circ \text{N}$ . В обе стороны от этой параллели амплитуда лунных-суточных вариаций увеличивается и достигает максимума в широтах  $45^\circ \text{N}$  и  $40^\circ \text{S}$  и затем снова уменьшается при дальнейшем перемещении к полюсам.

Наибольшего значения амплитуда лунных вариаций для вертикальной и горизонтальной составляющих достигает  $1\gamma - 2\gamma$ , а для склонения около  $40''$ . В дни магнитных возмущений, о которых будет сказано в следующем параграфе, амплитуда лунных вариаций значительно больше, чем в дни магнитного затишья.

В противоположность солнечно-суточным вариациям — лунно-суточные вариации не показывают 11-летнего периода.

Точно так же, как и солнечные вариации — лунные вариации формально могут быть объяснены наличием горизонтальных вихревых токов в высоких слоях атмосферы, о чем подробно сказано в докладе Н. В. Пушкова.

#### § 4. НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ

Кроме периодических солнечно-суточных и лунно-суточных вариаций, существуют еще внезапные вариации, кажущиеся на первый взгляд совершенно произвольными, вследствие своего беспорядочного хода. Такие вариации обычно носят названия магнитных бурь.

Если амплитуда периодических вариаций выражается несколькими десятками гамм, то во время магнитных бурь она может достигать нескольких сот и тысячи гамм.

При исследовании вариаций магнитных бурь, также как и при исследовании периодических возмущений, возникают следующие вопросы: 1) каков ход кривых магнитограмм во время бурь; 2) какая система электрических токов соответствует таким возмущениям и 3) какова физическая причина этих токов?

Магнитные бури можно разделить по интенсивности, продолжительности и пространственному распределению на три типа. К первому типу относятся бури очень большой интенсивности, возникающие одновременно на всем земном шаре. Амплитуда колебания элементов земного магнетизма таких бурь может достигать  $1000\gamma$ , а продолжительность нескольких дней.

Ко второму типу относятся возмущения местного характера, ограничивающиеся определенными областями, главным образом полярными. Местные возмущения продолжаются один или несколько часов, и интенсивность их не превосходит сотни гамм.

В то время как магнитные возмущения первого типа начинаются одновременно на всем земном шаре и протекают в одной фазе, возмущения второго типа даже в двух близлежащих пунктах могут протекать совершенно различно.

Наконец, третий тип непериодических магнитных возмущений представляют так наз. пульсации — синусоидальные колебания вектора напряженности с амплитудой порядка нескольких гамм и периодом около 3 мин. Пульсации могут происходить одновременно на всем земном шаре, но могут ограничиваться и отдельными районами.

В большинстве случаев первая и вторая группа возмущений обычно протекают одновременно, накладываясь одна на другую и вызывая побочные явления, как, например, индукционные токи в земле, которые, в свою очередь, дают добавочную составляющую вектора возмущенности.

На приведенной фиг. 3 показан ход горизонтальной и вертикальной составляющих по записям обсерваторий в Слуцке, Кандалакше, Маточкине Шаре, Диксоне и Земле Франца-Иосифа во время бури 19—21 февраля 1933 г.

Кривые показывают, что полного параллелизма в ходе элементов не наблюдается, но некоторые максимумы и минимумы наступают одновременно на всех станциях. Амплитуда колебаний, как видно из рис. 3, увеличивается с увеличением широты станций. Таким образом, буря 19—21 февраля представляет бурю общего характера с наложением местных возмущений.

Первая попытка в деле систематического изучения магнитных возмущений была сделана Биркеландом, который обработал записи возмущений 23 обсерваторий средних широт и четырех полярных. Результаты, к которым пришли Биркеланд и позднейшие исследователи при изучении характера магнитных возмущений первого типа, следующие: начало возмущения носит характер короткого импульса, который увеличивает горизонтальную составляющую и уменьшает вертикальную составляющую. Высокое значение горизонтальной составляющей продолжается недолго — от получаса до двух часов. Затем происходит резкое падение горизонтальной составляющей, которое продолжается в течение шести часов, после чего наступает длительный процесс возвращения к нормальному состоянию, который носит название последующего возмущения (*Nachstörung*). Вертикальная составляющая во время такой бури имеет ненормально высокое значение, разность которого с нормальной величиной по абсолютной величине меньше отклонения горизонтальной составляющей от своего нормального значения.

В противоположность периодическим вариациям суточного хода изменения элементов земного магнетизма во время бурь больше в вечерние и ночные часы, чем в дневные.

При возмущениях местного характера, которые длятся всего лишь около часа, иногда наблюдается своеобразная тенденция возникать в течение многих дней подряд в одно и то же время суток. Особенно это явление распространено в больших широтах, как показали наблюдения II МПГ.

Другая периодичность в повторяемости магнитных возмущений замечается при наблюдениях за большие промежутки времени. Дни с воз-

мущениями оказываются разделенными друг от друга промежутками в 27 дней, совпадающими с периодом вращения верхних слоев солнца. Кроме того, существует, как и для суточного хода, 11-летний период, совпадающий с периодом интенсивной солнечной деятельности и максимального числа полярных сияний.

Тесная связь, существующая между периодичностью появления бурных дней и периодичностью процессов на солнце и полярных сияний, несомненно указывает на то, что причины магнитных возмущений заключаются в солнечной деятельности, которая проявляется в форме квантового и корпускулярного излучения. Кванты света и корпускулы (электроны, протоны, нейтроны и т. д.), исходя от солнца и попадая в земную атмосферу, частично отклоняются земным магнитным полем и вызывают ионизацию воздуха, который делается вследствие этого проводящим. Таким образом, создаются условия, благоприятные для образования электрических токов, которые и дают начало магнитным возмущениям. Подробное рассмотрение существующих теорий магнитных возмущений изложено в докладе Н. В. Пушкова.

#### § 5. ПОСТАНОВКА МАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СВЯЗИ С ИЗУЧЕНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

Приведенный выше фактический материал о структуре магнитного поля на земной поверхности показывает, что для понимания физических процессов, происходящих в высоких слоях атмосферы, необходимы детальные наблюдения и изучение вариаций элементов земного магнетизма. В настоящее время у нас в СССР число действующих магнитных обсерваторий, которые ведут непрерывную регистрацию элементов насчитывается семь в средних широтах: Слуцк, Свердловск, Казань, Тифлис, Иркутск, Якутск, Владивосток и пять в полярных областях — Кандалакша, Маточкин Шар (Новая Земля), Земля Франца-Иосифа, Диксон и Уэллен; кроме того, предполагаются к открытию в текущем году: в Ташкенте, Воронеже, Одессе и на мысе Челюскин. Такая сеть обсерваторий на громадной территории является крайне недостаточной, особенно в полярных областях, где материалы наблюдений имеют наибольшее значение для изучения электрического состояния атмосферы. Кроме того, постановка самих наблюдений на всех обсерваториях и их обработка для указанных целей не имеет еще того развития, которое требуется. Для построения вектора возмущенности  $\delta H$  необходима регистрация всех элементов, строго фиксированных в определенные моменты времени. Для этого требуется быстроходная запись с двухчасовым оборотом барабана, тогда как на большинстве обсерваторий установленные магнитографы имеют барабаны с суточным оборотом, и, кроме того, там, где имеется возможность такой записи, она не ведется за отсутствием второго комплекта приборов. В настоящее время непрерывная регистрация на быстроходных приборах системы Лакра ведется лишь в Слуцке, Кандалакше и Уэллене.

Еще большую точность для определения вектора возмущенности дает точечная запись, где имеется полное совпадение моментов времени в записи всех элементов. Таких приборов в настоящее время ни одного не имеется.

Обработка материалов, которая производится на обсерваториях, дает лишь средне-суточный ход (солнечный) для каждого месяца и вековые вариации. Совершенно не обрабатываются магнитные возмущения, и нет комплексной обработки и сопоставления материалов всех обсерваторий.

Поэтому необходимо для исследования электрического состояния атмосферы в первую очередь поставить комплексную обработку магнитных возмущений с выделением вектора возмущенности и получением не только солнечно-суточного хода, но и лунно-суточного, а также получения векторной диаграммы суточного хода для всех обсерваторий. В настоящее время векторные диаграммы имеются лишь для нескольких наиболее старых обсерваторий.

Далее необходимо расширение программы наблюдений на обсерваториях с установкой быстроходных приборов с точечной записью и расширение сети обсерваторий, особенно полярных.

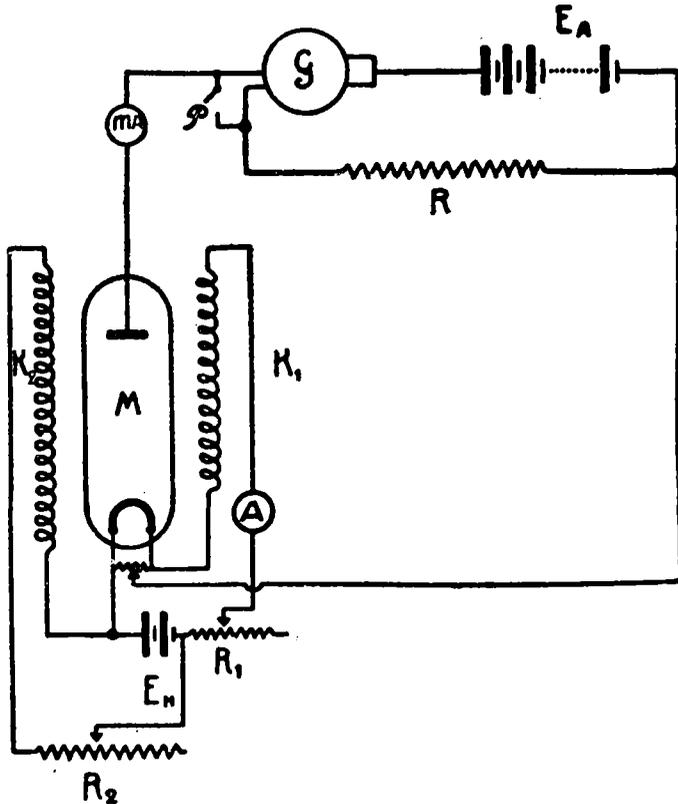
Что касается постановки непосредственных магнитных наблюдений в стратосфере, то такая постановка имела бы несомненно громадное значение как для выяснения нормального поля, так и для выяснения величины внешнего магнитного поля. По измерениям над отражением радиоволн и над высотой полярных сияний проводящие слои воздуха, где могут происходить электрические процессы, находятся уже на высоте около 100 км. Поэтому приближение на 20—30 км к источникам внешнего магнитного поля позволит наблюдать вариации с гораздо большей амплитудой, чем на земной поверхности. А из величины вариаций и можно будет не только судить о характере электрических токов, но и их высоте.

В настоящее время разработанной методики магнитных наблюдений на движущемся предмете (аэроплане, аэростате и т. п.) не имеется. Существующая же методика измерений ни в какой мере не применима к движущемуся предмету. Трудность этой проблемы заключается в том, что для измерения любого элемента земного магнетизма необходимо удерживать прибор неподвижно, в строго определенном направлении, или же в любой момент времени знать его направление по отношению к неподвижным координатным осям, что очень трудно достигнуть при полетах.

Наиболее просто в этом отношении сохранять прибор неподвижным относительно вертикальной оси, поэтому на ближайшее время можно было бы ограничиться наблюдением одной вертикальной составляющей, но существующие приборы для измерения этого элемента требуют, кроме вертикального направления, расположения его в определенном направлении по отношению к магнитному меридиану и поэтому являются непригодными для этой цели.

Самым подходящим методом для измерения вертикальной составляющей магнитного поля земли в условиях полета стратостата, по нашему

мнению, является метод магнетрона, предложенный Hull'ом и Rössinger'ом. Сущность этого метода заключается в следующем. Электронная лампа (магнетрон) с двумя электродами, имеющая в качестве анода цилиндр, а катодом нить накала, расположенную по оси этого цилиндра, помещается в измеряемое магнитное поле так, чтобы ось цилиндра совпадала с на-



Фиг. 4.

*M* — магнетрон. *G* — дифференциальный гальванометр. *mA* — миллиамперметр. *K*, *K*<sub>1</sub> — поляризующие катушки. *R*, *R*<sub>1</sub>, *R*<sub>2</sub> — реостат для регулировки тока. *P* — ключ для шунтирования дифференциального гальванометра. *E*<sub>А</sub> — анодная батарея 40 в. *E*<sub>н</sub> — батарея накала 12 в. *A* — амперметр.

правлением поля. Под влиянием магнитного поля электроны отклоняются от прямолинейного пути и при достаточной интенсивности поля будут двигаться по замкнутым орбитам, не доходя до анода, и анодный ток вследствие этого прекратится. Наблюдая изменения анодного тока, можно судить и о величине действующего магнитного поля. Так как магнитное поле земли является недостаточным для того, чтобы заставить электроны двигаться по замкнутым орбитам, то магнетрон помещается в соленоид (поляризующая катушка), питаемый током, который создает искусственное магнитное поле, а земное поле является добавочным к этому полю.

На фиг. 4 представлена схема прибора для измерения по этому методу. Измерения должны заключаться в следующем: магнетрон, помещенный в соленоид, подвешивается в вертикальном положении на канатике вне гондолы стратостата. Измерительные же приборы помещены в гондоле. Перед полетом дифференциальный гальванометр при помощи сопротивлений  $R$  и  $r$  устанавливается на какое-либо деление, и в дальнейшем при полете производятся лишь отсчеты по нему.

Градуировка, т. е. определение цены деления гальванометра, производятся перед полетом путем изменения тока в одной из обмоток поляризующей катушки.

Дифференциальный гальванометр представляет собой обычный стрелочный гальванометр чувствительностью  $10^{-6}$  А на 1 дел., и поэтому всякие изменения в положении стратостата на его показания отражаться не будут.

Опыты, производившиеся с подобными схемами в магнитной лаборатории Университета и магнитной лаборатории ВИМС показали, что измерения возможны с достаточной точностью при условии постоянства напряжений аккумуляторных батарей как анодной, так и нити накала. В нормальных лабораторных условиях, с обычными свинцовыми аккумуляторами, возможно измерять напряженность магнитного поля с точностью до  $\pm 50\%$ . Для первых опытов измерения магнитного поля при полетах стратостата такая точность вполне достаточна для суждения о характере магнитного поля на высоте.

---



Н. И. ЛЕУШИН

## О СТРАТОСФЕРНОМ ПРОИСХОЖДЕНИИ РАДИО-ПОМЕХ

Вопрос о радио-помехах, имеющих несомненное значение для службы связи и для характеристики процессов в тропосфере имеет также значение для уяснения электрических свойств стратосферы. Первым, кто обратил на это внимание, был Шиндельхауер (1, 2); на основании систематической регистрации атмосферных помех в Потсдаме ( $\varphi = 52^{\circ}.4$  N;  $\lambda = 13^{\circ}.1$  E;  $D = 7^{\circ}.0$  W), а также использовании материала, полученного Ватсон Ваттом в Диттом Парке ( $\varphi = 51^{\circ}.5$  N;  $\lambda = 0^{\circ}.6$  W;  $D = 14^{\circ}.0$  W), в Лервике ( $\varphi = 60^{\circ}.0$  N;  $\lambda = 1^{\circ}.2$  W;  $D = 18^{\circ}.0$  W) и Абукире ( $\varphi = 31^{\circ}.3$  N;  $\lambda = 33^{\circ}.0$  E,  $D = 1^{\circ}0$  W), — он заключает что пульсации, которыми сопровождаются электрические токи в верхних слоях атмосферы являются как раз причинами тех радио-помех, которые в виде „тресков“ (clicks) или „шорохов“ (grinders) мы воспринимаем через радиоприемник.

Существование электрических токов в верхних слоях атмосферы необходимо признать на основании изучения суточных вариаций земного магнетизма, причем оказывается, что существуют две системы токов 1) имеется кольцевой ток, опоясывающий землю по параллелям и расположенный на значительной высоте и 2) электрический вихрь с вертикальной осью, появляющийся в освещенной солнцем атмосфере и расположенный под кольцом. Электрический вихрь следует за движением солнца и экранирует в дневное время кольцевой ток. Радио-помехи, наблюдаемые в дневное время, происходят из вихря и имеют различное направление для разных точек земли, а помехи, наблюдаемые в ночное время, имеют место своего зарождения в электрическом кольце и преимущественное их направление E—W, точнее перпендикулярное к магнитному меридиану. Характер радио-помех также зависит от места их зарождения; так, по Шиндельхауэру, „шорохи“ возникают в вихре, а „трески“ в кольце.

На фиг. 1 приведена схема вихря, полученная Чэпменом<sup>3</sup> для северного лета и для равноденствия на основе магнитных данных, пульсации которого сопровождаются помехами.

Метод наблюдений и обработки. В качестве приемного устройства обыкновенно употребляется рамочная антенна, настроенная на определенную длину волны. При помощи рамки, соединенной через уси-

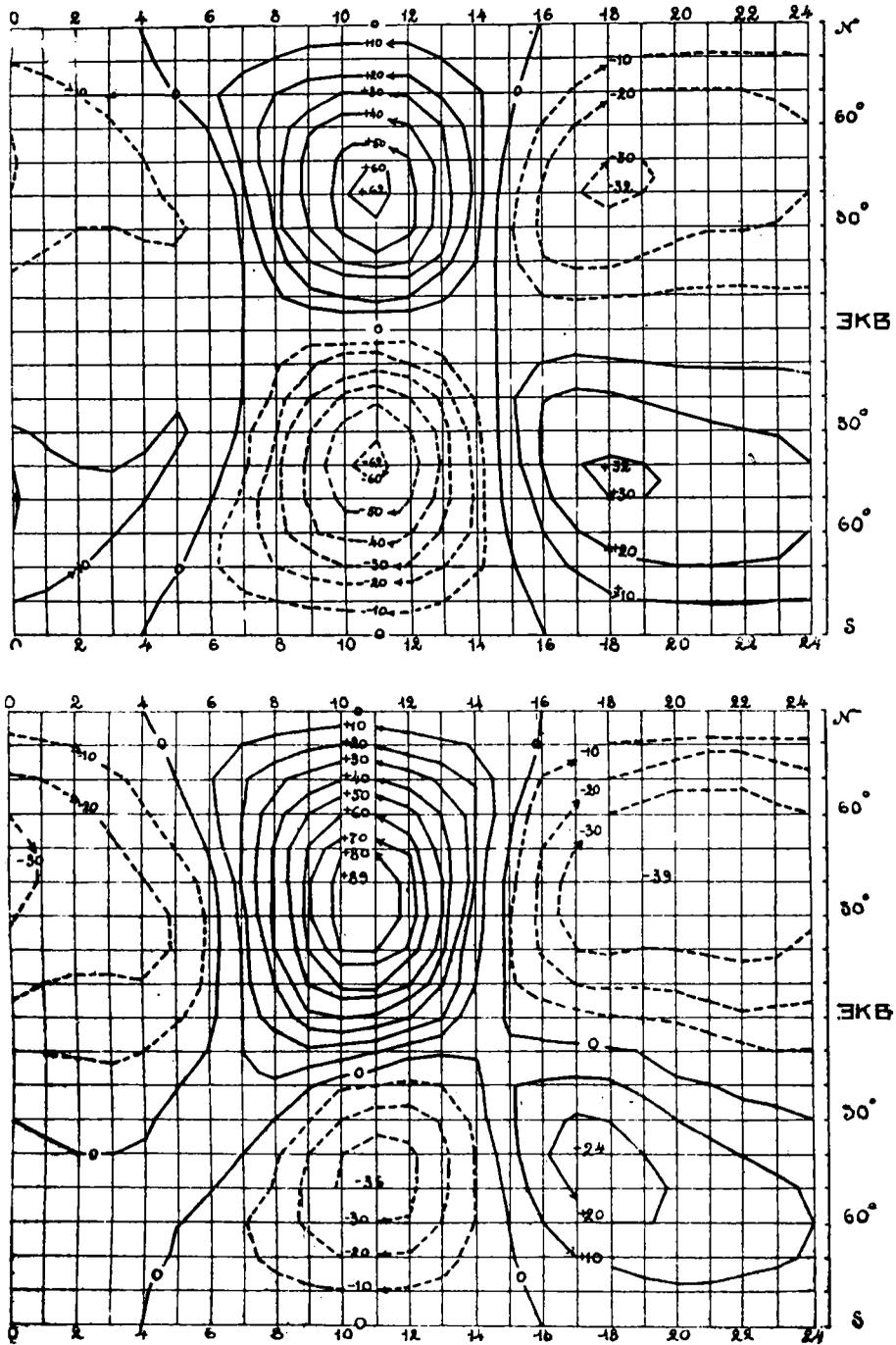
литель с осциллографом Абрагама, можно отмечать не только число, интенсивность, но и направление помех.

В случае равномерно распределенных по интенсивности и числу в пространстве помех, рамка, расположенная в меридиане, принимает помехи с наибольшей интенсивностью и в наибольшем числе с севера и юга, но она не принимает их с востока и запада, а из направлений промежуточных принимает с интенсивностью, пропорциональной  $\cos^2 \alpha$  угла между данным направлением и меридианом (плоскостью рамки). Приемная установка, имеющаяся в Слуцке, настроена на длину волны  $\lambda = 20\,000$  м, осциллограф Абрагама пишет винтовую линию на ленте, поставленной на барабан, сцепленный при помощи конической шестеренки с осью рамки и имеющий поступательное и вращательное движение. Рамка вращается при помощи мотора со скоростью 4 оборота в час. В случае помех винтовая линия пересекается штрихами различной величины в зависимости от интенсивности помехи.

При обработке лента делится горизонтальными и вертикальными линиями на клетки, и подсчитывается число штрихов в каждой клетке. Эти числа соответствуют числу помех, пришедших в определенный момент из определенного направления (конечно, последнее постольку, поскольку рамка дает эти направления).

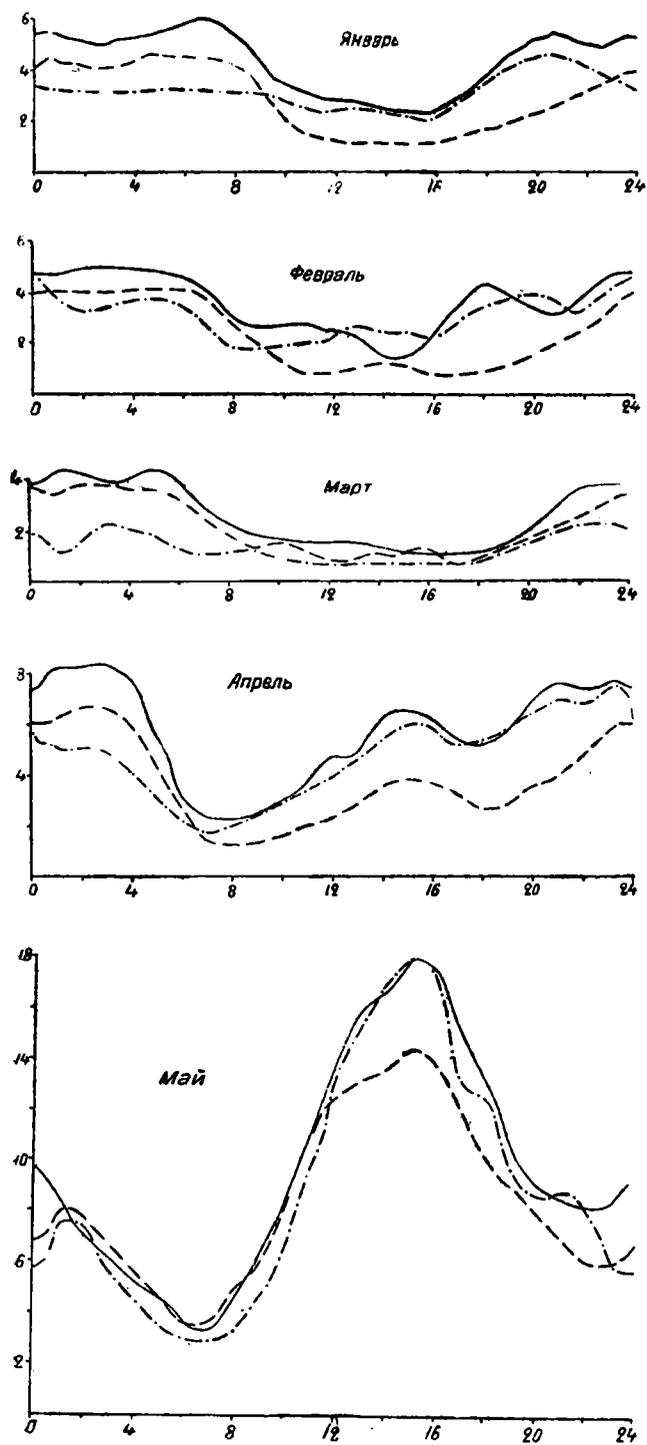
Результаты. Средняя картина явлений, полученная на основании довольно систематической регистрации в 1931 г. в Слуцке, здесь приводится. На фиг. 2 дан суточный ход числа атмосферных помех, относящийся к различным месяцам 1931 и 1932 гг. Для каждого месяца нанесены три кривые: сплошная кривая показывает ход числа атмосферных помех из направления их максимума; пунктирной кривой (тире—тире) изображен ход помех из направления E—W, пунктирной же кривой (тире—точка) дан ход помех из направления N—S. По оси ординат на всех графиках отложено число разрядов в 1 мин. Сравнение всех кривых показывает, что качественного различия кривые не представляют. Сравнение пунктирных кривых показывает, что в начале суток преобладают разряды из направления E—W, около 9<sup>h</sup> утра кривая N—S и кривая E—W пересекаются, т. е. то и другое направление равнозначны, затем преобладает направление N—S, которое сохраняется почти до конца суток. Пересечение кривых происходит около 23<sup>h</sup>.

Обзор кривых, отнесенных к различным месяцам, показывает, что характер хода в теплое время (V, VI, VII, VIII) и холодное время года (X, XI, XII, I, II, III) различен. Для кривых, относящихся к холодному времени года, характерно повышенное значение ночью и пониженное — днем. Сразу же после захода солнца мы наблюдаем повышение числа разрядов, идущее непрерывно до восхода солнца, когда наступает их резкое снижение. Для летних кривых характерно бурное нарастание числа атмосферных помех, начиная с 9<sup>h</sup> утра, достигающее максимума около 15—16<sup>h</sup>, после этого число их быстро уменьшается к ночи. Апрель и октябрь

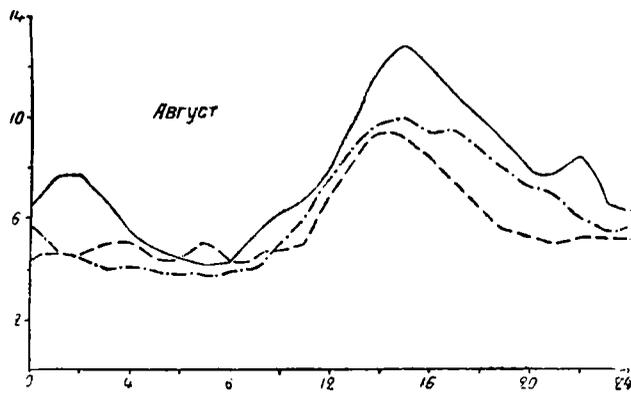
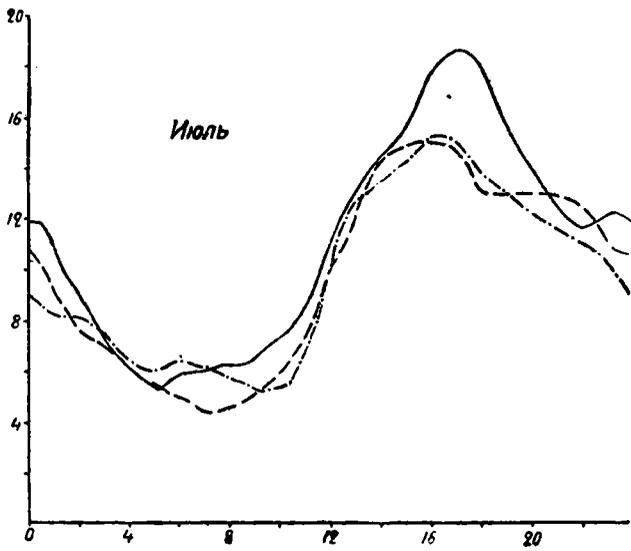
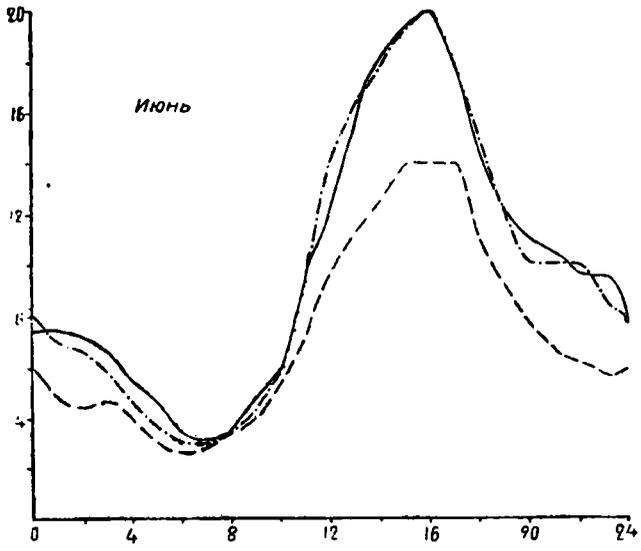


Фиг. 1. Карты солнечносуточной периодической системы тока (S), вычисленные из солнечных вариаций земного магнетизма в год минимума солнечных пятен (1902).

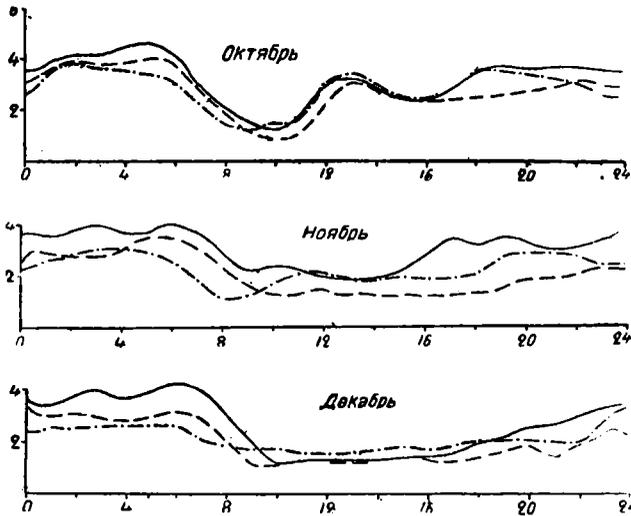
Мериданы обозначены местным временем (12 = полдень). Изображены линии одинаковых значений функции тока. Единица — 10.0 А; между каждыми двумя линиями течет ток в 1000 А в направлении стрелки. Верхний рисунок относится к равноденствию, нижний — к летнему солнцестоянию.



Фиг. 2а.



Фиг. 2б.



Фиг. 2с.

месяцы имеют переходный характер, здесь послеполуденный максимум только намечен. Сопоставление результатов, относительно числа атмосферных помех, полученных в Слуцке, с результатами, полученными в Потсдаме, а также с американскими наблюдениями, указывает на поразительное сходство в ходе кривых, которые достигают своих экстремальных значений в одно и то же местное время для различных точек земного шара. Это обстоятельство указывает на значительную роль помех местного происхождения.

Для полноты привожу здесь таблицу годового хода числа помех для Слуцка и Потсдама, составленную по отсчетам в 9<sup>h</sup> утра (приблизительно— время минимума) и в 15<sup>h</sup> (приблизительный максимум).

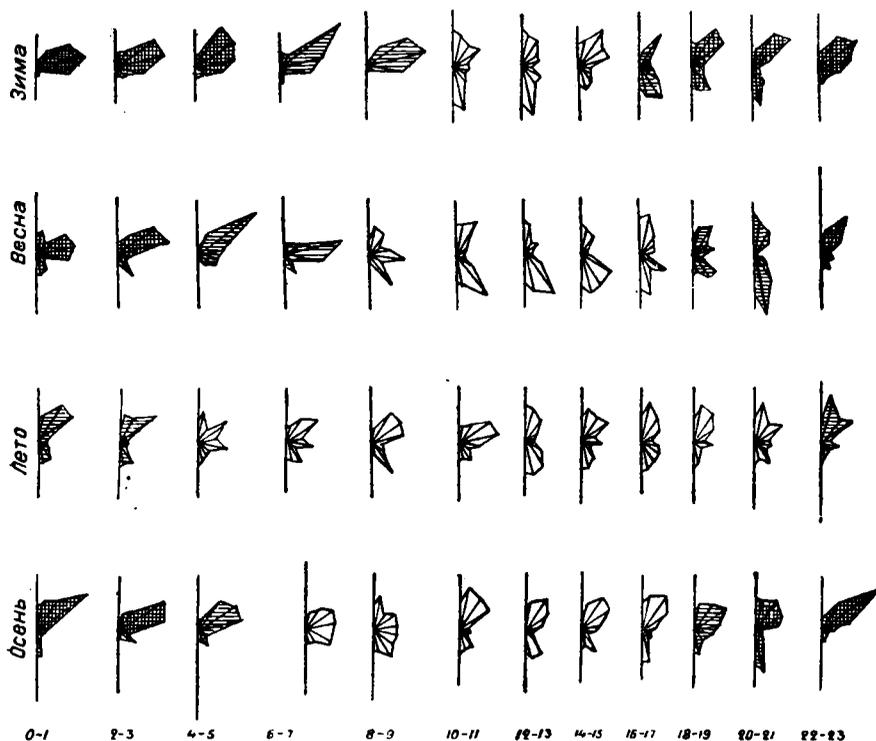
9<sup>h</sup>

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Слуцк . . . . .	4.0	2.6	2.0	2.4	6.2	5.0	6.4	5.4	2.0	1.6	2.2	2.0
Потсдам . . . . .	12.0	7.0	6.0	8.0	9.0	14.0	16.0	—	—	14.0	10.0	14.0

16<sup>h</sup>

Слуцк . . . . .	2.2	1.4	1.0	6.0	18.0	19.2	15.6	12.6	6.0	2.4	2.2	1.4
Потсдам . . . . .	8.0	5.0	4.0	8.0	29.0	36.0	50.0	—	—	8.0	6.0	12.0

Так как имеются некоторые основания предполагать, что установка в Потсдаме аналогична Слуцкой, то можно сравнивать оба ряда значений. Сравнение показывает, что число атмосферных помех значительно уменьшается с широтой. На севере помехи должны быть очень незначительны, как это и следует из наблюдений Б. Ф. Архангельского на земле Франца-Иосифа.

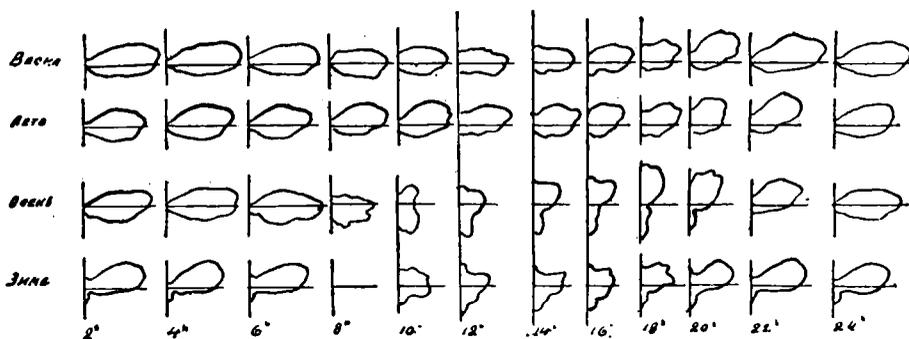


Фиг. 3.

Направленность атмосферных помех видна из фиг. 3, где представлены 4 ряда полярных диаграмм, отнесенных к различным временам года и представляющих собою суточный ход изменения направления помех. Каждая фигура ряда построена таким образом: вертикальный отрезок представляет собою направление (N—S) меридиана, от середины отрезка отложены под различными углами к меридиану радиусы-векторы, величина которых пропорциональна числу дней с максимальным числом разрядов из данного направления. Концы радиусов-векторов соединены. Фигуры, относящиеся к часам, когда вся атмосфера затемнена, заштрихованы вертикальными и горизонтальными линиями; фигуры, отнесенные к сумеркам, заштрихованы горизонтальными линиями; дневные фигуры оставлены без штриховки. Фиг. 3 показывает, что для темного времени преобладающим направлением является направление, близкое к E—W или NE—SW, тогда как для дневного времени преобладает направление N—S. С на-

ступлением вечерних сумерек начинается поворот фигур, вытянутых в направлении N—S к E—W, продолжающийся до начала утренних сумерек. Вообще говоря, такой ход направленности укладывается в схему, данную Шиндельхауэром, не менее, чем его собственные наблюдения в Потсдаме.

Для сравнения привожу фиг. 4, с ходом направленности помех в Потсдаме. Здесь обращает на себя внимание то обстоятельство, что весной и летом в дневное время преобладает E—W направление. Шиндельхауэр объясняет это тем, что летом, днем, токи в горизонтальном вихре имеют направление E—W (см. фиг. 1 для  $\varphi = \sim 50^\circ.0$  в 11—12<sup>h</sup>), но тогда странно, почему направление N—S токов от 8<sup>h</sup> до 9<sup>h</sup>, от 12<sup>h</sup> до 16<sup>h</sup> соответствует направлению атмосферных помех с E (W); по наблюдениям

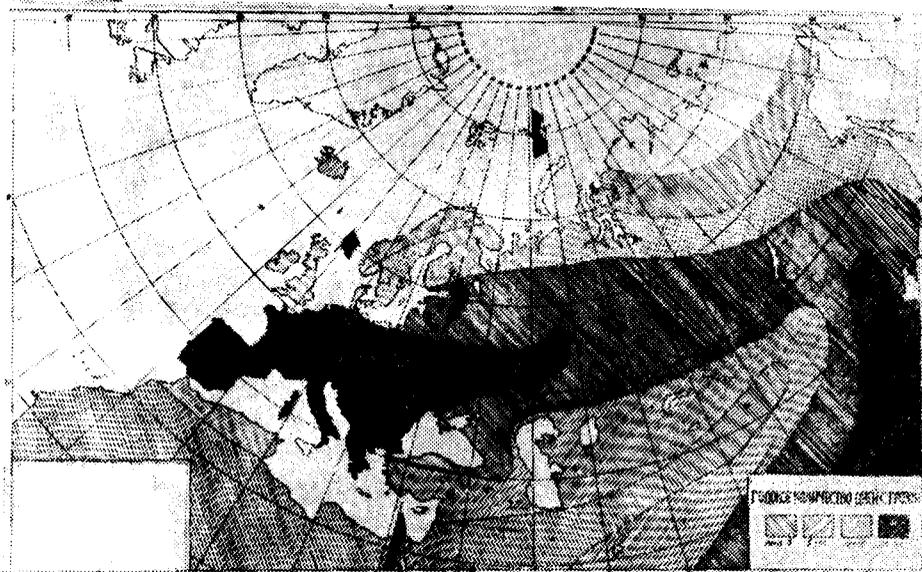


Фиг. 4.

в Слуцке в летнее время около 10—11<sup>h</sup> направление токов E—W, тогда как атмосферные помехи направлены с N (S). Принимая схему Шиндельхауэра, мы должны допустить определенные исключения как в потсдамских, так и слуцких наблюдениях, причем в то время, когда для Потсдама направление токов совпадает с направлением атмосфериков, для Слуцка не наблюдается совпадений и наоборот. Аналогичные обстоятельства можно просмотреть для каждого сезона.

В качестве возможного объяснения „аномального направления“ атмосферных помех, наблюдаемого в летнее дневное время в Потсдаме, привожу карту распределения гроз по Клоссовскому в Европе (см. фиг. 5), взятую мною из курса „Метеорологии“ Оболенского, на которой представлены также полярные диаграммы атмосфериков по наблюдениям в Лервике, Потсдаме, Слуцке, Абукире и на Земле Франц-Иосифа в летнее время. Хотя карта составлена для всего года, но совершенно очевидно, что она в большей степени относится к весеннему и летнему времени. Обращает на себя внимание тот факт, что вся Западная Европа и центральная полоса СССР имеют значительное число гроз по сравнению с севером а югом. Отсюда, пожалуй, понятно, почему рамки в Потсдаме, находясь в летний период в направлении E—W, регистрируют относительно большое число разрядов. Понятно, что для Слуцка напра-

вление помех с  $N(S)$ , так как полоса гроз по отношению к Слуцку находится к югу и понятны соответствующие диаграммы для Абукира, Лервика и Земли Франца-Иосифа.



Фиг. 5.

Принимая изложенное выше во внимание, следует, что теория происхождения стратосферных помех из атмосферы не достаточно подтверждается; необходимы дальнейшие наблюдения в различных точках на различных волнах для подтверждения той или другой точки зрения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Schindelbauer. ENT, Bd. V, стр. 442—449.
2. — ENT, Bd. VI, стр. 231—236.
3. Bartels. Die höchsten Atmosphärenschichten. Ergebn. d. exact. Naturwiss., Bd. VII, 1928, Berlin.



В. С. ФЕДУКОВИЧ

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ВЫСОТЫ СЛОЯ ХЕВИСАЙДА ЗА ЗИМНИЙ ПЕРИОД 1933 г.

Темой данного сообщения является описание результатов измерений высоты слоя Хевисайда, проведенных в конце 1933 г. одновременно в городах Ленинграде и Мурманске.

К сожалению, материал измерений еще не обработан полностью, в особенности в части сопоставления с факторами, могущими влиять на поведение слоя. Применяемый метод измерений описан проф. М. А. Бонч-Бруевичем в Научно-техническом сборнике Ленинградского Электротехнического института связи (вып. I, 1933 г.).

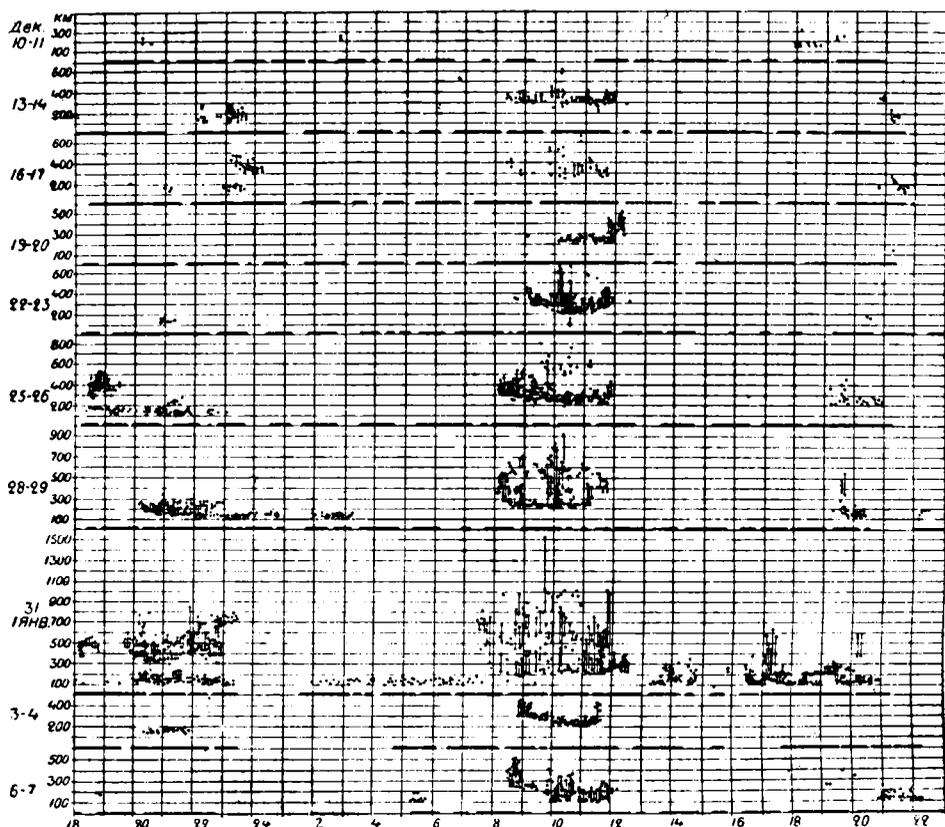
Измерительная аппаратура, находящаяся в Мурманске, была такого же типа, как и в Ленинграде.

Наблюдения делались визуально с помощью трубки Брауна путем регистрации расположения отраженных сигналов относительно основного. Развертка пятна трубки Брауна производилась по кругу. В Ленинграде для регистрации применялась бумага с круглым отверстием, которая накладывалась на экран трубки таким образом, чтобы края отверстия совпадали со светящимся кругом экрана. Положение основного сигнала и отраженных отмечалось карандашом. В Мурманске картина отражений была чрезвычайно бурная и сложная, вследствие чего указанный метод регистрации был труден. В Мурманске пришлось применить другой метод регистрации, который заключался в следующем: на экран трубки Брауна накладывался лист бумаги с круглым отверстием, диаметром около 5 см. Окружность отверстия была разделена на градусы и так же, как в предыдущем случае, совмещалась со светящимся кругом экрана. Положение эхо относительно основного сигнала в градусах, а также и их относительная интенсивность, заносились в таблицу.

На фиг. 1 и 2 даны сводные графики эквивалентных высот, полученных в Мурманске и Ленинграде. По горизонтальной оси отложено время по Гринвичу, а по вертикальной — „эквивалентные высоты“. Сплошная горизонтальная линия под каждым графиком указывает на время, в которое производились наблюдения. Вертикальные линии, соединяющие две или несколько точек, указывают на то, что эхо имеет общее основание или замечается его перебегание в отмеченных пределах. Штриховка указывает

на область, в которой имели место отражения, но по каким-либо причинам измерения произведены не были. Все измерения были сделаны на волне 75 м.

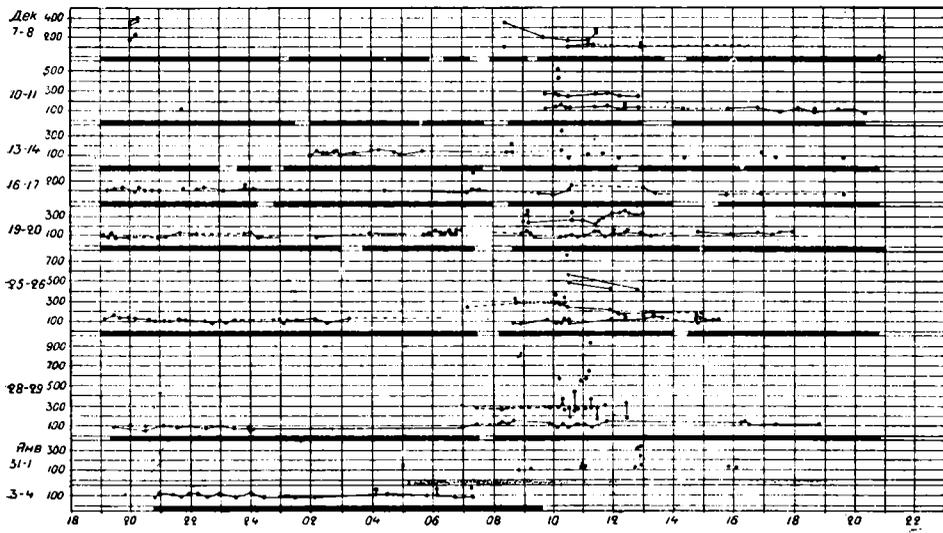
Измерения производились в период времени с 10—XII—1933 г. по 10—I—1934 г. Этот период в Мурманске соответствует полярной ночи.



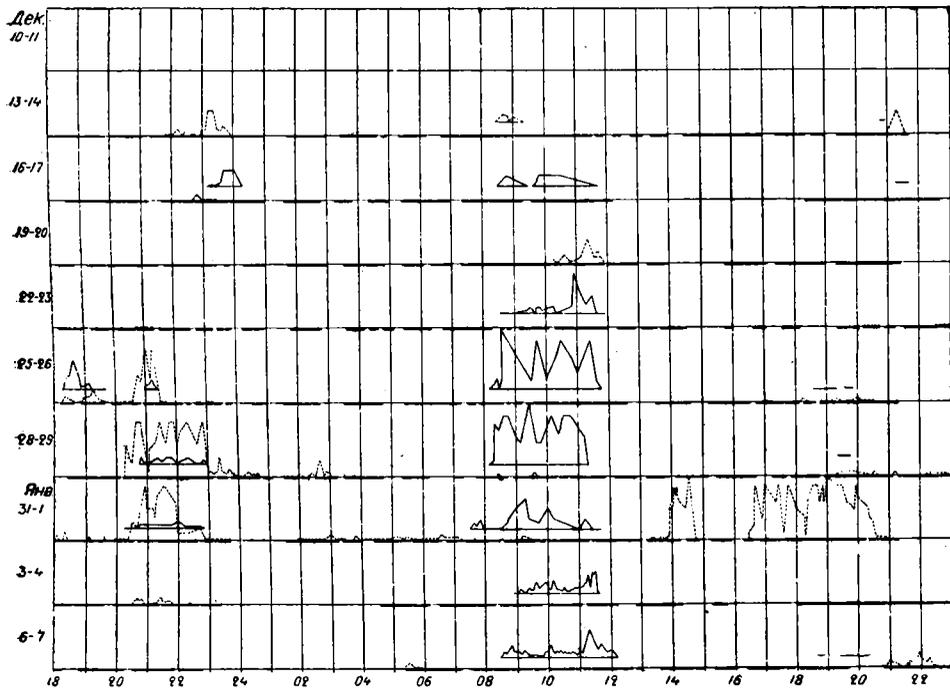
Фиг. 1.

Солнце не подымалось выше горизонта, но высшие слои атмосферы им освещались.

Рассматривая фиг. 1, мы видим, что ночью главным образом имеют место отражения от слоя *E*, эквивалентная высота которого равна 100—130 км. Эти отражения носят довольно неустойчивый характер. Но с рассветом совершенно регулярно отражения от слоя *E* пропадают и появляются отражения от слоя *F* (10—11 декабря с 9 до 11 час. был перерыв в наблюдении); слой *F* начинает опускаться, затем часа два держится на одном уровне и с наступлением сумерек начинает подыматься, и отражения постепенно пропадают. Это явление, в менее ясной форме, имеет место и в ленинградских измерениях (фиг. 2). В средних же широтах картина отражений обычно носит обратный характер.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Особенно бурная картина отражений в Мурманске имела место 1 января. В этот день были отражения, соответствующие „эквивалентной высоте“ 1500 км.

За период измерений в Мурманске были два дня, в которые наблюдались полярные сияния. Первое сияние, не особенно сильное, было 10—XII—1933 г. и второе, очень сильное, наблюдалось 6—I—1934 г. до 21 час. В обоих случаях во время сияний отражения отсутствовали.

На фиг. 3 даны интенсивности отражений, полученные в Мурманске. По горизонтальной оси отложено время по Гриничу, а по вертикальной — интенсивности отражений в относительных единицах. Сплошные линии, поднятые над осью, относятся к слою 200—400 км, а пунктирные к слою 100—200 км. Наибольшая интенсивность отражений падает на середину данного периода измерений (26 и 29 XII). В начале и в конце периода интенсивность отражений была очень слабая.

Ленинград.

Ленинградское отделение Научно-исследовательского института связи и Главная геофизическая обсерватория.

---

В. И. БАРАНОВ

## К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ПРИ ПОЛЕТАХ В СТРАТОСФЕРУ

Основной проблемой учения об атмосферном электричестве является происхождение и сохранение отрицательного заряда земли. Несмотря на усилия, приложенные к решению этого вопроса крупнейшими учеными, мы до сих пор не имеем твердо установленной точки зрения на природу механизма, создающего отрицательный заряд поверхности земли. Причина этого обстоятельства лежит, с одной стороны, в сложности самой проблемы, а с другой — в недостаточном количестве опытных факторов. Наблюдения в высоких слоях атмосферы могут, как на это указывают между прочим Виганд (1) и другие, дать весьма ценный материал для решения упомянутой проблемы. Наблюдаемый на опыте факт сохранения отрицательного заряда земли требует существования притока к земной поверхности отрицательного электричества (*Zustrom* по Бенндорфу), компенсирующего непрерывное рассеяние этого заряда, благодаря проводимости атмосферного воздуха. Плотность этого вертикального тока составляет  $2.9 \cdot 10^{-16}$  ампера на кв. см или 1820 элементарных зарядов на  $\text{см}^2$  в секунду (2). Предложенные для объяснения отрицательного заряда земли теории, не противоречащие известным опытным данным, можно разбить на две следующие группы:

1) Теории, связывающие источник притока электричества с земной атмосферой — теория грозových разрядов Вильсона-Виганда и теория вторичных корпускулярных лучей, вызываемых в атмосфере фотонами космического происхождения.

2) Теории, согласно которым электричество притекает непосредственно к поверхности земли из мирового пространства — теория корпускулярных отрицательных лучей и теория спонтанного изменения заряда земли, благодаря возможному нарушению закона сохранения количества электричества для вращающихся тел размеров земли (Сванн). Работы Тибо по превращению позитрона в лучистую энергию также дают намек на возможность нарушения закона сохранения количества электричества.

Вторая группа теорий дополняется еще необходимостью оттока отрицательного электричества от границ атмосферы (или добавочного притока положительного электричества из мирового пространства).

Во всех случаях весьма важным элементом атмосферного электричества, теснее всего связанным с расположением источника заряда земли, является вертикальный ток проводимости и его изменение с высотой. Если приток отрицательного электричества происходит непосредственно к твердой оболочке земли, то плотность вертикального тока проводимости в атмосфере должна оставаться постоянной по всей толще атмосферы, по крайней мере до тех высот, где могут появляться или задерживаться постулируемые нами положительные частицы, притекающие из мирового пространства. В случае же атмосферного происхождения источника отрицательной электризации земли мы можем ожидать изменения с высотой плотности вертикального тока проводимости и даже, возможно, изменения его знака. Правда, в грозовой теории Виганда предполагается отток положительного электричества от грозовых облаков в виде молний непосредственно в верхние проводящие слои атмосферы, что должно, как будто, обуславливать постоянство средней плотности вертикального тока проводимости до высот по крайней мере в 50 км. Но, пожалуй, более вероятно предположить, что остающийся свободный положительный заряд в грозовом облаке после передачи земле отрицательного заряда молниями не рассеивается очень далеко от облака и остается где-то в пределах тропосферы или близко к ее границам, переносясь далее воздушными течениями.

Во всяком случае, измерения плотности вертикального тока в доступных нам уже теперь нижних слоях стратосферы могут дать весьма ценный материал для выяснения одного из основных вопросов геофизики.

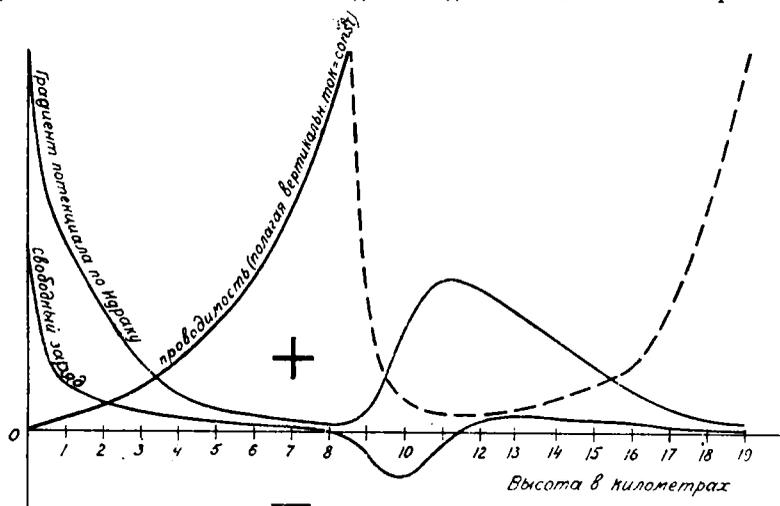
Имеющиеся до настоящего времени немногочисленные наблюдения атмосферного электричества на больших высотах дают некоторое основание предполагать, что на границе тропосферы и стратосферы могут существовать весьма интересные атмосферно-электрические явления. Наблюдения, произведенные Вигандом и Эверлингом на свободном аэростате на высоте до 9 км над градиентом потенциала и проводимостью, позволили вычислить распределение по высоте вертикального тока проводимости (1). При этом получились следующие результаты:

Высота в километрах	0	3—4	6—9
Вертикальный ток в ESE на см <sup>2</sup>	$5-6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, по данным Виганда, получилось уменьшение плотности вертикального тока в слое до 9 км более, чем в два раза. Сам Виганд считает эти результаты подтверждающими грозовую теорию заряда земли. Проверка этих результатов путем систематических наблюдений на возможно больших высотах весьма желательна, ибо установлено, что слоистость атмосферы, например, инверсии и места наложения различных воздушных масс вносят большие пертурбации в электрическое состояние воздуха. Кроме того, нельзя а priori ожидать одинакового рас-

предела электрического состояния воздуха в высоких слоях под всеми широтами.

Другая крайне интенсивная работа в высоких слоях атмосферы была выполнена Идраком при помощи шаров-зондов до высоты в 20 км.<sup>8</sup> Идрак регистрировал градиент потенциала и получил следующий весьма любопытный результат. После постепенного уменьшения градиента потенциала с 10.4 вольт на метр на 4 км до 2.3 вольт на метр на 8 км на высоте от 10 до 12 км наблюдалось возрастание градиента до 30—40 вольт на метр, а затем постепенное падение до 1.2 вольт на метр на 19 км.

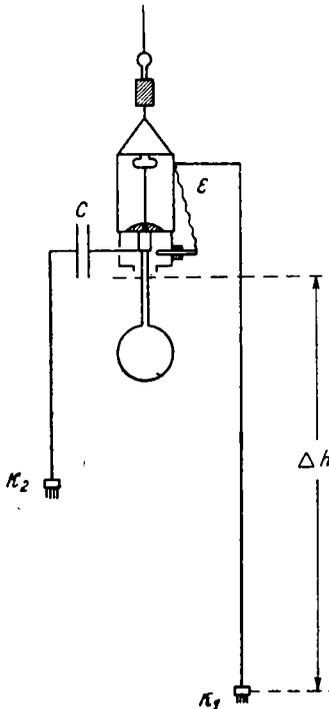


Фиг. 1.

Если наблюдения Идрака дают нормальный характер изменения поля на границе тропосферы и стратосферы и не являются случайными или ошибочными, то они представляют громадный интерес, ибо в случае постоянства вертикального тока резкое возрастание градиента потенциала должно сопровождаться столь же резким падением проводимости, выяснение причин которого может дать новые факты. С другой стороны, изменение градиента потенциала неизбежно связано с появлением пространственных зарядов, носители которых должны иметь большое значение. На основании данных Идрака, мы можем представить следующую схему электрического состояния близ границы тропосферы и стратосферы (фиг. 1). Разумеется, до проверки единичных наблюдений Идрака нельзя сказать, насколько эта картина отвечает обычному распределению электрических элементов в этих слоях. Из фиг. 1 видно, что при найденном Идраком ходе градиента потенциала на границе тропосферы и стратосферы должны скопляться свободные заряды того и другого знака.

По изложенным выше соображениям крайне важно дополнить арсенал приборов, служащих для исследования атмосферного электричества на больших высотах, приборами для измерения вертикального тока.

Плотность вертикального тока определялась до сих пор только косвенным путем из наблюдений градиента потенциала и проводимости. Однако трудности, связанные с обеспечением омического тока в аспирационных приборах на большой высоте, заставляют предпочесть непосредственные методы определения этого элемента, тем более, что и наземные станции переходят к регистрации непосредственно вертикального тока.



Фиг. 2.

Такая установка осуществлена, например, на обсерватории в Кью (Англия). Принцип приборов для непосредственного измерения или регистрации вертикального тока заключается, как известно, в измерении тока или скорости заряжения горизонтальной площадки, выставленной под земное электрическое поле и находящейся при потенциале, близком к потенциалу земли. В свободной атмосфере техника применения приборов такого типа осложняется отсутствием опорной плоскости определенного потенциала заменяющей свободную поверхность земли. Однако мы легко можем получить такую опорную плоскость при помощи достаточно мощного коллектора. Схема такого прибора представляется в следующем виде. Некоторый проводник *A*, соединенный с достаточно чувствительным электрометром *B*, подвешивается на изоляторе в воздухе (фиг. 2). При помощи контактного ключа проводник может быть присоединен к оболочке электрометра. Корпус электрометра соединяется с достаточно мощным коллектором, помещенным на уровне, отличном

от „эффективного“ уровня проводника. Пусть значения потенциала на соответствующих уровнях коллектора и проводника будут равны  $V_1$  и  $V_2$  при разности высот  $\Delta h$ . Тогда на нашем проводнике, пока он соединен с корпусом электрометра, появится заряд

$$Q = C \cdot (V_2 - V_1) = C \frac{dV}{dh} \Delta h,$$

где  $C$  — постоянная,  $\frac{dV}{dh}$  — градиент потенциала земного поля на соответственной высоте. После отъединения проводника от соединенного с коллектором корпуса электрометра заряд начинает рассеиваться по известному закону

$$-\frac{dQ}{dt} = 4\pi Q \lambda,$$

где  $\lambda$  — проводимость воздуха. Подставляя значение  $Q$ , находим:

$$-\frac{dQ}{dt} = 4\pi C \Delta h \lambda \frac{dV}{dh} = Mi,$$

где  $i$  — плотность вертикального тока проводимости,  $M$  — постоянная, не зависящая от высоты.

Таким образом, измеряя или регистрируя рассеяние заряда проводником, предварительно соединенным на малый промежуток времени с корпусом электрометра, мы находим величину вертикального тока в относительных единицах. Разумеется, потенциал проводника  $A$  не должен значительно изменяться за время отсчета. Искажений, вызываемых колебаниями в напряжении поля за время между отсчетами, можно избежать, применив метод, предложенный Симпсоном и используемый в новой установке в Кью (4). Для этой цели в систему включается конденсатор  $C$ , соединенный с добавочным коллектором  $K$  с таким расчетом, чтобы наведенный при его помощи заряд компенсировал заряд, индуцированный на проводнике  $A$ , благодаря изменению напряжения поля за время между отсчетами. Предлагаемая схема может быть принципиально применена и на шарах-зондах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wig and A. Phys. Zs., 22, 623, 1921.
2. Schweidler E. Die Aufreihferhaltung der elektrischen Ladung der Erde. Hamburg, 1932.
3. Idrac R. C. R., 182, 1634, 1926.
4. Scraser F. Geophys. Mem., № 58 (vol. VII), London, 1933.

Лаборатория атмосферного электричества  
Московского отделения Аэрологического ин-та Г. Г. О.



Б. Ф. АРХАНГЕЛЬСКИЙ

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ ОБ УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИО-ВОЛН В СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ

В течение II Международного полярного года (1932—1933 г.) в числе других геофизических работ были поставлены наблюдения за распространением радио-волн с целью выяснения состояния верхних слоев атмосферы и зависимости его от геофизических явлений.

Эти наблюдения были поставлены на двух зимовках: в бухте Тихой на Земле Франца-Иосифа (с. ш.  $80^{\circ}10'$ , в. д.  $52^{\circ}$ ) и на Маточкином Шаре (с. ш.  $73^{\circ}30'$ , в. д.  $56^{\circ}$ ). Наблюдения представляли собой регулярные измерения (визуальные и путем фотозаписи) напряженности поля радиостанций в диапазоне средних (200—2000 м) и коротких (25—60 м) волн, производимые в определенные сроки. Измерения производились с помощью специально разработанной аппаратуры (радиокомпараторы средних и коротких волн и фоторегистрирующие устройства). По возвращении экспедиции результаты наблюдений подверглись числовой и статистической обработке. Ниже из всех результатов наблюдений на Земле Франца-Иосифа дается та часть, которая может иллюстрировать тесную зависимость условий распространения радио-волн от состояния верхних слоев атмосферы и параллельный ход с некоторыми явлениями на солнце и на поверхности земли.

Сопоставление ряда фактов позволяет оценить начало 1933 г. (период январь—май) как период весьма благоприятный в смысле четкости геофизических явлений и известного ритма в этих явлениях. Этот ритм, имеющий период порядка 28 дней, одновременно наблюдается в следующих явлениях: 1) появление в декабре 1932 г. на Солнце значительного пятна (на широте  $+5 - 15^{\circ}$ ) и исчезновение его в мае с периодическим повторным появлением его на прежнем месте в течение этого промежутка времени; 2) периодичность в явлениях кальциевых флуокул на солнечном диске; 3) периодические магнитные возмущения, отмеченные как в северных широтах (например в бухте Тихой), так и на южных обсерваториях (данные URSl-грамм); 4) периодичность в появлении полярных сияний; 5) намечающаяся периодичность в колебаниях критической частоты слоя  $F$  (а следовательно и в ионизации этого слоя); 6) периодичность в явлениях распространения радио-волн. Этот четкий характер перечисленных явлений

обязан, повидимому, тому обстоятельству, что общее состояние Солнца в начале 1933 г. можно было характеризовать как довольно спокойное, что особенно хорошо видно при сопоставлении двух солнечных карт 1929 и 1932 гг. на фиг. 1 и 2.

Для иллюстрации высказанных положений на фиг. 3а и 3б даются кривые ночной напряженности поля радиостанций: Кенигсвустергаузен — длина волны 1635 м, расстояние 3500 км (фиг. 3а) и радиостанции Лондон — длина волны приблизительно 230 м, расстояние 3900 км (фиг. 3б).

Эти радиостанции, работающие упомянутыми волнами и удаленные на такие большие расстояния, создают в месте приема (в бухте Тихой) в ночное время поле только за счет пространственного (отраженного верхними слоями атмосферы) луча; поэтому приведенные кривые характеризуют именно состояние верхних слоев атмосферы. Рассмотрение их приводит к следующим заключениям:

- 1) уменьшение напряженности поля по мере наступления полярного дня и увеличение дневного поглощения волн верхним слоем (годовой ход);
- 2) наложение на городской ход колебаний с периодом около 28 дней;
- 3) на волнах более коротких (230 м) эти колебания значительны и достигают по амплитуде 80—90% от средней величины, в то время как на более длинных волнах (1635 м) эти колебания значительно слабее (40—50%).

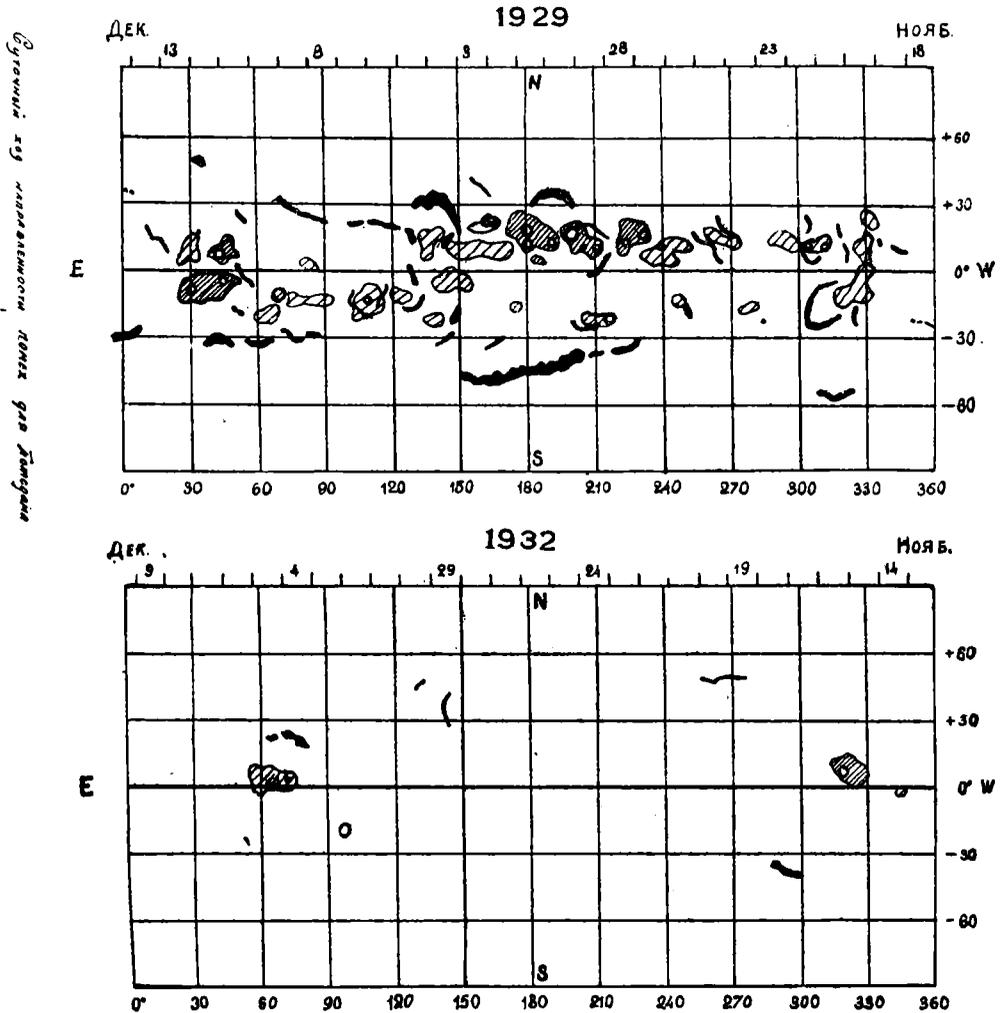
На фиг. 3в даны магнитные характеристики по наблюдениям в бухте Тихой (сообщены старшим магнитологом Е. К. Федоровым), а на фиг. 3г внизу заштрихованные полосы отмечают периоды магнитных возбуждений по данным URSl-грамм. На той же фигуре 3д приведены характеристики суток в отношении полярных сияний (по наблюдениям на Аляске американским Сельскохозяйственным институтом).

Фиг. 3е дает значения критической частоты при исследовании слоя Кеннелли-Хевисайда методом прямого эхо, полученные в Вашингтоне Американским бюро стандартов.

Фиг. 3ж иллюстрирует изменение интенсивности кальциевых флуокул по данным пяти обсерваторий.

Все приведенные кривые, имея один и тот же период, характеризуют явления, тем или иным путем обусловленные какой-то общей причиной. Такой общей причиной являются, повидимому, процессы, имеющие место на поверхности солнца. Характеристики солнечных пятен, взятые непосредственно, не дают удовлетворительной корреляции с перечисленными явлениями, что может быть объяснено тем обстоятельством, что не все пятна связаны с активными процессами на солнце. Однако последовательное рассмотрение солнечных карт за период ноябрь 1932 г. — май 1933 г. показывает, что этот период ознаменовался зарождением, периодическим появлением и исчезновением большого пятна, связанного, повидимому, с особой активностью солнца, имеющей параллельный ход с интенсивностью кальциевых флуокул.

В задачу настоящего сообщения входит только краткое рассмотрение небольшой части фактического материала наблюдений без попытки физических обоснований или объяснений явлений, что должно быть сде-

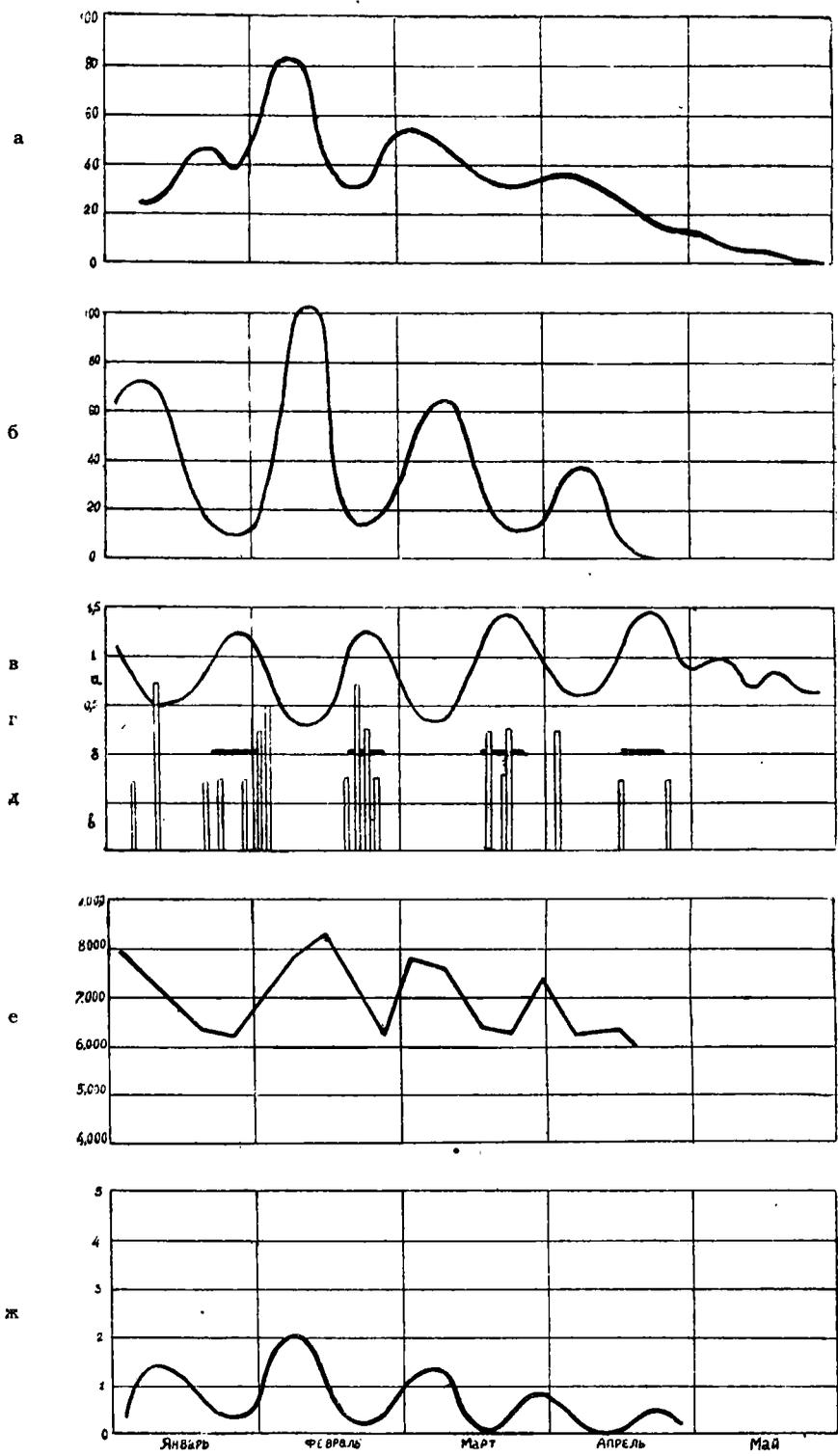


Фиг. 1—2.

лано на основании всего материала наблюдений. Однако приведенный материал, а также весь опыт по изучению распространения радио-волн, позволяет формулировать следующие тезисы по теме сообщения:

1. Изучение распространения радио-волн является надежным средством изучения верхних слоев стратосферы и изменений их регулярных и эпизодических.

2. Изучение высоких слоев стратосферы на полярных обсерваториях методами радио-волн, в связи с явлениями земного магнетизма, атмосферного электричества и полярными сияниями, значительно продуктивнее, чем в южных широтах.



Фиг. 3.

3. Поэтому в заключение автором высказывается мысль о необходимости организации полярной геофизической обсерватории, вооруженной методами исследования атмосферного электричества, земного магнетизма, радио-волн (распространение и зондирование), а также активно метрическими и метеоро-аэрологическими методами.

Ленинград.

Ленинградское отделение Научно-исследовательского института связи и Главная геофизическая обсерватория.



С. И. КРЮЧКОВ.

## О ПРОВОДЯЩЕМ СЛОЕ ХЕВИСАЙДА И ПРИЧИНАХ БЫСТРОГО ПОДНЯТИЯ И ОПУСКАНИЯ ЕГО НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ В СВЯЗИ С ЗАХОДОМ И ВОСХОДОМ СОЛНЦА

Работы Appleton'a и др. показали, что проводящий слой Хевисайда распадается на два слоя: нижний, на высотах 100—120 км с электронной концентрацией порядка  $10^5$ — $2 \cdot 10^5$  электрон/см<sup>3</sup> (в дневных условиях) и верхний, на высотах 200—300 км с значительно большей электронной концентрацией. Темой настоящего сообщения является нижний слой в части, касающейся экспериментально наблюдаемого факта быстрого исчезновения этого слоя непосредственно после захода солнца и такого же быстрого появления при восходе солнца. Наблюдаемое явление до сих пор не поддавалось достаточно правдоподобному объяснению. В настоящем сообщении приводятся соображения, имеющие цель, хотя бы пока качественно, ответить на поставленный вопрос.

В моей предыдущей работе (Журн. прикл. физ., июль, 1930) были приведены потенциалы ионизации  $O_2$ ,  $O_1$ ,  $N_2$  и потенциал диссоциации  $O_2$  на атомы:

	вольт	
$O_2$ . . . . .	14.1	} потенциал ионизации
$O_1$ . . . . .	13.56	
$N_2$ . . . . .	16.9	
$O_2$ . . . . .	7	} потенциал диссоциации

Легко видеть, что под действием света процессы ионизации и диссоциации  $O_2$ ,  $O_1$  и  $N_2$  возможны лишь при наличии ультрафиолетового излучения или радиации еще большей частоты. В земной атмосфере эти процессы имеют место лишь при достаточно высоком стоянии солнца и длительном освещении, т. е. в дневные часы. Очевидно, появление нижнего слоя сразу после восхода солнца не может быть объяснено действием ультрафиолетовых лучей из-за их сильного поглощения в земной атмосфере (поглощение при восходе солнца в 80 раз сильнее, чем при стоянии солнца в зените).

Весьма вероятно, как кажется, следующая картина явления: наряду с ионизацией, как известно, идет процесс рекомбинации, и наблюдаемая электронная концентрация есть результат обоих процессов. После захода

солнца из этих двух процессов остается преимущественно процесс рекомбинационный. Для величины коэффициента рекомбинации электрона с положительным ионом наибольшее значение дает Eckersley  $10^{-10}$ ; но при этом значении при тех малых электронных концентрациях порядка  $10^5$ — $2 \cdot 10^5$  эл./см<sup>3</sup>, которые имеют место на высотах 100—120 км в дневные часы (как было уже сказано), кривая спадания величины электронной концентрации спадает (как показывают вычисления) чрезвычайно медленно, и для заметного уменьшения величины электронной концентрации потребовалось бы несколько часов, в то время как слой (нижний), согласно наблюдениям, исчезает в несколько минут.

На основании вышеизложенного можно сделать тот вывод, что хотя вероятность рекомбинации — электрон-нейтральная молекула — и является неизвестной величиной, все же, очевидно, она настолько велика, что реакция воссоединения идет в действительности по пути рекомбинации электрона с нейтральной молекулой с образованием отрицательного иона — это-то обстоятельство и обеспечивает быстрое исчезание слоя при заходе солнца на высотах 100—120 км.

Что же будет происходить при восходе солнца?

Можно думать что связь в отрицательном ионе между присоединившимся к нейтральной молекуле электроном и самой молекулой относительно весьма слаба. Считаю своим приятным долгом выразить мою искреннюю признательность проф. А. Н. Теренину, любезно сообщившему мне, что связь — электрон-нейтральная молекула — для кислорода порядка 1.5—2 вольт, т. е. сравнительно очень непрочна. Очевидно, для ее нарушения и освобождения электрона достаточно энергии лучей красной части спектра, относительно весьма мало поглощаемой земной атмосферой и достаточно мощной в интегральном солнечном излучении. При восходе солнца на высотах 100—120 км, хотя и при очень косом падении лучей, энергии этих красных лучей будет достаточно для диссоциации отрицательных ионов, что и приведет к быстрому возникновению нижнего слоя при восходе солнца. Более точные количественные расчеты находятся в стадии разработки.

---

Р. А. АЛЛИК

## К МЕТОДИКЕ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОЛЕТАХ В ВЕРХНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ

### § 1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

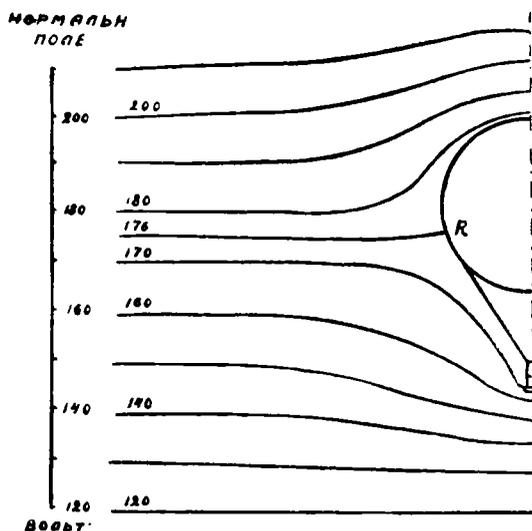
При выборе приборов и методов для исследования электрического состояния стратосферы естественно в первую очередь воспользоваться тем опытом, который имеется в области атмосферно-электрических измерений при полетах на сравнительно небольшие высоты, производившихся на свободных шарах, дирижаблях и самолетах.

Вместе с тем, при проектировании атмосферно-электрических исследований в стратосфере, необходимо принять во внимание все особенности электрического состояния атмосферы, которые мы вправе ожидать на больших высотах. Такими особенностями являются: 1) низкие значения напряжения электрического поля (по средним данным Идрака поле на высоте около 20 км не превосходит нескольких вольт на метр), 2) большое содержание ионов, обусловленное сильным действием космической радиации, а на более значительных высотах и ультрафиолетовой радиацией солнца, 3) большая подвижность ионов, что в связи с повышенным содержанием последних дает весьма высокие значения электропроводности воздуха (на высоте 8865 м Виганд определил электропроводность, равную  $37.3 \cdot 10^{-4}$  ESE).

Для возможности производить атмосферно-электрические измерения с летательного аппарата последний должен удовлетворять, независимо от системы, одному основному условию, а именно — не обладать собственным зарядом. Если это условие не выполнено, то летательный аппарат будет создавать собственное электрическое поле, которое может до неузнаваемости исказить подлежащее измерению естественное поле земли, а также повлиять на траектории движения ионов и, следовательно, исказить результаты измерений таких элементов, как проводимость и содержание ионов.

Прежде всего летательный аппарат несет с собой значительный заряд, полученный им от земли. Предположим, что мы имеем аппарат сферической формы радиусом  $R$ , центр которого в момент потери связи с земной поверхностью находится на высоте  $h$ . Напряжение земного поля пусть

будет  $E$ . Если бы шар не был соединен с землей, он принял бы потенциал  $Eh$ . При соединении с землей его потенциал должен быть равен 0, что может быть в том случае, если шар приобретет отрицательный заряд  $Q = CEh$ , где  $C = \frac{R(2h-R)}{2(h-R)}$  есть емкость шара, находящегося над землей. Нетрудно рассчитать, что, например, при  $R = 10$  м  $h = 30$  м  $E = 100$  вольт/метр заряд шара окажется равным 12500 ед. CGS. При таком заряде шар будет создавать собственное поле на расстоянии 20 м от центра, равное 94 вольт/метр. При полете заряд шара теряется путем рассеяния по закону  $\ln \frac{Q_0}{Q} = 4\pi\lambda t$ , где  $Q_0$  начальный заряд,  $Q$  заряд



Фиг. 1.

через время  $t$ ,  $\lambda$  — электропроводность воздуха. В нашем примере уже через 6 мин. собственное поле шара уменьшается до 0.1% первоначальной величины благодаря рассеянию заряда, если принять для положительной проводимости значение  $\lambda_{+} = 15 \cdot 10^{-4}$  ESE.

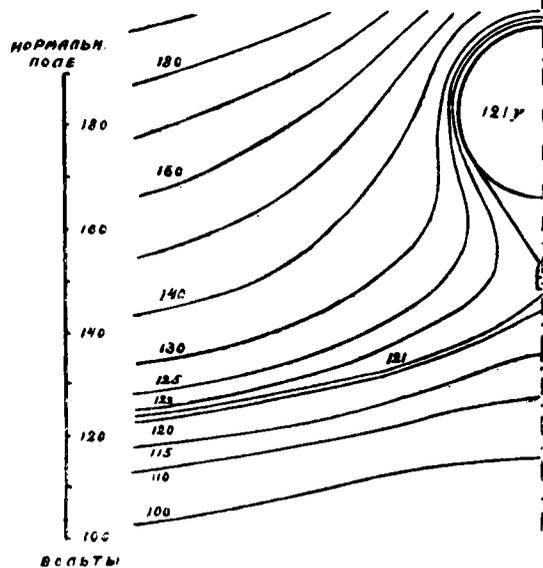
Кроме того, заряд аппарата может появиться в силу разнообразных, часто непредвиденных причин, связанных преимущественно с процессами трения (сбрасывание балласта, действие выхлопных газов, в случае аппаратов, снабженных моторами и т. д.) (12). Невыясненной

остаётся роль фото-электрического эффекта, интенсивность которого растёт с высотой.

Для уверенности в том, что поверхность шара действительно является частью определенной эквипотенциальной поверхности естественного поля, можно воспользоваться каким-либо мощным коллектором, прикрепленным к аппарату и выравнивающим потенциал аппарата в некоторой определенной точке (4). В качестве таких коллекторов (9) применялись весьма разнообразные из имеющихся типов, в частности: жидкостные, радио-активные, основанные на фотоэлектрическом эффекте, и др. (7).

За точку выравнивания потенциала иногда выбиралось дно gondoly. По данным Мюллера (8) на фиг. 1 изображено распределение потенциала вокруг воздушного шара для случая естественного рассеяния заряда и на фиг. 2 для того случая, когда ко дну gondoly прикреплен коллектор, полностью выравнивающий потенциал шара в данной точке. Как видно, при выравнивании потенциала у дна gondoly поле вокруг gondoly сильно ослабляется, что весьма выгодно в целях измерений проводимости и содержания

ионов. Однако помещение коллектора у дна гондолы обычно не приводит к желаемым результатам. Опыт показывает, что невозможно подобрать коллектор достаточной мощности, который полностью выравнивал бы потенциал шара в той именно точке, где этот коллектор помещен. На самом деле выравнивание потенциала в значительной степени происходит благодаря естественному рассеянию заряда с поверхности шара (8). В конечном счете положение поверхности уровня, принадлежащей шару, обуславливается совместным действием двух факторов — естественного рассеяния и выравнивающего коллектора. В результате поверхность выравнивания занимает некоторое среднее положение. На фиг. 3 изображен этот наиболее реальный случай. Но естественное рассеяние зависит от проводимости воздуха, которая растет с высотой. Очевидно, что на больших высотах преобладающую роль будет играть рассеяние заряда и поверхность уровня шара займет естественное положение. Таким образом, искажения поля, вызываемые шаром, окажутся неопределенными, меняющимися в течение полета. Во избежание этого более рационально помещать выравнивающий коллектор как раз в той точке, которая



Фиг. 2.

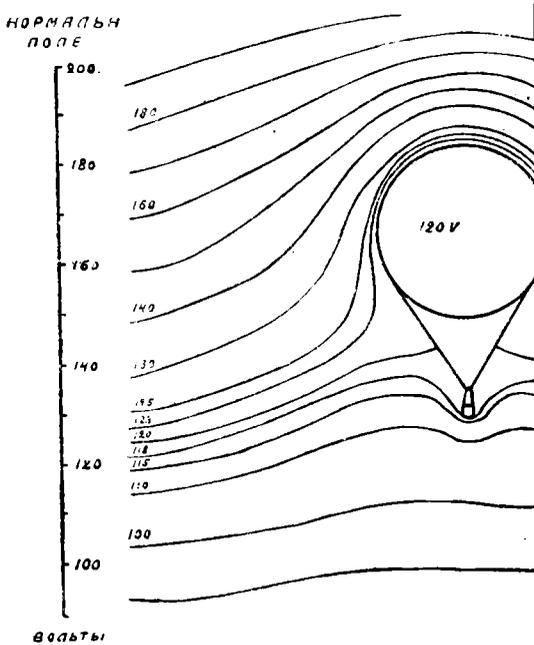
соответствует естественной поверхности уровня шара (точка *R* на фиг. 1). Положение последней может быть найдено опытным путем, исследуя распределение потенциала вокруг уменьшенной модели летательного аппарата, помещенной в искусственное однородное поле. При таком расположении коллектора роль его сведется к тому, что он будет более надежно фиксировать положение поверхности уровня шара и способствовать происходящему и без него удалению собственного заряда шара.

Чтобы картина поля вокруг летательного аппарата была вполне определенной и, следовательно, были бы применимы все вышеприведенные соображения, а также во избежание возникновения поля между отдельными изолированными частями аппарата, необходимо, очевидно, чтобы весь аппарат представлял собой единый проводник. Обычные меры, применявшиеся для достижения этой цели — оплетение такелажа и оболочки тонкой проволокой (9). Что касается стратостатов, то применение этого способа не всегда возможно и следует принять все меры к тому, чтобы приме-

няемые для них алюминированные оболочки сделать достаточно проводящими.

Необходимо, наконец, указать, что выравнивание потенциала шара с потенциалом точек окружающего пространства важно и с точки зрения безопасности полета, так как этим самым предотвращается возможность образования весьма опасных искровых разрядов.

Особенного внимания в этом отношении заслуживает стратостат, вертикальные размеры которого (напр. 150 м) велики по сравнению с горизонтальными. Из фиг. 1 видно, что даже при отсутствии собствен-



Фиг. 3.

ного заряда и выравнивании потенциала, примерно посередине аппарата, получается заметное сближение эквипотенциальных поверхностей в нижней и верхней точках. Еще хуже обстоит дело в верхней точке шара при выравнивании потенциала у дна гондолы (фиг. 2). Следует ожидать, что при увеличении вертикальных размеров аппарата по отношению к горизонтальным сближение эквипотенциальных поверхностей станет еще более заметным. Поэтому, если стратостат попадет в область с повышенным градиентом поля (что, повидимому, может случиться лишь при прохождении через нижние слои атмосферы), то в верхней и нижней точках,

благодаря сближению эквипотенциальных поверхностей, могут возникнуть опасные напряжения, если электропроводность воздуха недостаточно велика.

Очевидно, что необходимы специальные исследования для того, чтобы найти методы, обеспечивающие одновременно и безопасность полета и надлежащие условия для атмосферно-электрических измерений со стратостата.

К числу элементов, наблюдения над которыми желательно было бы произвести в верхних слоях атмосферы, принадлежат, очевидно, напряженность электрического поля земли, электропроводность воздуха, а также содержание ионов. Интересно было бы и определение коэффициента рекомбинации ионов, но в виду сравнительной сложности применяемых при этих измерениях методов постановка такой работы на первых порах вряд ли была бы целесообразна.

Герметически закрытая гондола стратостата и связанная с этим обстоятельством трудность вводов от проводников, несущих статический заряд, требующих весьма совершенной изоляции внутрь гондолы, заставляет прибегать к максимальной автоматизации приборов. Автоматизация приборов необходима также с точки зрения облегчения работы участников полета, хотя визуальные отсчеты в некоторых случаях могли бы дать и более надежные результаты.

## § 2. ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

Для измерений напряженности электрического поля с наибольшим удобством могут быть применены радиоактивные коллекторы. Возможность использования шприц-коллекторов, неоднократно применявшихся на обычных шарах (11), повидимому, отпадает. Недостатком радиоактивных коллекторов является побочная ионизация воздуха, которая может повредить измерениям проводимости и содержания ионов, если коллекторы расположены близко к гондоле.

Для того, чтобы схватить особенности изменения поля с высотой при большой скорости подъема стратостата, коллекторы должны обладать достаточно большой мощностью. В качестве измерительного прибора может быть применен, например, однопитный электрометр с оптической регистрацией, который включается, начиная с некоторой высоты, когда напряженность поля упадет до значений, соответствующих шкале электрометра. Прибор такой конструкции и был построен П. Н. Тверским (14) для стратостата „СССР“.

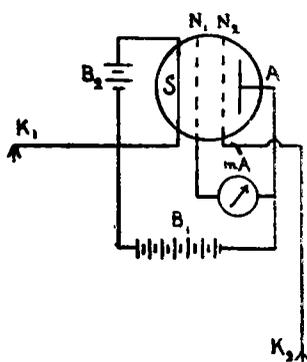
Большого внимания заслуживает метод лампового электрометра,<sup>1</sup> которым воспользовался Идрак (13) при подъеме шаров-зондов. Схема, использованная Идраком, приведена на фиг. 4. Между нитью ( $S$ ) и анодом ( $A$ ) двусеточной лампы создается помощью батареи  $B_1$  разность потенциалов порядка 9—18 V. Внутренняя сетка  $N_1$  через миллиамперметр соединена с анодом. Коллекторы  $K_1$  и  $K_2$  присоединены: один к нити, другой — к сетке  $N_2$ . Коллектор  $K_2$  опущен на соответствующее расстояние (напр. на 1 м) ниже коллектора  $K_1$ . Таким образом, сетка  $N_2$  принимает в земном поле потенциал более низкий, чем нить. В этом случае электроны, испускаемые нитью, почти не будут попадать на сетку  $N_2$ , а осядут на внутренней сетке  $N_1$ . Заряд сетки  $N_2$  почти не будет меняться в зависимости от процессов, происходящих внутри лампы — условие, необходимое для того, чтобы схема действительно служила электрометром. Колебания потенциала сетки  $N_2$  будут сказываться на силе тока внутренней сетки. Измеряя этот ток помощью миллиамперметра и зная характеристику лампы, можно определить разность потенциалов между точками  $K_1$  и  $K_2$ .

Применяя ламповый электрометр, легко можно осуществить фотографическую регистрацию показаний миллиамперметра, как это и было

<sup>1</sup> P. Lejay, Comptes rendus, 178, 1480, 1924; 178, 2171, 1924.

сделано Идраком, или же поместить миллиамперметр внутрь гондолы для визуальных отсчетов.

Большую роль играет вопрос о том, где поместить коллекторы, служащие для измерений поля. Можно воспользоваться способом одного коллектора, предложенным Эверлингом (6). При этом способе измеряется разность потенциалов между летательным аппаратом и какой-нибудь точкой пространства, в которой и помещается коллектор. Эта точка вообще может находиться и не на очень большом расстоянии от летательного аппарата. Для того, чтобы измеренной разностью потенциалов воспользоваться для вычисления напряженности поля, необходимо знать искажения, вызываемые в поле летательным аппаратом, т. е. редуционный множитель. Последний можно определить на специально изготовленной



Фиг. 4.

уменьшенной модели летательного аппарата, помещенной в искусственное поле.<sup>1</sup> Картины хода эквипотенциальных поверхностей вокруг шара приведенные на чертежах 1, 2 и 3 получены Мюллером (8), именно помощью моделей. Из полученных схем распределения потенциала нетрудно вывести значение редуционного множителя почти для любой точки около летательного аппарата.

Трудность применения метода одного коллектора при измерениях со стратостата заключается в том, что при этом методе требуется вполне надежно фиксировать точку выравнивания потенциала стратостата. Кроме того, форма стратостата при подъеме, по мере выполнения оболочки, будет меняться, и, следовательно, редуционный множитель окажется непостоянным.

Другой возможный способ заключается в применении двух коллекторов, из которых один присоединен к оболочке электрометра, а другой к нитям последнего. Коллекторы находятся на различных уровнях. Вся система подвешивается на тросе к гондole, чтобы она была изолирована от летательного аппарата, и на таком достаточно большом расстоянии, чтобы искажениями поля, вызываемыми летательным аппаратом, можно было бы пренебречь. Порядок величины необходимого расстояния можно грубо оценить следующим путем. Рассмотрим изолированный проводящий шар, помещенный в однородное электрическое поле, эквипотенциальные поверхности которого горизонтальны и которое направлено сверху вниз. На шаре индуцируется заряд, распределение которого очевидно окажется симметричным относительно вертикали, проходящей через центр шара. Выберем направление по этой вертикали сверху вниз за направление полярной оси (фиг. 5). Для случая симметричного распределения заряда

<sup>1</sup> H. Ebert u. C. W. Lutz, Beitr. zur Phys. d. f. Atmosph. 2, 183; 1908. — K. Hoffman, Diss. München, 1911.

потенциал, создаваемый шаром в точке, находящейся вне шара, определяется равенством:<sup>1</sup>

$$\varphi_a = \frac{R}{\varrho} \sum_{n=0}^{n=\infty} R^n K_n \left(\frac{R}{\varrho}\right)^n P_n(\cos \theta),$$

где  $R$  — радиус шара,  $P_n$  — шаровая функция,  $K_n$  — коэффициенты разложения в степенной ряд потенциала, создаваемого шаром во внутренних точках, как функции от  $\varrho$  при  $\theta = 0$ , т. е.

$$\varphi_i = f(\varrho) = k_0 + k_1 \varrho + k_2 \varrho^2 + \dots + k_n \varrho^n.$$

Ограничиваясь случаем точек, лежащих на вертикали, имеем  $P_n(\cos \theta) = P_n(1) = 1$ . Введем кроме того обозначение  $\varrho = h$  при  $\theta = 0$ . Рассмотрим два случая:

1) Потенциал шара выравнен у нижней точки. Так как в результате сложения внешнего поля с собственным полем шара потенциал внутри шара должен быть всюду одинаковым, то  $\varphi_i = -ER + Eh$ , откуда находим  $\varphi_i = E \frac{R^2}{h} \left(\frac{R}{h} - 1\right)$ . Поле, создаваемое шаром  $E_a = -\frac{\partial \varphi_a}{\partial h} = E(2q^3 - q^2)$ , где  $E$  — внешнее неискаженное поле,  $q = \frac{R}{h} \leq 1$ .

Редукционный множитель

$$r_1 = \frac{E}{E + E_a} = \frac{1}{1 - q^2 + 2q^3}.$$

2) Эквипотенциальная поверхность, принадлежащая шару, проходит через его центр. Тогда

$$\varphi_i = Eh \quad \text{и} \quad r_2 = \frac{1}{1 + 2q^3}.$$

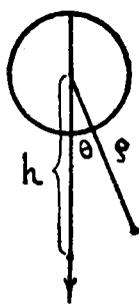
Приводим значения редукционного множителя для различных  $q$ :

$q$	$r_1$	$r_2$	$q$	$r_1$	$r_2$
1.0	0.50	0.33	0.5	1.00	0.80
0.9	0.61	0.41	0.4	1.03	0.88
0.8	0.72	0.49	0.3	1.04	0.95
0.7	0.87	0.59	0.2	1.02	0.98
0.6	0.93	0.70	0.1	1.01	1.00

Из приведенных чисел следует, например, что если мы желаем ограничиться точностью до 5%, то при диаметре шара в 40 м мы должны опустить прибор на 50 м от нижней точки шара. Конечно, эта цифра годится лишь для грубой ориентировки, так как при расчетах не принимались во внимание наличие гондолы, влияние троса, на котором подвешивается прибор и уклонения формы оболочки от сферы.

<sup>1</sup> См. напр. F. Neumann. Vorlesungen über die Theorie des Potentials und der Kugelfunctionen, Lpz., 1887, стр. 281.

Для точного учета влияния гондолы можно было бы воспользоваться имеющимся решением задачи о двух проводящих шарах, соединенных между собой и помещенных в электрическое поле. Решение этой задачи является, однако, слишком сложным. Для приблизительного учета влияния гондолы можно формулу стратостата уподобить эллипсоиду вращения, большая ось которого направлена вертикально. Такое допущение очевидно является особенно необходимым, когда стратостат находится сравнительно невысоко и оболочка его еще не выполнена. Редукционный множитель для точек поля, лежащих на вертикали, проходящей через центр эллипсоида, определяется выражением(5):



Фиг. 5.

$$r = \frac{\ln \frac{c+e}{c-e} - 2 \frac{e}{c}}{2 \frac{hc^2 e - De^3}{c^2 (h^2 - e^2)} + \ln \frac{(c+e)(h-e)}{(c-e)(h+e)} - 2 \frac{e}{c}},$$

где  $c$  — большая полуось,  $a$  — малая полуось,  $e = \sqrt{c^2 - a^2}$ ,  $h$  — расстояние рассматриваемой точки от центра эллипсоида,  $D$  — расстояние от центра эллипсоида сечения, вдоль которого выравнен потенциал. Если, например, принять  $c = 35$  м,  $a = 8$  м,  $e = 34$  м, то для точки, находящейся на 50 м ниже гондолы ( $h = 85$  м), получаются следующие значения редукционного множителя:

- 1)  $D = 35$  м       $r_1 = 1.13$
- 2)  $D = 0$          $r_2 = 0.96$ .

Недостатком метода двух коллекторов является, очевидно, громоздкость и опасность повредить прибор при посадке. Тем не менее этот метод при условиях измерений со стратостата, повидимому, даст более надежные результаты, чем способ одного коллектора. Для более точного определения расстояния подвеса прибора можно воспользоваться моделью стратостата, помещенной в искусственное поле. Перед посадкой необходимо, очевидно, каким-нибудь способом подтягивать прибор на безопасную высоту или опускать его на специальном парашюте.

### § 3. ИЗМЕРЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ

Для измерения проводимости воздуха при полетах обычно всегда применяется аспиратор Гердиена (1, 2, 3), который несомненно является наиболее совершенным прибором. Прибор Гердиена нетрудно приспособить к автоматической регистрации. На фиг. 6 представлена схема автоматизированного аспиратора Гердиена, сконструированного П. Н. Тверским и В. П. Герасименко (14) к полету стратостата „СССР“.

На чертеже:  $E$  — двунитный электрометр Вульфа, нити которого помощью лампочки  $S$  проектируются на фотографическую бумагу, укрепленную на барабане  $T$ , вращающемся от часового механизма.  $C$  — электрометр

тром соединен рассеивающий цилиндр  $Z$ . Воздух через аспиратор протягивается помощью небольшого мотора  $M$  с вентилятором. Периодическая зарядка рассеивающего цилиндра производится контактом  $K$ , автоматически работающим от часов. Прибор рассчитан для сравнительно небольших высот.

Пользование аспиратором Гердиена на значительных высотах встречает трудности. Как известно, для того, чтобы аспиратор давал правильные значения проводимости, необходимо, чтобы скорость воздушного потока ( $u$ ) удовлетворяла условию (условие омического тока):

$$u > \frac{2V_0 vl}{(r_a^2 - r_i^2) \ln \frac{r_a}{r_i}} \quad (\text{A})$$

где  $V_0$  — наибольшая разность потенциалов между наружным и внутренним цилиндром;  $v$  — подвижность ионов;  $l$  — длина внутреннего цилиндра;  $r_i$  — радиус внутреннего цилиндра;  $r_a$  — радиус внешнего цилиндра.

Для приблизительной оценки величины подвижности ионов в верхних слоях атмосферы необходимо принять во внимание, что подвижность обратно пропорциональна давлению, т. е.

$$v = \frac{p_0}{p} v_0, \quad (\text{B})$$

где  $v_0$  — подвижность ионов при давлении  $p_0$ . По исследованиям Тодда<sup>1</sup> равенство (B) для положительных ионов остается справедливым до давления в 1 мм Hg.

Для отрицательных ионов подвижность с уменьшением давления начинает расти скорее, нежели это следует из равенства (B), уже с давлений меньших 100 мм Hg, что повидимому, объясняется образованием свободных электронов. Мало того, по данным Лэттея<sup>2</sup> подвижность отрицательных ионов зависит от напряженности поля, а именно  $v = f\left(\frac{E}{p}\right)$  при  $\frac{E}{p} > 0.05 \frac{\text{вольт}}{\text{см. мм Hg}}$ . Ввиду этого ограничимся рассмотрением подвижности положительных ионов. Что касается зависимости подвижности от температуры, то влияние последней на подвижность существенного значения не имеет.

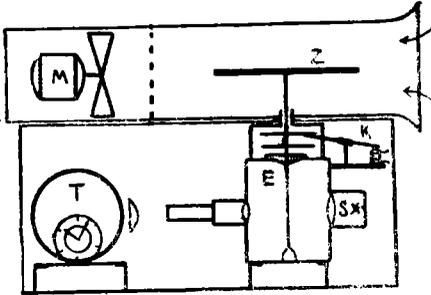
Принимая, что при давлении 760 мм  $v_+ = 1.3$ , из равенства (B) легко найдем, что, например, на максимальной высоте достигнутой при полете стратостата „СССР“ (давление 51 мм) подвижность положительных ионов должна равняться  $19.5 \frac{\text{см}^2}{\text{вольт.сек.}}$ . Подставляя это значение в равенство (A), найдем, что при обычных размерах прибора ( $l = 24$  см,  $r_i = 0.7$  см,

<sup>1</sup> G. W. Todd. Proc. Cambridge Phil. Sol. 16, 21, 1910; Phil. Mag. (6) 22, 791, 1911; 25, 163; 1913.

<sup>2</sup> R. T. Lattey. Proc. Roy. Soc. London (A) 84, 173, 1910.

$r_a = 8$  см при  $V_0 = 200$  в) необходимая скорость воздуха в аспираторе должна превышать  $12 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ . Это значение скорости можно понизить применением более низкого значения начального потенциала и уменьшением емкости аспиратора. С этим необходимо считаться при полетах на очень большие высоты.

Поэтому возникает вопрос о применении других методов для измерений проводимости. Так, например, можно попытаться применить метод рассеяния. В качестве прибора может послужить двунитный электрометр Вульфа с оптической регистрацией с присоединенным к нему не очень длинным рассеивающим стержнем, со всех сторон свободно омываемым воздухом. Таким образом, было бы заодно достигнуто и упрощение и значительное облегчение аппаратуры.



Фиг. 6.

Принципиальным недостатком метода рассеяния является, как известно, искажающее влияние свободного заряда, образующегося у рассеивающего проводника — обстоятельство, которое делает невозможным измерения при малых скоростях воздуха относительно прибора (при обычных условиях земной поверхности при скоростях ниже 20 см/сек.).

Каково будет влияние свободного заряда при условиях, существующих в верхних слоях атмосферы, — вопрос остается открытым и нуждается в предварительном исследовании.

При измерениях проводимости прибор, какого бы он типа ни был, необходимо очевидно располагать таким образом, чтобы окружающее электрическое поле было по возможности слабым. В противном случае заряды, индуктированные на частях прибора, будут искажать пути ионов, и результаты измерений окажутся не соответствующими действительности. Необходимо далее иметь в виду, что благодаря зарядам, индуктированным на самом летательном аппарате, ионизационное состояние воздуха, окружающего аппарат, отнюдь не является нормальным. Так, например, вокруг гондолы, приобретающей положительный заряд, окажется избыток отрицательных ионов и недостаток положительных. По грубым подсчетам (точные расчеты не удаются) на высоте 9 км (при существующих там: поле, подвижности ионов и коэффициенте воссоединения), на расстоянии нескольких метров от гондолы содержание отрицательных ионов может оказаться повышенным в несколько раз против нормального. Поэтому, при выборе места для установки прибора необходимо добиваться, чтобы прибор не питался воздухом, пришедшим, например из области окружающей гондолу. Измерения содержания ионов при полете стратостата, повидимому, не могут представить принципиальных трудностей. Прибор может

быть сконструирован по типу счетчика ионов Эберта с фотографической регистрацией показаний электрометра. Периодическая зарядка электрометра должна при этом производиться не через определенные промежутки времени, а через определенное количество прошедшего воздуха. Все вышеприведенные соображения относительно расположения прибора для измерения проводимости, само собой разумеется, целиком относятся и к случаю счета ионов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gerdien H. Messungen der elektrischen Leitfähigkeit der freien Atmosphäre bei 4 Ballonfahrten. Nachr. d. kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, 382, 1903.
2. — Die absolute Messung der elektrischen Leitfähigkeit in der Atmosphäre. Phys. Zeitschr., 23, 633, 1903.
3. — Luftpotelektrische Messungen bei 2 Ballonfahrten. Nachr. d. kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, 277, 1904.
4. Linke F. Luftpotelektrische Messungen bei zwölf Ballonfahrten. Abhandl. der Gött. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. N. F. VII, 5, 22, 1904.
5. Bendorff H. Über gewisse Störungen des Erdfeldes mit Rücksicht auf die Praxis luftpotelektrischer Messungen. Wiener Ber. IIa, 115, 425, 1906.
6. Everling E. Messungen des elektrischen Spannungsgefälles in der freien Atmosphäre bis 9000 m Höhe. Verhandl. d. deutsch. Phys. Ges., 16, 240, 1914.
7. Wigand A. Messungen des elektrischen Leitfähigkeit in der freien Atmosphäre bis 9000 m Höhe. Verhandl. d. deutsch. Phys. Ges., 16, 1914; также: Terr. Magn., XIX, 93, 1914.
8. Müller W. Messungen der Deformation des elektrostatischen Erdfeldes durch Luftfahrzeuge. Ann. d. Phys., 63, 585, 1920.
9. Wigand A. Messungen der Jonisation und Ionenbeweglichkeit bei Luftfahrten Phys. Zeitschr., 36, 1921.
10. — Die elektrische Leitfähigkeit in der freien Atmosphäre, nach Messungen bei Hochfahrten im Freiballon. Ann. d. Phys., 66, 81, 1921.
11. Everling E. und Wigand A. Spannungsgefälle und vertikaler Leitungsstrom in der freien Atmosphäre nach Messungen bei Hochfahrten im Freiballon. Ann. d. Phys., 66, 261, 1921.
12. Wigand A. Messungen des luftpotelektrischen Potentialgefälles vom Luftschiff Ann. d. Phys., 85, 333, 1928.
13. Idrac P. Le champ électrique de l'atmosphère aux grandes altitudes. La Nature, № 2886, 1932; также Comptes rendus, 1926.
14. Тверской П. Н. и Герасименко В. И. Электрическое состояние верхних слоев атмосферы. Главная геофизическая обсерватория и полет в стратосферу 30 сентября 1933 г. Сб. изд. ГГО, стр. 22.



Н. В. ПУШКОВ

## ВЕРХНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ И ЗЕМНОЙ МАГНЕТИЗМ

На первый взгляд, казалось бы, какая связь может существовать между этими двумя, совершенно различными областями знаний. Однако, как мы увидим дальше, эти области настолько тесно переплелись друг с другом, что не будет ничего парадоксального, если мы скажем, что решение многих проблем земного магнетизма скорее лежит в области физики верхних слоев атмосферы, чем в области чистого магнетизма. С другой стороны, как известно, земной магнетизм уже давно рассматривается как один из источников информации о явлениях, происходящих в верхних слоях атмосферы, и, в частности, наши первые сведения об особом электрическом состоянии этих слоев были получены из этого источника. Поэтому является желательным подытожить и критически оценить те сведения о верхних слоях атмосферы, какие были получены с помощью земного магнетизма. Эти цели и преследует данное сообщение.

### ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О „МАГНИТНОМ МЕТОДЕ“ И О ДОСТОВЕРНОСТИ ЕГО ДАННЫХ

Остановимся прежде всего на том, какие основания имеются для суждения о верхних слоях атмосферы с помощью „магнитного метода“, т. е. на основе данных земного магнетизма, и насколько достоверны могут быть эти суждения. Как известно, все наши суждения о верхней атмосфере, получаемые с помощью магнитного метода, основаны на предположении, в достоверности которого вряд ли могут быть сомнения, что главные причины почти всех изменений магнитного поля земли, за исключением, и то быть может только части, вековых вариаций, находятся вне поверхности Земли и связаны с электрическими явлениями в верхней атмосфере и за пределами ее.

Изучая многочисленные и разнообразные изменения магнитного поля земли и изучая связи, существующие между этими изменениями и рядом гелио- и геофизических явлений — полярными сияниями, распространением радиоволн, изменениями в высотах и плотностях ионизации в слоях атмосферы, явлениями, наблюдаемыми на поверхности солнца — мы можем делать более или менее определенные заключения не только

о причинах земномагнитных изменений, но и о физике верхних слоев атмосферы вообще.

Однако все наши обратные заключения от наблюдений к физическим первопричинам (явлениям) неизбежно связаны с рядом трудностей. Во-первых, естественно допустить, и это весьма вероятно, что существует не одна, а несколько различных причин изменений магнитного поля земли. В таком случае магнитные данные будут давать нам суммарный эффект, и для заключения о физических причинах нам нужно будет уметь разлагать этот суммарный эффект на составляющие эффекты, происходящие от действия каждой причины в отдельности. Это разделение не всегда может быть выполнено точно и без известного произвола, и единственным основанием для него могут явиться только различия в пространственном и временном протекании изменений, вызываемых отдельными причинами.

Отсюда ясно, что любое численное установление действия (поля), создаваемого какой-либо причиной, требует, во-первых, знания изменения поля на всей Земле, что, к сожалению, не может быть полностью обеспечено с помощью существующей сети магнитных обсерваторий и, во-вторых, требует сравнительно длинных рядов наблюдений и больших статистических обработок материала наблюдений.

Кроме того, истолкование земномагнитных данных затрудняется также тем, что, как показывает математический анализ переменных полей (полей периодических и иррегулярных изменений), каждое из этих полей состоит из двух частей: из внешней, происходящей от причин, находящихся вне земной поверхности и из внутренней, происходящей от причин, находящихся внутри земли. Правда, внешние части полей, примерно, вдвое больше внутренних. Это дает нам право рассматривать внешние части — как главные и происходящие от первичных причин, а внутренние части — как второстепенные по важности и происходящие от вторичных индукционных явлений внутри земли. Но, тем менее, это значительно усложняет истолкование магнитных наблюдений.

Наряду с указанными выше трудностями, я бы сказал чисто технического характера, большие затруднения возникают также в связи с недостаточным знанием как физической природы тех электрических явлений, какие вызывают наблюдаемые изменения земного магнитного поля, так и тех физических условий, в каких протекают эти явления в верхних слоях атмосферы и за пределами ее. Это обстоятельство вынуждает широко прибегать к рабочим гипотезам, и потому, естественно, получаемые нами с помощью магнитного метода сведения о верхних слоях атмосферы не могут быть такими достоверными, как например, сведения, получаемые с помощью прямых радиоволновых методов. Естественно также, что получаемые магнитным методом сведения могут быть различными в зависимости от того, на позиции какой гипотезы мы станем. Таких гипотез, как мы увидим дальше, может быть много.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИРОДЕ СОЛНЕЧНО-СУТОЧНЫХ ( $S$ )<sup>1</sup>  
И ЛУННО-СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ( $L$ )

Даже в объяснении наиболее простых и наиболее изученных изменений земномагнитного поля, какими являются солнечно-суточные  $S$  и лунно-суточные  $L$  вариации, существуют два, совершенно различных, направления. Одно направление, представленное так называемой „диамагнитной“ теорией, пытается объяснить эти вариации через допущение диамагнетизма верхних проводящих слоев атмосферы; другое направление, представленное двумя теориями: „динамо“ теорией и теорией „дрифт-токов“, пытается объяснить эти явления с помощью допущения существования в верхних проводящих слоях атмосферы особой системы электрических токов.

**Диамагнитная теория.** Эта теория  $S$  вариаций была предложена пять лет тому назад американским физиком Росс Гунном (Ross Gunn) (18). Основные ее идеи следующие. В верхних проводящих слоях атмосферы, где частицы обладают длинными свободными путями пробега, движущиеся под влиянием теплового возбуждения свободные заряды (ионы и электроны) будут описывать между двумя последовательными столкновениями спиральные пути вокруг силовых линий земного магнитного поля. Каждый такой вращающийся по спирали заряд будет подобен маленькому магнетику, поле которого будет направлено, вне зависимости от знака заряда, против магнитного поля земли; весь же ионизированный слой будет подобен диамагнитному слою. В области длинных свободных путей вклад каждого свободного заряда в интенсивность намагничивания среды одинаков для электронов и для ионов и равен  $-\frac{kT}{H}$ , а интенсивность намагничивания слоя равна

$$I = -\frac{nkT}{H},$$

где  $k$  — постоянная Больцмана ( $1.37 \cdot 10^{-16}$ ),  $n$  — число свободных зарядов обоого знака в  $1 \text{ см}^3$ ,  $T$  — абсолютная температура и  $H$  — интенсивность магнитного поля земли.

Из выражения для  $I$  следует, что интенсивность намагничивания будет различной в различных частях ионизированного слоя и будет значительно меняться в каждом месте от полночи к полдню, так как число свободных зарядов в  $1 \text{ см}^3$  сильно возрастает в течение дня под влиянием ультрафиолетовой радиации Солнца. Кроме того, вполне возможно допустить, что и абсолютная температура в этих слоях не будет постоянной в течение суток. В таком случае ясно, что и эффект этого диамагнитного слоя будет различен для различных мест на земной поверхности и будет

<sup>1</sup> Символ  $S$  применяется здесь для обозначения солнечно-суточных вариаций, выводимых по „спокойным“ дням.

непрерывно меняться в течение суток. Эти изменения и отмечаются, по предложению Гунна, в виде  $S$  вариаций.

Как показали вычисления Гунна (18, 19) и более детальные вычисления Чапмана (S. Chapman) (16), эффекты, предсказываемые диамагнитной теорией, даже при самых простых предположениях относительно распределения плотности ионизации в верхних слоях атмосферы, в зависимости от зенитного расстояния Солнца, качественно очень хорошо совпадают с наблюдаемыми  $S$  вариациями. В частности, диамагнитная теория дает возможность объяснить широтное распределение  $S$  вариаций обеих горизонтальных компонент поля  $X$  и  $Y$ , изменение знака  $S$  вариаций  $X$  компоненты, примерно, на широте  $\pm 30^\circ$ , а также и большие, по сравнению с умеренными широтами, амплитуды  $X$  компоненты на экваторе.

Однако, пожалуй, наиболее выдающейся особенностью этой теории является то, что она дает возможность сравнительно простого и рационального объяснения наступления максимума суточных изменений в горизонтальной составляющей незадолго до полдня по местному времени (19). Последнее может быть получено, если мы откажемся от допущения постоянства температуры в верхних слоях атмосферы и допустим, как это было высказано вначале американскими геофизиками Гульбертом (E. A. Hulburt) и Марисом (H. V. Maris) (24), что температура в верхних слоях атмосферы, в слоях от 40 км и выше, меняется в довольно значительных пределах в течение суток и что, благодаря тепловому расширению нижележащих слоев, средняя высота ионосферы меняется в течение суток. Это предположение, к сожалению, не может быть проверено прямыми радио-волновыми измерениями, так как последние дают эффективные высоты максимумов плотности, но не средние высоты ионизированных слоев. Но если оно верно, то хотя максимальная интенсивность намагничивания ионизированных слоев и будет иметь место в полдень или вскоре после полдня по местному времени, тем не менее, благодаря большему удалению этих слоев, создаваемые ими в это время у поверхности земли эффекты могут быть меньше, чем эффекты, создаваемые незадолго до полудня.

В настоящее время нет больших сомнений в том, что такой диамагнитный эффект действительно существует и что он участвует в суточной вариации, но имеются большие сомнения в том, что этот эффект может быть достаточно силен, чтобы объяснить наблюдаемую величину  $S$  вариаций (7, 21). Как легко понять, величина диамагнитного эффекта в первую очередь будет определяться числом ионов и электронов, могущих деятельно участвовать в создании этого эффекта. Указанный выше полный вклад свободных зарядов в диамагнитный эффект  $(-\frac{kT}{H})$  будет иметь место только в той области ионосферы, где отношение  $\frac{v}{\omega}$  будет очень мало,  $v$  — число столкновений частицы в секунду,  $\omega$  — угловая скорость спирального движения частицы, даваемая отношением  $\omega = \frac{eH}{m}$ .

где  $e$  — заряд частицы в *CGSM*,  $m$  — масса частицы. В областях же более коротких свободных путей этот вклад уменьшается в отношении

$$\frac{\omega^2 + \nu^2}{\omega^2}.$$

Так как указанная величина будет различной для ионов и для электронов, находящихся на одной и той же высоте, то понятно, что оба эти рода свободных зарядов начнут участвовать в диамагнетизме в полной мере, начиная с разных высот. Электроны — начиная, примерно, в высоты 90 км и выше и ионы — начиная с высоты 150 км и выше.

Это обстоятельство не особенно благоприятно для теории, так как из участия в диамагнитном эффекте почти полностью исключается нижний ионизированный слой *E* (90—120 км) и часть промежуточного слоя *M* (130—180 км), ионизация которых, согласно современным представлениям, обусловлена, главным образом, положительными и отрицательными ионами и только лишь отчасти электронами.

В связи с этим возникает вопрос — могут ли обеспечить электроны всей ионосферы и ионы верхнего слоя *F* (190—300 км) требуемое для объяснения наблюдаемых эффектов количество свободных зарядов. Величина последних, вычисленная при упрощающем предположении, что *S* вариации вызываются диамагнетизмом сравнительно тонкого (30 км) ионизированного слоя, расположенного между 150 и 180 км высоты над поверхностью земли, должна равняться в столбце воздуха с поперечным сечением в 1 см<sup>2</sup>, примерно,  $5 \cdot 10^{16}$  элементарных зарядов. Это очень большое число и оно находится в значительном противоречии с данными радиотелеграфии. Последние дают, по данным Апплетона (F. V. Appleton) (26), следующие величины для максимальной плотности ионизации (в электронах на 1 см<sup>3</sup>) для области *E*  $1.8 \cdot 10^5$ , для промежуточного слоя *M*  $2.5 \cdot 10^5$ , для выступа области *F*  $3.8 \cdot 10^5$  и для главной части области *F*  $6.1 \cdot 10^5$ . Если мы будем исходить из этих величин, то для столбца воздуха с поперечным сечением в 1 см<sup>2</sup>, простирающегося через всю известную нам толщу ионосферы, т. е. от 100 км до 300 км высоты, мы получим количество зарядов, равное, примерно,  $8 \cdot 10^{12}$ , т. е., примерно, в  $6 \cdot 10^8$  раз меньше, чем это требует диамагнитная теория.

Таким образом, налицо значительное расхождение, которое как будто бы говорит против диамагнитной теории. Однако, при интерпретации данных радио мы ни в коем случае не должны упускать из виду, что эффекты ионизации определяются не только электронами, но и ионами, причем действие  $\frac{m_i}{m_e}$  ионов, где  $m_i$  и  $m_e$  обозначают соответственно массу иона и электрона, эквивалентно, в отношении радиоизмерений, действию одного электрона. Даваемые радиоизмерениями плотности ионизации представляют поэтому комбинацию плотностей электронов  $n_e$  и плотностей ионов  $n_i$  такой формы

$$n_e + \frac{m_e}{m_i} n_i.$$

Если мы, примем, по Чапману (8), что действие одного электрона эквивалентно, в отношении радиоизмерений действию  $4 \cdot 10^4$  ионов, предполагая что ионы имеют средний атомный вес, промежуточный между 28 (для  $N_2^+$ ) и 16 (для  $O^+$ ), то легко можно видеть, что требуемое диамагнитной теорией количество свободных зарядов меньше числа зарядов, соответствующего радиоизмерениям и вычисленного в предположении, что ионизация целиком вызвана ионами и что электроны отсутствуют. Поэтому, несмотря даже на то, что измерение поляризации отраженных радио-волн и указывает, что  $\frac{n_e}{m_e}$  должно быть больше, чем  $\frac{n_i}{m_i}$ , расхождение между данными диамагнитной теории и данными радиоизмерений не может все же рассматриваться как достаточное основание для отклонения диамагнитной теории, тем более, что ионосфера, вероятно, простирается до значительно больших высот, чем 300 км.

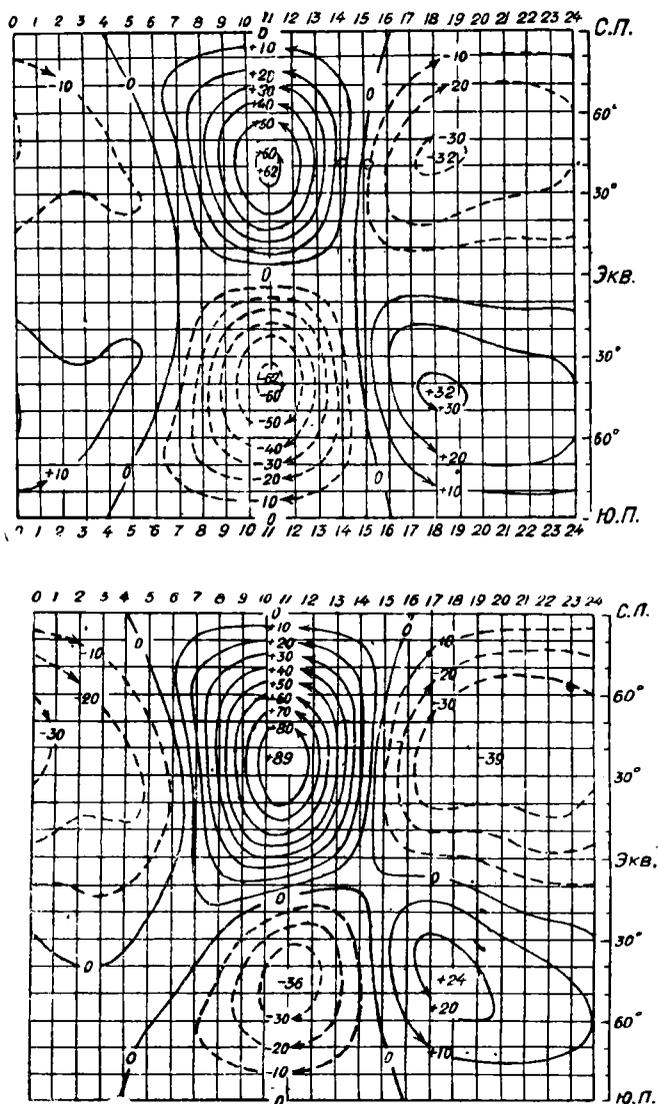
**Динамо-теория.** Обратимся теперь к объяснению  $S$  вариаций с помощью допущения существования в верхних проводящих слоях атмосферы особой системы электрических токов и остановимся вначале на наиболее старой теории — динамо-теории, предложенной свыше 50 лет тому назад английским физиком Бальфур Стюартом (Balfour Stewart) (32). Последний высказал довольно смелую для своего времени мысль, что верхние слои атмосферы являются очень хорошим проводником и что  $S$  и  $L$  вариации обязаны своим происхождением электрическим токам, индуцируемым постоянным полем земли в колеблющейся, под влиянием приливо-отливных сил, атмосфере. Это было первое утверждение об особых электрических свойствах верхней атмосферы и оно, как мы видим, пришло со стороны земного магнетизма. Бальфур Стюарт опережает Кеннели (Kennely) и Хивисайда (Heaviside), примерно, на 20 лет. Теория Бальфур Стюарта была воспринята и разработана позднее, главным образом, Артуром Шустером (A. Schuster) (30) и Чапманом (9) и, вплоть до самого последнего времени, она считалась одной из наиболее правдоподобных теорий земного магнетизма. Ознакомимся вкратце с современным состоянием этой теории.

**Системы токов.** Первый вопрос, какой здесь возникает, это — какими должны быть системы токов, обуславливающие  $S$  и  $L$  вариации? Эти системы токов могут быть получены непосредственно из материалов наблюдений с помощью сферического гармонического анализа. Мы их приводим на фиг. 1 и 2, как они даны Бартельсом (J. Bartels) (3), на основе анализа Чапмана. Фиг. 1 и 2 изображают соответственно системы токов  $S$  и  $L$  вариаций в предположении, что эти токи текут на высоте 100 км. Как видно из фиг. 1, система токов  $S$  вариаций для периода равноденствия в год минимума солнечных пятен состоит из четырех „вихрей“ тока: двух в северном и двух в южном полушарии, симметрично расположенных относительно экватора. Главная пара, с центром примерно в 11-часовом меридиане, располагается над освещенной Солнцем стороной Земли; сила

тока в каждом 62 000 ампер. Вторая, более слабая пара, с центром около 17-часового меридиана, располагается, преимущественно, над ночной стороной земли, сила тока в каждом из них 32 000 ампер. Направление токов во всех четырех системах вихрей является таким, что максимум направленной к востоку силы токов будет иметь место на экваторе около 11 часов, а направленной к западу — около 17 часов. Система токов  $L$  вариаций (фиг. 2), вычисленных из средних для целого месяца, более проста и не нуждается в особых пояснениях.

На эти карты токов, пока не доказана их реальность, нужно смотреть лишь как на более или менее удачную сводку эмпирического материала, дающую довольно наглядное представление о характере явления в различных местах земной поверхности.

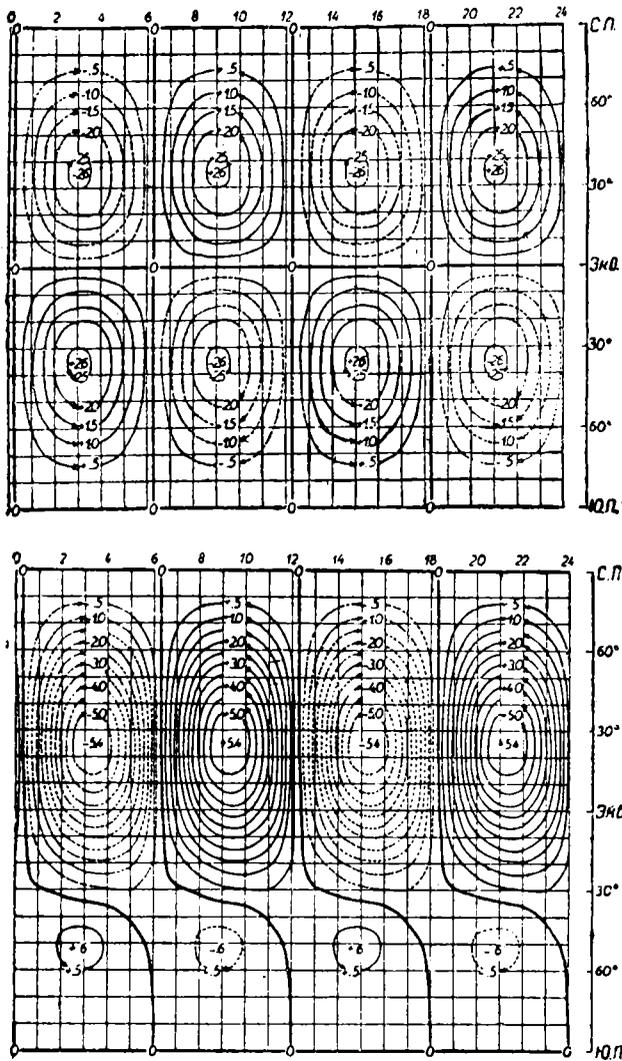
Кроме того, на эти системы токов нельзя смотреть как на нечто неизменное. Системы токов для других сезонов года, для годов максимумов солнечных пятен, будут значительно отличаться от систем токов, представленных на фиг. 1 и 2. Даже больше, новейшие исследования (10)



Фиг. 1. Карты солнечносуточной (S) периодической системы тока, вычисленные из солнечных вариаций земного магнетизма в год минимума солнечных пятен (1902).

Меридианы обозначены местным временем (12 = полдень). Изображены линии одинаковых значений функции тока. Единица — 1000 А; между каждыми двумя линиями течет ток в 1000 А в направлении стрелки.

Верхний рисунок относится к равноденствию, нижний — к летнему солнцестоянию.



Фиг. 2. Карты лунносуточной ( $L$ ) периодической системы тока, вычисленные из лунных вариаций земного магнетизма в среднем за целые месяцы, т. е. чистые полусуточные волны.

Меридианы обозначены местным лунным временем, нижняя кульминация при 0 и 24, верхняя кульминация при 12. Значение функции тока — в единицах по 100 А; между каждыми двумя линиями течет ток в 500 А в направлении стрелки.

Верхний рисунок относится к равноденствию, нижний — к летнему солнцестоянию.

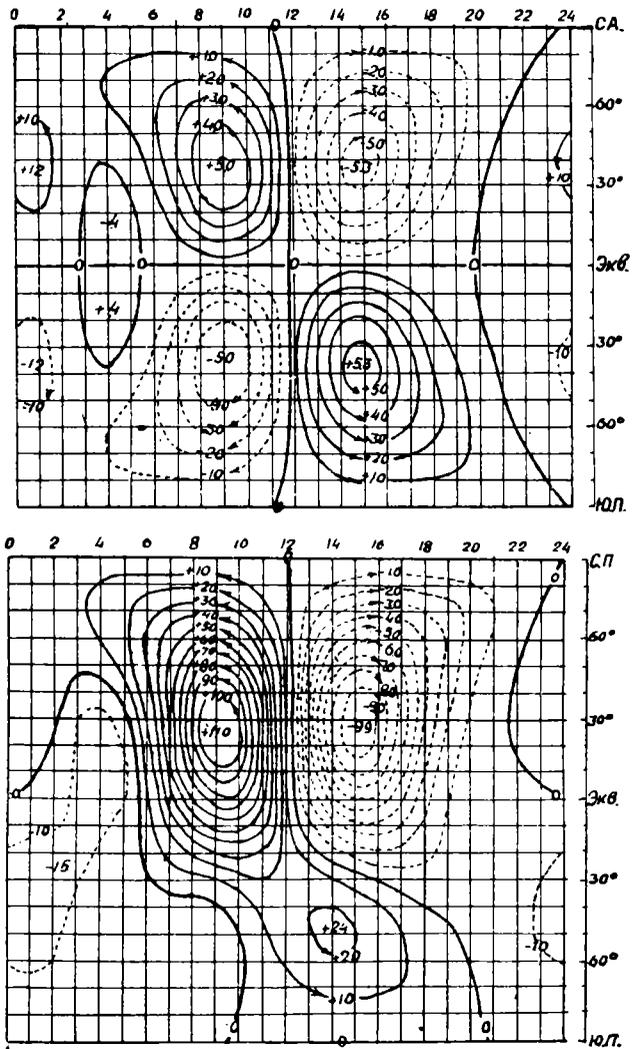
указывают ясно, что характер одного спокойного дня, не говоря уже о возмущенных днях, не будет в точности подобен характеру другого спокойного дня одного и того же сезона года, отражая этим самым ту большую изменчивость, какая должна быть в электрическом состоянии верхних слоев атмосферы даже в спокойные в магнитном отношении дни.

Что же касается приведенной на фиг. 2 системы токов  $L$  вариаций, то она не соответствует какому-либо реальному случаю в электрическом состоянии верхней атмосферы. Действительно, поскольку эта система токов относится к  $L$  вариациям, выведенным из средних для целого месяца и поскольку в среднем для целого месяца каждому лунному часу будут соответствовать все возможные положения Солнца, то естественно, что в этой системе токов должны выпадать все особенности, связанные с изменением проводимости

атмосферы под влиянием ультрафиолетовой радиации Солнца. Если же мы обратимся к системам токов, выведенных для отдельных фаз луны (см. фиг. 3), то мы увидим более сложные системы токов, из которых ясно будет видно, что  $L$  вариации, также как и  $S$  вариации, в дневные часы более сильны, чем в ночные.

Высоты систем токов. Теперь, когда мы знаем какой должна быть система токов, естественно поставить вопрос — на какой высоте, в каких проводящих слоях могут течь такие токи? Магнитные данные, как известно, не дают нам каких-либо определенных указаний о высоте подобных токов, и она должна быть установлена с помощью каких-либо других соображений.

Указания о возможной высоте этих токов могут быть получены из рассмотрения проводимости в ионизированных газах с низким давлением. Несколько лет тому назад Педерсен (P. O. Pedersen) (27) и независимо от него Гунн (18) показали, что ионизированная среда, в которой частицы обладают длинными свободными путями пробега, становится, под действием магнитного поля, анизотропной в смысле проводимости. Проводимость в направлении магнитного поля остается той же, что и при отсутствии поля. Проводимость же в направлении поперечном к магнитному полю, благодаря тому, что частицы будут стремиться описывать спиральные пути вокруг силовых линий магнитного поля, значительно уменьшается и, при некоторых условиях, даже может стать равной нулю. В этом предельном случае, как мы увидим дальше, свободные заряды не



Фиг. 3. Карты лунносуточной (L) периодической системы тока, вычисленные из лунных вариаций земного магнетизма к моменту новолуния.

Меридианы обозначены местным лунным временем, которое к моменту новолуния достаточно точно совпадает с солнечным (12 = полдень), так что дневная сторона земной занимает среднюю часть карты. Значения функции тока — в единицах 100 А; между каждыми двумя линиями течет ток в 500 А в направлении стрелки.

Верхний рисунок относится к равноденствию, нижний — к летнему солнцестоянию.

будут перемещаться уже в направлении электрического поля, а будут перемещаться в направлении, перпендикулярном электрическому и магнитному полям.

Проводимость в поперечном направлении будет уменьшаться в отношении

$$\frac{\omega^2 + \nu^2}{\nu^2}.$$

Так как  $\nu$  и  $\omega$  различны для электронов и для ионов, то и уменьшение поперечной проводимости должно быть различным в зависимости от того обуславливается проводимость среды ионами или электронами. Можно считать, что электроны перестанут участвовать в поперечной проводимости, начиная уже с высоты 90 км, а ионы — начиная с высоты 170 км. Это дает нам указание на верхнюю границу слоя с сильной проводимостью. Что же касается нижней границы этого слоя, то она, естественно, определяется через общее уменьшение ионизации и уменьшение длины свободного пути пробега частиц (7).

Этот результат очень важен для теории суточных вариаций. Действительно, если мы обратимся к нашим токам, то мы увидим, что они на значительной части своего пути должны течь поперек магнитного поля. Даже тогда, когда токи текут вдоль магнитных меридианов, они являются отчасти поперечными к магнитному полю, так как токи текут, примерно, горизонтально, а магнитное поле имеет, как известно, исключая низкие широты, довольно большую вертикальную компоненту. Отсюда становится ясным, что если  $S$  и  $L$  вариации действительно вызываются электрическими токами, то наиболее вероятным местом этих токов будут области ионосферы между 100—170 км высоты над горизонтом и что ионизация в этих слоях должна быть обусловлена, главным образом, ионами. Последнее заключение, как мы видим, целиком совпадает с теоретическими выводами о характере ионизации в нижнем слое  $E$ , ибо последние также предполагают, что в слое  $E$ , благодаря быстрому присоединению электронов к нейтральным частицам, число ионов должно значительно превышать число свободных электронов.

Теперь, когда мы пришли к выводу, что возможные области токов ограничены двумя слоями — нижним слоем  $E$  и промежуточным слоем (областью)  $M$ , естественно возникает вопрос, будут ли системы токов  $S$  и  $L$  вариаций распространяться одновременно каждая на оба эти слоя, или они принадлежат к различным слоям?

Как мы знаем, между  $S$  и  $L$  вариациями существует довольно значительное различие. В то время как  $S$  вариации испытывают довольно большие (до 60—70%) и правильные изменения параллельно с циклом солнечных пятен и меняются незначительно (примерно на 20%) ото дня ко дню, независимо от состояния земномагнитной активности (возмущенности),  $L$  вариации испытывают, согласно исследований Чапмана, много меньшие (до 20%) изменения вместе с циклом солнечных пятен и очень

большие (сотни процентов) изменения ото дня ко дню вместе с земно-магнитной активностью.

Эти факты были интерпретированы Чапманом в том смысле, что  $S$  и  $L$  вариации должны производиться в различных слоях и различными агентами, причем агент, вызывающий ионизацию в слое, где производится  $L$  вариация, должен меняться параллельно с магнитной активностью. Было выдвинуто последовательно несколько довольно различных вариантов этой идеи, но все они оказались в той или иной мере несостоятельными и были оставлены. Так, еще недавно предполагалось (8), что  $L$  вариация возникает в слое  $E$  и что источником ионизации последнего являются нейтральные атомы Солнца. Однако и это предположение должно быть оставлено, так как радиоизмерения, произведенные во время солнечного затмения 31 VIII 1932 г., дали несомненные доказательства того, что источником ионизации слоя  $E$  является ультрафиолетовая радиация Солнца (26). Отсюда ясно, что если указанные выше различия между  $S$  и  $L$  вариациями существуют в действительности, то  $L$  вариации не могут производиться в слое  $E$ , а должны производиться в каком-либо другом слое, ионизирующий агент которого будет отличен от ультрафиолетовой радиации Солнца. Является ли таким слоем слой  $M$  или какой-либо другой слой, в настоящее время, пока не известна точно природа ионизирующего слоя  $M$  агента, трудно решить. На этот вопрос могли бы пролить свет специальные радиоисследования во время солнечных затмений.

Основы объяснения. Тот факт, что  $L$  вариации для целого месяца имеют характер простой волны с периодом в 12 лунных часов и что интенсивность  $L$  вариаций меняется с удалением Луны от Земли примерно в том же отношении, что и лунная приливообразующая сила, указывает ясно, что  $L$  вариации вряд ли могут быть другого происхождения, чем приливного. Более сложный характер  $L$  вариаций для отдельных фаз Луны, где наряду с полусуточной волной имеются волны с периодом в целые сутки, треть суток и т. д., и когда вариации днем более сильны, чем вариации ночью, находит свое простое и рациональное объяснение в предположении, что проводимость верхних слоев не является постоянной, а меняется в течение суток и фактически зависит от положения Солнца. В частности, Чапман нашел, что наилучшее согласие между теорией и наблюдениями получается при допущении, что проводимость пропорциональна  $(1 + \frac{3}{2} \cos Z)^2$ , где  $Z$  — зенитное расстояние Солнца.

Значительно сложнее обстоит дело с выяснением происхождения  $S$  вариаций. Последние содержат фактически гармонические компоненты всех периодов; однако главную роль в них играет компонента с периодом в целые сутки. Эта особенность  $S$  вариаций не может уже найти свое объяснение в комбинированном действии полусуточных атмосферных колебаний и переменной проводимости верхней атмосферы. Поэтому приходится допускать, наряду с приливными движениями

в верхних слоях атмосферы также существование не отмечаемой колебаниями давления у поверхности земли периодической циркуляции воздуха, связанной с суточными изменениями температуры внутри проводящего слоя.

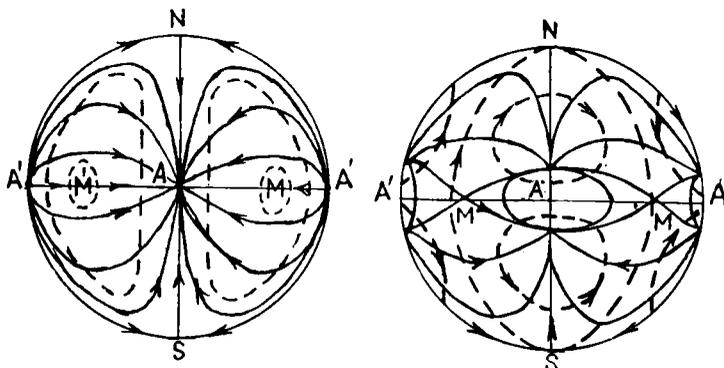
В обоих случаях в рассмотрение входят только горизонтальные движения воздуха, и индуцирующее действие приписывается вертикальной компоненте земного магнитного поля. Процесс возбуждения токов суточных вариаций подобен процессу возбуждения токов в динамомашине, откуда и происходит название этой теории. Действительно, мы можем рассматривать постоянное поле земли как магнит, движущуюся атмосферу как якорь, а проводящие слои ее как обмотку „атмосферного динамо“.

Эта основная идея может быть довольно наглядно продемонстрирована на упрощенном примере полусуточных приливов и отливов (см. фиг. 4), где представлено схематическое изображение земного полушария, рассматриваемого со стороны приливообразующего светила; здесь  $N$ ,  $S$  северный и южный полюсы земли. Для простоты предположено, что магнитные и географические полюсы совпадают. Левое изображение показывает распределение давления и движений воздуха, причем предположено, что фазовые различия отсутствуют. Приливообразующее светило (например Луна) находится над точкой  $M$ . Максимум давления будет в точке  $M$  и минимум в точке  $M'$ . Так как такое распределение давления должно сохраняться неизменным относительно Луны, то понятно, что волны давления будут перемещаться с востока на запад. Это будет сопряжено с периодическими горизонтальными движениями воздушных масс. Мгновенное направление таких движений указано на рисунке слева сплошными линиями. Как мы видим, эти линии сходятся в точке  $A$ , над которой приливообразующее светило будет находиться через три часа. Скорость движения воздуха будет сравнительно небольшой, меньше 0.6 м/сек., и отдельные частицы будут описывать почти горизонтально расположенные эллипсы, размерами около 4 км. Атмосферная циркуляция будет индуцировать, главным образом, через пересечение вертикальной компоненты магнитного поля земли электродвижущие силы. Направление электрических токов узнается по обычному правилу, что скорость движения воздуха, магнитное и индуцированное электрическое поля образуют правую систему. Линии электрических токов обозначены на рисунке справа пунктирными линиями, а соответствующие им магнитные силовые линии у поверхности земли обозначены сплошными линиями.

Неувязки теории. Теперь, когда мы знаем какими должны быть системы токов, в каких областях они могут течь и какой механизм может вызвать их появление, мы можем перейти к вопросу о том, насколько удастся объяснить происхождение такой системы токов. Сосредоточим свое внимание на трех наиболее важных особенностях — форме систем токов, их интенсивности и фазе. Объяснение этих особенностей требует знания: горизонтальных движений воздуха на высоте, проводимости атмосферы и интенсивности земного магнитного поля. Интенсивность магнитного

поля может быть вычислена и определена помощью радиоизмерений с значительной степенью точности, но движения и проводимость остаются неизвестными, и это делает затруднительным проверку теории.

Если мы будем исходить из изменений барометрического давления и конвекционных движений, как они отмечаются у поверхности земли, то динамо-теория может дать хорошее основание для общей формы токов, но она будет приводить к очень большим трудностям с объяснением фазы этих токов и с объяснением их интенсивности.



Фиг. 4. Схематическое изображение „атмосферного динамо“.

Налево — приливо-отливная циркуляция. Приливо-возбуждающее светило (Солнце или Луна) находится над точкой  $M$ . Линии равного давления заштрихованы. Линии токов воздуха (сплошные) сходятся в точке  $A$ . Направо — линии электрических токов, индуцируемых в верхней атмосфере вертикальной компоненты постоянного магнитного поля земли при атмосферной приливной циркуляции (заштрихованы), и горизонтальные магнитные силовые линии этой системы токов на земной поверхности (сплошные).

Действительно, если мы обратимся к данным, даваемым полусуточными компонентами  $S$  и  $L$  вариаций, то мы найдем, что атмосферные колебания на высоте должны быть обратны по фазе колебаниям у поверхности земли. Это указывает на то, что связь между давлением и магнитными вариациями не такая простая, как она предполагается в динамо-теории. Объяснение такого значительного расхождения в фазах может быть получено только при допущении, что в верхней атмосфере может иметь место либо полное, либо, во всяком случае, значительное изменение фазы атмосферных колебаний. Кроме того, как мы видели из фиг. 1, центр дневной токовой системы и, следовательно, максимальные изменения в  $S$  имеют место в 11 час. по местному времени; если бы конвекционные движения наверху были те же самые, что у поверхности земли, то они должны бы были быть в 13—14 часов, т. е. значительно позднее, чем в действительности. Трудности с объяснением фазы в этом случае не устраняются, если даже мы допустим, как это делает Чапман, что конвекционные движения в верхней атмосфере являются независимыми от движений у поверхности земли и обуславливаются большими суточными колебаниями температуры в проводящем слое.

Одно из наиболее главных затруднений с интенсивностью токов состоит в том, что для объяснения требуемой интенсивности токов нужно, чтобы  $\int \zeta dh$ , т. е. интеграл проводимости, взятый через толщину проводящего слоя, был бы порядка  $10^{-5}$  С. Г. С. М. (7). При тех ограничениях, какие накладываются в отношении поперечной проводимости, указанная выше величина проводимости может быть обеспечена при плотности ионов порядка  $10^8$  или  $10^9$  ионов в  $1 \text{ см}^3$ . Подобно тому, как это имело место в случае диамагнитной теории, требуемая величина плотности ионизации превосходит максимальную электронную плотность ( $6 \cdot 10^5$  электронов на  $1 \text{ см}^3$ ), но она лежит в пределах максимальной плотности ионов, соответствующей радиоизмерениям, при допущении, что в проводящем слое имеются только ионы и что электроны отсутствуют.

Мы остановились только на важнейших неувязках теории. Как мы видим, они настолько значительны, что динамо-теория вряд ли может рассматриваться как одна из наиболее достоверных теорий, во всяком случае в отношении  $S$  вариаций.

**Дрифт-теория.** Обратимся теперь к новому варианту объяснения  $S$  вариаций с помощью токов, именно к теории дрейф-токов (drift-currents), предложенной пять лет тому назад Чапманом (7). Ознакомимся вначале с этим новым явлением, которое было введено, независимо друг от друга и почти одновременно, Чапманом для объяснения  $S$  вариаций и Гульбертом и Марисом (24) для объяснения магнитных возмущений. Эффект дрейф-токов, также как и диамагнитный эффект, наблюдается только в тех областях, где частицы обладают сравнительно длинными путями пробега, и он может быть обязан своим происхождением совместному действию на свободные заряды либо магнитного и гравитационного поля, либо магнитного и электрического поля.

Представим себе для простоты (см. фиг. 5) частицы, которые под влиянием теплового возбуждения движутся по круговым орбитам вокруг силовых линий магнитного поля земли  $H$ . Для наблюдателя, смотрящего на север по направлению магнитного поля, такие частицы будут вращаться, если это будут электроны, по часовой стрелке, а если положительные ионы, то против часовой стрелки. Магнитное поле будет оказывать только отклоняющее действие на направление движения частицы, но не влияет на величину ее скорости. Сила же тяжести будет оказывать постоянное, направленное книзу действие. Поэтому скорости частиц будут возрастать, когда частицы движутся книзу, и убывать, когда частицы движутся кверху, и горизонтальная скорость движения в верхней части будет больше, чем горизонтальная скорость в нижней части пути. В связи с этим средний эффект силы тяжести сведется к сообщению частицам горизонтальных перемещений в направлении скорости частицы в нижней части пути. Это перемещение будет направлено к западу для электронов и к востоку для положительных ионов и будет в обоих случаях эквивалентно направленным к востоку электрическим токам. Такие токи и носят название дрейф-

токов. Легко понять, что этот эффект будет наблюдаться и в том случае, если на свободные заряды будут действовать поперечно направленные друг к другу магнитное и электрическое поля; но оба рода зарядов (положительные ионы и электроны) будут переноситься в этом случае в одном и том же направлении.

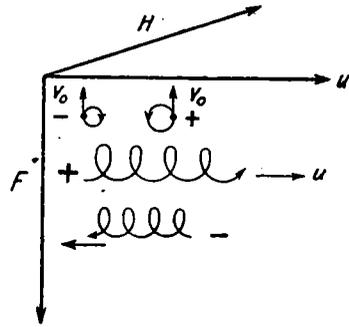
В области длин свободных путей, где  $\frac{v}{\omega}$  очень мало, средняя поперечная дрефт-скорость частиц будет равна

$$U = -\frac{F}{eH},$$

где  $F$  вертикальная компонента той силы, с которой гравитационное или электрическое поле действует на свободный заряд. В случае действия гравитационного поля  $U = -\frac{mg}{eH}$ , где  $m$  обозначает массу частиц,  $g$  ускорение силы тяжести. Так как в области более коротких свободных путей эта поперечная дрефт-скорость будет уменьшаться в отношении  $\frac{v^2 + \omega^2}{\omega^2}$ , то в производстве дрефт-тока, также как и в диамагнитном эффекте, наиболее эффективно будут участвовать только те ионизированные слои, где частицы будут обладать достаточно длинными свободными путями (7).

Согласно теории Чапмана,  $S$  вариация вызывается дрефт-токами, которые создаются в ионосфере как под действием поля тяжести, так и под действием того небольшого электрического поля, которое должно создаваться в верхней атмосфере за счет гравитационного отделения зарядов, когда более легкие электроны будут стремиться расположиться над более тяжелыми положительными ионами. Предполагается, что эти токи зарождаются в области длинных свободных путей, в более высоких освещенных Солнцем слоях атмосферы земли и текут там в направлении к востоку. При переходе на ночную сторону они опускаются в более низкие проводящие слои атмосферы и образуют там требуемую для объяснения  $S$  вариаций систему токов (7).

Эта теория встречает практически те же трудности, что и динамо теория, с объяснением требуемой интенсивности и фазы токов. Кроме того, имеются большие сомнения в том, что дрефт-токи могут привести к образованию столь сложной системы токов, какая требуется для объяснения  $S$  вариаций. В частности, эта возможность оспаривается, например, Гульбертом (21). Последний, исходя из собственных взглядов на распре-



Фиг. 5. Схематическое изображение траекторий заряженных частиц, движущихся под влиянием термического возбуждения и находящихся под влиянием магнитного и гравитационных полей.

$H$  и  $F$  соответственно магнитное и гравитационное поля и  $U$  — дрефт-скорость.

деление ионизации, вызываемой ультра-фиолетовой радиацией Солнца в атмосфере, приводит к выводу, что дрефт-токи действительно будут течь в верхней атмосфере, но что создаваемая ими система токов будет отличной от системы токов, данной Бартельсом. Согласно теории Гульберта, дрефт-токи будут течь на дневной стороне, в области длинных свободных путей (примерно на высоте 150 км и выше) в направлении с запада к востоку. При переходе на ночную сторону они будут разветвляться. Меньшая часть их (около одной четверти) перейдет на ночную сторону и будет продолжать течь там в прежнем направлении, распространяясь также и на область коротких свободных путей. Большая часть токов опустится в область более коротких свободных путей освещенной Солнцем атмосферы (примерно 120 км высоты) и будет течь там уже к западу с тем, чтобы, соединившись с первой частью токов на утренней стороне Земли, вновь подняться в область длинных свободных путей.

Таким образом, согласно предположению Гульберта, дрефт-токи дают происхождение кольцу токов, текущих в направлении к востоку и окружающих Землю. Это кольцо будет обуславливать наличие внешнего постоянного потенциального поля Земли и будет играть важную роль в объяснении магнитных возмущений.

Как мы видим, существует ряд возможностей в объяснениях  $S$  и  $L$  вариаций. Какая из этих возможностей более правдоподобна и имеет ли место только одна из этих возможностей или, как указывает Чапман (7), какая-либо комбинация их, — можно будет решить только при дальнейшем расширении наших знаний о физике верхних слоев атмосферы.

#### СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИРОДЕ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Если столь значительные расхождения во взглядах существуют в отношении таких, сравнительно простых и хорошо изученных изменений, какими являются периодические суточные изменения, то нет ничего удивительного в том, что еще большие расхождения существуют в отношении объяснения более сложных иррегулярных изменений. Со времени появления первого, более или менее физически обоснованного представления о причинах магнитных возмущений, высказанного в 1895 г. Ад. Шмидтом (Ad. Schmidt) (29), объяснением этого явления занималось большое число исследователей, которыми было выдвинуто около 12 различных теорий, точнее гипотез. Мы, естественно, не можем входить в детальный разбор этих теорий и отметим только наиболее важные их особенности, которые могут интересовать нас как исследователей верхних слоев атмосферы.

Общее о причинах магнитных возмущений. Все теории магнитных возмущений сходятся на том, что первопричинами магнитных возмущений является действие каких-то солярных агентов. Это поразительное единодушие объясняется просто, если вспомнить, что магнитные возмущения обнаруживают довольно тесную зависимость от каких-то, пока неизвестных нам, явлений на поверхности Солнца (3). Эти явления не свя-

завы непосредственно с солнечными пятнами потому, что, как известно, происхождение пятен по диску Солнца не всегда сопровождается магнитными возмущениями и, наоборот, наблюдались довольно резко выраженные последовательности магнитных возмущений, когда на диске Солнца пятен не было вовсе. Но эти явления все же как-то связаны с пятнами, так как известно, что земномагнитная активность довольно хорошо, за исключением отдельных годов, коррелируется с 11-летней периодичностью солнечных пятен.

Хотя мы и не знаем точно источников магнитных возмущений, тем не менее мы можем определенно утверждать, исходя из тенденции дней магнитного спокойствия и дней магнитных возмущений к повторению через периоды в 27 и 30 дней (близкие к периоду синодического вращения Солнца), что эти явления должны локализоваться в определенных областях поверхности солнца. Время жизни таких областей ограничено несколькими периодами вращения Солнца и, во всяком случае, может превышать продолжительность жизни солнечных пятен. Явления, происходящие в этих областях, повидимому, связаны с выделением какого-то агента, который может, в случае если он вступает в соприкосновение с землей, вызвать магнитные возмущения.

Относительно природы этого агента существуют очень большие расхождения. Одни исследователи считают, что этим агентом может явиться только корпускулярное излучение, состоящее либо из частиц одного знака, либо из частиц обоого знака; другие, наоборот, считают, что этим агентом может явиться также ультрафиолетовая радиация Солнца. Не меньшие расхождения существуют в отношении скорости движения частиц. В то время как в одних теориях предполагается, что скорость частиц порядка скорости света, другие теории оперируют со скоростями частиц порядка 1600 км/сек., при которых переход частиц от Солнца к Земле может занять около  $2\frac{1}{2}$  дней. Но, пожалуй, наибольшие расхождения наблюдаются в вопросе о способе действия этих частиц и о месте, где происходят главные явления, вызывающие магнитные возмущения. Так, одни теории приписывают магнитные возмущения непосредственному действию магнитного поля частиц и относят главные явления к очень большим, от  $9 \cdot 10^4$  до  $9 \cdot 10^6$  км, расстояниям от земли. Другие теории приписывают магнитные возмущения явлениям, связанным с вступлением корпускулярного потока в магнитное поле земли и относят эти явления хотя и к более близким, чем первые теории, областям космического пространства, но тем не менее лежащим далеко за пределами земной атмосферы. И, наконец, третьи теории связывают магнитные возмущения с внедрением частиц или ультрафиолетовой радиации Солнца в атмосферу Земли и приписывают магнитные возмущения электрическим токам, текущим в пределах нашей атмосферы.

Теория Биркеланда-Штермера. Так как явления полярных сияний тесно связаны с магнитными возмущениями, то почти все теории

магнитных возмущений являются одновременно и теориями полярных сияний. Одной из наиболее старых и в то же время наиболее известных теорий этого рода является теория Биркеланда-Штермера (Kr. Birkeland, C. Störmer) (4, 33). Однако эта теория должна скорее рассматриваться как теория полярных сияний, чем как теория магнитных возмущений, так как она, несмотря на довольно большой ряд упрощающих предположений, очень хорошо объясняет большое количество наблюдаемых особенностей полярных сияний. Что же касается магнитных возмущений, то она объясняет сравнительно небольшое количество фактов, связанных, главным образом, с географическим распределением магнитных возмущений, в то время как допускаемые для объяснения магнитных возмущений предположения принадлежат к числу наиболее слабых и наиболее спорных мест теории.

Теория Биркеланда-Штермера приписывает магнитные возмущения непосредственному действию магнитного поля солярных частиц одного знака (электронов), летящих из Солнца в виде узких „карандашной формы“ пучков, со скоростью, примерно равной одной трети скорости света. Как показывают вычисления Штермера и подтверждающие их опыты Биркеланда и в особенности недавние опыты Брюхе (E. Brüche) (5), приближающийся к Земле поток электронов должен будет распаться под влиянием отклоняющего поля Земли на два пояса, направленные в полярные области, и на одно кольцо, лежащее в плоскости магнитного экватора. Последнее образуется теми электронами, которые летят нормально к магнитному полю Земли в плоскости магнитного экватора и совершают под влиянием отклоняющего действия магнитного поля разнообразные круговые пути на громадном, лежащем за пределами орбиты Луны, расстоянии от Земли. Это кольцо электронов будет эквивалентно круговому „электронному току“. Магнитному полю этого тока приписываются наблюдающиеся в магнитных бурях эффекты последующего возмущения. Кроме того, магнитное поле этого тока будет стягивать электроны, внедряющиеся в зоны полярных сияний в более низкие широты, чем и объясняется тот факт, что во время больших магнитных бурь полярные сияния могут наблюдаться даже в тропических широтах. Отражающим действием этого электронного кольца, как известно, объясняется явление, так называемого, „радио-эхо мирового пространства“ (5, 34). Полярные пояса будут образовываться теми электронами, которые будут внедряться под косым углом к магнитному полю Земли. Будучи захвачены последним на значительном расстоянии от Земли, они будут описывать разнообразные спиральные пути вокруг магнитных силовых линий. Часть таких электронов, опускаясь вдоль магнитных линий, может внедряться довольно глубоко в атмосферу, на ночной стороне Земли, вызывая там полярные сияния и магнитные возмущения. Этим самым дается объяснение, почему магнитные возмущения наиболее часты и наиболее интенсивны в высоких широтах и почему наиболее магнитно-возмущенными частями суток являются вечерние часы.

Однако основное допущение, что магнитные возмущения вызываются непосредственным действием магнитного поля летящих электронов, требует, чтобы поток электронов обладал значительной скоростью и значительной плотностью. Это вызывает целый ряд серьезных возражений, которые в свое время были исчерпывающим образом сформулированы Шустером (20) и Линдеманом (F. A. Lindemann) (23, 26). Основное из них то, что поток частиц одного знака не может сохранить требуемую для объяснения магнитных возмущений плотность из-за взаимного электростатического отталкивания частиц. Это возражение относится не только к пучку электронов, движущихся от Солнца к Земле, но и к электронному кольцу, лежащему в экваториальной плоскости. Даже если можно было бы согласиться с указанием Биркеланда (4), что при таких больших скоростях электродинамическое притяжение частиц будет преобладать над электростатическим отталкиванием их, то и тогда теория не смогла бы преодолеть трудностей, связанных с аккумуляцией зарядов в верхних слоях атмосферы. Эта аккумуляция зарядов будет протекать настолько интенсивно, что уже через несколько секунд дальнейшее поступление зарядов сделается невозможным из-за электростатического отталкивания частиц. Все это делает теорию Биркеланда-Штермера мало пригодной для объяснения магнитных возмущений. Поэтому было предпринято несколько попыток построить более совершенную теорию, которая, сохраняя все завоевания, связанные с допущением корпускулярного потока, могла бы избежать указанных выше затруднений, связанных с допущением непосредственного действия магнитного поля заряженных частиц.

Динамо-теория магнитных возмущений. Некоторые из этих попыток могут быть объединены под общим названием динамо-теории магнитных возмущений. Роль корпускулярного потока в динамо-теории двоякая. С одной стороны, внедрение корпускулярного потока приводит к усилению ионизации в определенных областях атмосферы и тем самым изменяет условия протекания тех явлений, какие вызывают суточные вариации спокойного дня. Благодаря этому суточный ход в возмущенные дни будет значительно отличаться от суточного хода в спокойные дни. С другой стороны, и это особенно характерно, внедрение корпускулярного потока должно приводить к возникновению дополнительных движений в атмосфере, во время которых будут индуцироваться, под действием постоянного магнитного поля Земли, дополнительные системы электрических токов. Магнитное поле этих токов и будет ответственно за наблюдаемые средние особенности в протекании магнитных возмущений, наиболее характерными из которых является, как известно, быстрое, иногда даже в виде скачка, увеличение горизонтальной компоненты поля в начале бури; затем значительное уменьшение ее ниже нормальной величины во время второй, главной фазы бурь и, наконец, медленный, растягивающийся иногда на несколько дней возврат поля к своему нормальному состоянию в третьей фазе, фазе последующего возмущения.

Однако, как легко видеть, объяснение этих эффектов может быть получено только в том случае, если внедрение корпускулярного потока может приводить к довольно сложной системе атмосферных движений — горизонтальных в высоких широтах и вертикальных в низких широтах, причем направленных на ночной стороне Земли к экватору и вниз во время первой фазы бури и к полюсам и вверх во время второй фазы бури (11,1). Кроме того, хотя корпускулярный поток динамо-теории и может обладать меньшей плотностью, чем корпускулярный поток в теории Биркеланда-Штермера, тем не менее динамо-теория также не может избежать затруднений, связанных с аккумуляцией зарядов.

Эти затруднения могли бы быть обойдены только в том случае, если бы корпускулярный поток состоял из зарядов обоого знака и был бы почти нейтральным (23, 12), но такой поток не будет отклоняться в полярные области, и, кроме того, внедрение его не может повести к возникновению указанной выше системы атмосферных движений (14).

Ультрафиолетовая теория магнитных возмущений. К типу динамо-теорий, в известной мере, примыкает новая, предложенная несколько лет назад Гульбертом и Марисом ультрафиолетовая теория магнитных возмущений. За сравнительно короткий срок было предложено несколько вариантов этой теории (24, 25). Мы остановимся здесь на последнем (22). В основе ультрафиолетовой теории лежит допущение, что причиной магнитных возмущений являются „вспышки“ ультрафиолетовой радиации Солнца, откуда и происходит название этой теории. Предполагается, что в некоторые моменты, моменты „активного Солнца“, в небольших областях Солнца, вблизи солнечных пятен, могут временно удаляться верхние и обнажаться внутренние более нагретые слои Солнца. Это должно приводить к своего рода „вспышке“ ультрафиолетовой радиации, которая в эти моменты будет, примерно, в  $10^5$  раз интенсивнее, чем обычно, и к небольшому, около 1%, увеличению солнечной постоянной. Такое значительное усиление солнечной радиации в моменты активного Солнца, естественно, должно приводить к сильному увеличению ионизации и значительному повышению температуры в верхних слоях атмосферы. Это, конечно, должно сильно сказываться на той системе восточных дрейфтоков, которая, по предложению Гульберта, существует в верхних слоях атмосферы в условиях „спокойного“ Солнца. Изменения, производимые в этой системе токов, будут различными в зависимости от характера „вспышки“, в связи с чем могут наблюдаться и большие различия в характере протекания магнитных возмущений.

Один из возможных вариантов таков. Вначале „вспышка“ ультрафиолетовой радиации приводит к значительному усилению ионизации в области длинных свободных путей, в связи с чем произойдет увеличение токов, текущих к востоку и, значит, увеличение горизонтальной составляющей, как это и отмечается во время первой фазы бури. Затем, по мере развития вспышки, произойдет нагревание нижележащих слоев и их под-

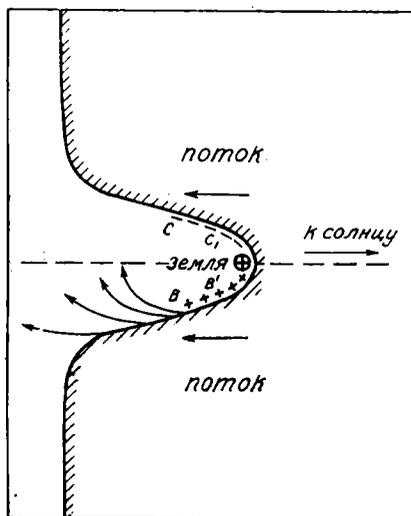
нятие кверху. Это приведет к захвату большей части свободных зарядов области длинных свободных путей поднимающейся вверх областью коротких свободных путей, что будет вести к ослаблению токов, текущих к востоку и усилению токов, текущих к западу, и что будет отмечаться уменьшением горизонтальной составляющей. Третья фаза бурь, характеризующаяся медленным возвратом поля к своему нормальному состоянию, объясняется медленным, постепенным уменьшением ионизации после прекращения вспышки и медленным возвратом (опусканием) слоев к их нормальному состоянию. Поднятие и опускание проводящих слоев будет сопряжено также с возникновением индукционных токов, которые будут усиливать указанные выше эффекты.

Ультрафиолетовая теория вызывает большие возражения. В частности, можно указать хотя бы, что основное допущение этой теории о связи магнитных возмущений с ультрафиолетовой радиацией Солнца, исходящей из кратковременно существующих „активных“ областей Солнца, находится в противоречии с тенденцией магнитных возмущений к повторению через промежуток времени, примерно равный периоду синодического вращения Солнца (13). Кроме того, можно добавить, что существование таких „активных“ областей пока не обнаружено, хотя отмеченное Каррингтоном в 1859 г. извержение на Солнце может быть случаем подобного рода (20).

Теория Чапмана и Ферраро. В заключение нашего обзора остановимся вкратце на новой теории магнитных возмущений, предложенной три года тому назад Чапманом и Ферраро (V. C. A. Ferraro). Изучение протекания магнитных возмущений привело Чапмана (15) к мысли, что объяснение магнитных бурь с помощью электрических токов, текущих в пределах нашей атмосферы, может иметь значение только для полярных областей, где магнитные возмущения особенно сильны, но что является мало правдоподобным, чтобы такого рода токи могли играть главную роль в объяснении магнитных возмущений над средними широтами.

Согласно новой теории, главные изменения магнитного поля над средним поясом земли обязаны своим происхождением тем электрическим явлениям, какие возникают при вступлении корпускулярного потока в магнитное поле земли на громадном, равном нескольким земным радиусам, расстоянии от земли. Поток предполагается практически нейтральным и состоящим из ионов, электронов и нейтральных атомов, летящих со скоростью, примерно равной 1600 км/сек. Хотя индивидуальные частицы потока исходят из Солнца почти радиально, весь поток, благодаря своему вращению вместе с Солнцем, будет иметь слегка искривленную форму. Фронт его будет достигать землю в ее движении по орбите, приближаясь к ней с послеполуночной стороны со скоростью, примерно, равной 400 км/сек. Так как ионизированный поток является почти идеальным проводником, то его вступление в магнитное поле земли будет сопровождаться возникновением в нем индукционных электрических токов. Эти токи будут течь в ближайшем к земле поверхностном слое потока и будут защищать

поток от проникновения внутрь его магнитного поля Земли. Благодаря этому, дальнейшее продвижение потока будет сопряжено с сжатием силовых линий и увеличением интенсивности земномагнитного поля, что и будет отмечаться увеличением горизонтальной составляющей во время первой фазы бури. Так как сжатие магнитных линий в меньший объем достигается за счет потери кинетической энергии частиц, то фронт потока будет продолжать продвигаться дальше в направлении Земли, с все более и более замедляющейся скоростью. Это замедление движения будет различным для различных частей потока; наибольшая задержка будет там, где наиболее сильное поле. Поток будет обходить Землю, в нем образуется как бы дупло, внутри которого будет находиться Земля.



Фиг. 6. Экваториальное сечение фронта потока по Чапману.

В то время как поток окружает Землю, магнитное поле ее будет производить в нем отделение зарядов (см. фиг. 6).

На одной стенке дупла ( $BB'$ ), расположенной против утренней стороны Земли, будут концентрироваться положительные ионы, на другой стороне дупла ( $CC'$ ), расположенной против вечерней стороны Земли, будут концентрироваться отрицательные заряды, преимущественно электроны. Под влиянием создающегося, благодаря этому отделению зарядов, электрического поля будет происходить вырывание

зарядов из поверхности дупла, которое будет особенно интенсивным „позади“ Земли. Предполагается, что вырываемые из поверхности  $BB'$  более массивные положительные ионы будут перемещаться, частично направляемые магнитным полем, через пространство, незаполненное потоком позади Земли, к поверхности  $CC'$ . Что же касается электронов, то они будут, благодаря более сильному на них действию магнитного поля, вовлекаться в поток ионов, перемещаясь вдоль силовых линий магнитного поля „сверху“ и „снизу“ от экваториальной плоскости. Хотя, попав в поток ионов, электроны будут стремиться следовать за ионами и будут стремиться приобрести равную им скорость, тем не менее, благодаря небольшому отставанию электронов от положительных ионов, перенос зарядов обоого знака в одном и том же направлении будет равносильным направленному к западу электрическому току. Под влиянием некоторых вторичных эффектов этот, вначале слабый, ток будет постепенно расти, пока не достигнет некоторой предельной величины.

Предполагается, что такой ток может стать замкнутым и что токовое кольцо может сохраниться и после того, как первичный поток обгонит Землю, хотя как это может произойти — остается пока не совсем ясным. Создаваемое таким образом токовое кольцо будет устойчиво в механическом и электромагнитном отношениях и может сохраниться в течение нескольких дней после прохождения потока. Магнитное поле его будет ответственно за уменьшение горизонтальной составляющей во время главной фазы бури, а постепенное ослабление его будет соответствовать последующему возмущению.

В отличие от кругового тока теории Биркеланда-Штермера это токовое кольцо будет располагаться на более близком, равном нескольким земным радиусам, расстоянии от Земли и будет состоять не только из одних электронов, но и из положительных ионов. Это токовое кольцо также может быть использовано для объяснения радио-эхо большой задержки (16).

Естественно, что эти токи в мировом пространстве должны вызывать вторичные индукционные токи как в верхних проводящих слоях атмосферы, так и внутри Земли.

Разработка новой теории пока не закончена во всех деталях и пока трудно судить, насколько удастся преодолеть все встречающиеся трудности, в особенности трудности, связанные с объяснением второй фазы бури. Также пока неясно, насколько удастся объяснить происхождение магнитных возмущений в полярных областях и могут ли быть удержаны, без значительных изменений, существующие теории полярных сияний.

Магнитные возмущения в высоких широтах. Изучение магнитных возмущений в высоких широтах указывает ясно, что причины этих изменений должны быть расположены на небольшом расстоянии от Земли и, повидимому, в пределах нашей атмосферы. Так, сравнительно недавно установленный новый тип „микроразрядов гигантов“ (28), который в отличие от обычных разрядов, наблюдающихся почти одновременно, в пределах точности измерения времени, на всей Земле, наблюдался только на скандинавских обсерваториях Абиско и Трёмзе, может найти свое объяснение, повидимому, лишь в допущении, что он вызывается разрядами местного электрического тока в атмосфере. Кроме того, как известно, иногда наблюдаются такие случаи, что магнитные возмущения, отмечаемые на двух соседних станциях, оказываются на них одинакового знака в горизонтальной компоненте и противоположного знака в вертикальной компоненте. Такие случаи также могут найти свое простое объяснение в допущении, что магнитные возмущения вызываются токами, текущими в атмосфере между двумя станциями, и они, как известно, использовались для определения высот этих токов (4, 17).

За то, что источник магнитных возмущений в высоких широтах должен лежать в пределах нашей атмосферы, говорит также та тесная корреляция, какая существует в высоких широтах между магнитными возму-

щениями и изменениями в ионосфере. По наблюдениям Апплетона, Нэйсмита и Буильдера (F. V. Appleton, R. Naismith and Builder) (2), полученным во время II МПГ в Трёмзе, небольшие магнитные возмущения в течение ночи почти всегда сопровождаются увеличением ионизации в нижней области ионосферы. Большие магнитные бури сопровождаются обычно полным прекращением радио-эхо. Это прекращение эхо отмечается днем, как во время магнитного возмущения, так и в течение некоторого времени после него и оно, повидимому, связано с возникновением ионизации и поглощением сигналов в ненормально низких уровнях. Отсюда можно сделать, по Апплетону, два вывода: во-первых, что агент, вызывающий магнитные возмущения в высоких широтах, может производить ионизацию в более низком уровне, чем ультрафиолетовая радиация, и, во-вторых, что этим агентом должно быть корпускулярное излучение, состоящее как из заряженных, так и из нейтральных частиц.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы подошли к концу нашего изложения. Сделаем несколько общих выводов.

1. Как мы видим, проблема объяснения земномагнитных изменений еще далека от своего разрешения. Для разрешения ее требуется всестороннее знание физики верхних слоев атмосферы и, в первую очередь, знание состава воздуха на больших высотах, распределения и природы ионизации, температурных изменений, атмосферных движений.

2. Даже при современном состоянии наших знаний магнитный метод позволяет делать заключения о ряде явлений, изучение которых невозможно с помощью других, доступных нам методов исследования верхней атмосферы.

3. Тот факт, что изменения магнитного поля земли тесно связаны с другими гео- и гелиофизическими явлениями, дает возможность использовать магнитные данные и установленные на основе их закономерности для проверки заключений, получаемых с помощью других методов, и тем самым дает возможность уточнять наши зачастую далеко недостоверные сведения о пока еще недоступных для прямых методов исследования областях атмосферы.

4. Необходимо организовать совместные радио и земномагнитные исследования в высоких широтах, где изменения земного магнитного поля особенно сильны и связь их с изменениями в ионосфере наиболее очевидна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Angenheister, G. Die erdmagnetischen Störungen nach dem Beobachtungen des Samoa-Observatoriums. Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1924, S. 1.
2. Appleton, F. V., Naismith, R. and Builder. Ionospheric investigation in high latitudes. Nature, 132, 340—341, 1933.
3. Bartels, J. Überblick über die Physik der hohen Atmosphäre. Elektrische Nachrichten-Technik, Bd. 10, Sonderheft, 1933.
4. Birkeland, Kr. The norwegian aurora polaris expedition 1902—1903, v. 1, 1 and 2 section. Christiania, 1913.
5. Brüche, E. Naturwiss., 18, 1085—1903, 1930; Terr. Magn., 36, 41—52, 1931.
6. Chapman, S. On the diamagnetic field of the outer atmosphere. Terr. Magn., 34, 1—16, 1929.
7. — On the theory of the solar diurnal variation of the earth magnetism. Proc. Roy. Soc. London (A), 122, 369—386, 1929.
8. — Some phenomena of the upper atmosphere. Proc. Roy. Soc. (A), 132, 353—374, 1931.
9. — The solar and lunar diurnal variation of terrestrial magnetism. Phil. Trans. (A), 218, 1—118, 1919; 225, 49, 1925.
10. Chapman, S. and Sta'yg, J. M. Proc. Roy. Soc. London (A), 123, 27—53, 1929; 130, 668—697, 1931; J. Bartels. Terr. Magn., 37, 291—302, 1932.
11. Chapman, S. An outline of a theory of magnetic storms. Proc. Roy. Soc. London (A), 95, 61—83, 1919.
12. — A dictionary of applied physics ed. by Glazebrook, 2, 543—561, 1922.
13. — Monthly Not. Roy. Astr. Soc. Geoph. Suppl., 2, 296, 1930; Phys. Rev., (2), 32, 992—994, 1928; Nature, 122, 921, 1928; Chapman S. and Price, A. T. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 1930.
14. Chapman, S. and Ferraro, V. C. A. A new theory of magnetic storms. Nature, 126, 129—130, 1930; Terr. Magn., 36, 77—99, 171—186, 1931; 37, 147—156, 421—429, 1932; 38, 79—96, 1933; Ferraro, V. C. A. A new theory of magnetic storms. Observatory, London, 56, 253—259, 1933.
15. Chapman, S. The field energy of magnetic storms. Terr. Magn., 37, 269—273, 1932.
16. — Radio echoes and magnetic storms. Nature, 122, 768, 1928.
17. Goldie, A. H. R. The electric field in terrestrial magnetic storms. Edinburgh, Trans. Roy. Soc., 57, 143—177, 1931.
18. Gunn, R. The diamagnetic layer of the earth's atmosphere and its relation to the diurnal variation of terrestrial magnetism. Phys. Rev., (2), 32, 133—141, 1928.
19. — The diamagnetic theory of undisturbed terrestrial-magnetic variation. Terr. Magn., 34, 17—23, 1929.
20. Hale, G. The spectrohelioscope and its work. Astroph. Journ., 73, 379—412, 1931.
21. Hulburt, E. O. Ions and electric currents in the upper atmosphere of the earth. Phys. Rev. (2), 34, 1167—1183, 1929.
22. — The ultra-violet light theory of aurora and magnetic storms. Phys. Rev., (2), 36, 1560—1567, 1930; Maris, H. B. Phys. Rev. (2), 39, 504—514, 1932.
23. Lindemann, F. A. Note on the theory of magnetic storms. Phil. Mag., 38, 669—684, 1919.
24. Maris, H. B. and Hulburt, E. O. A theory of aurorae and magnetic storms. Phys. Rev., (2), 33, 412—431, 1929.
25. Maris, H. B. and Hulburt, E. O. Nature, 122, 807—808, 1928; Hulburt, Phys. Rev. (2), 31, 1038—1040, 1928; 32, 996, 1928; 34, 345, 1929; 36, 1560—1567, 1930.
26. Meeting for discussion of the ionosphere. Proc. Roy. Soc. London (A), 141, 697—722, 1933. Русский перевод — Дискуссия об ионосфере. Успехи физических наук, 14, 499—515, 1934.

27. Pedersen, P. O. The propagation of radio waves. Copenhagen, 1927.
28. Rolf, B. Terr. Magn., 36, 9—14, 1931; L. Harang, Terr. Magn., 37, 57—61, 1932.
29. Schmidt, A. Über die Ursache der magnetischen Stürme. Meteor. ZS., 16, 385—397, 1889.
30. Schuster, A. Phil. Trans. (A), 180, 467, 1889; (A), 208, 163—204, 1908.
31. — The origin of magnetic storms. Proc. Roy. Soc. London, (A), 85, 45—50, 1911.
32. Stewart, B. Encyclopaedia Britannica, 9th, ed., 16, 181—184, 1878.
33. Störmer, C. Über die Probleme des Polarlichtes. Ergebn. d. kosm. Physik, 1, 1—86, Leipzig, 1931. Русский перевод: Проблема полярных сияний. Г. Т. Т. И. 1933.
34. — Kurzwellenechos, die mehrere Sekunde nach dem Hauptsignal eintreffen, und wie sie sich aus der Theorie des Polarlichtes erklären lassen. Naturwiss., 17, 645—651, 1929.

#### Общие обзоры

35. Angenheister, G. u. Bartels, J. Das Magnetfeld der Erde. Wien-Harms, Handb. d. Experimentalphysik, Bd. 25, T. 1, Leipzig, 1928.
36. Bartels, J. Die höchsten Atmosphärenschichten. Ergebn. d. exakten Naturw., 7, 114—157, 1928. Русский перевод И. Бартельс. — Вышние атмосферы, Г. Н. Т. И., 1932.
37. — Geophysikalische Nachweis von Veränderungen der Sonnenstrahlung, Ergebn. d. exakten Naturw., 9, 38—78, 1930.
38. — Überblick über die Physik der hohen Atmosphäre. Elektrische Nachrichten-Technik, Bd. 10. 1933. Русский перевод: Физика высоких слоев атмосферы. Г. Н. Т. И. 1934.
39. Goldie, A. H. R. Terrestrial magnetism — the magnetic variation of short duration. Quart. Journ. Roy. Meteor. Soc., 59, 3—15, 1933.

## ПРЕНИЯ

**В. И. Баранов** в своем выступлении указывает на важность непосредственных измерений на границе между тропо- и стратосферой вертикального тока проводимости и предлагает проект прибора, пригодного для этой цели (см. подробнее доклад).

Акад. **С. И. Вавилов**. По поводу свечения ночного неба **Д. И. Еропкина** указывал на то, что это свечение обязано переходу атома кислорода из метастабильного состояния в обычное возбужденное. По мнению **Д. И. Еропкина**, длительность этих метастабильных состояний достаточно велика, и следовательно можно толковать явление так, что атомы возбуждались днем и продолжают свечение всю ночь. Если это так, то свечение должно происходить с определенным затуханием. Следовательно, после прекращения сумерек, с наступлением ночи, яркость свечения должна определенно затухать; если это так, тогда действительно можно сделать правильное заключение о том, что данное свечение неба возбуждено во время дневного освещения. Возможна, однако, и вторая гипотеза, заключающаяся в том, что во время ночи корпускулярные лучи продолжают возбуждение, в таком случае яркость этого свечения будет в основном от времени не зависеть. Таким образом, можно решить для данного вопроса фундаментальный пункт: произошло ли возбуждение днем, или оно продолжается все время. Для экспериментального решения этого вопроса необходима целая серия наблюдений, но во всяком случае этот вопрос можно решить экспериментально.

В связи с докладом **Д. И. Еропкина** следует заметить, что в резолюции отсутствует важный пункт: необходимо подчеркнуть, что в Союзе наблюдений за свечением ночного неба не ведется. Между тем у нас есть целый ряд лабораторий и институтов, где такие наблюдения можно было бы поставить, а они дадут несомненно весьма ценный материал по изучению стратосферы.

**С. И. Крючков**. Сейчас было бы очень интересно, в виду того, что энергия ультрафиолетовой части солнечного спектра вполне достаточна для вызова полной диссоциации кислорода на соответствующих высотах и на основании подсчета энергии, обнаружившейся при полярных сияниях, при ночном свечении неба, произвести расчет, цель которого — приближенно определение температуры тех слоев, в которых эти полярные сияния происходят, приняв температуру в стратосфере —  $300^{\circ}$ . Расчет как будто бы показывает, что нижняя граница полярных сияний будет располагаться на высотах 80—100 км. Если предположить отсутствие инверсии температуры, то нижняя граница будет другая и не будет расходиться с экспериментально наблюдаемыми фактами.

Возможно и чрезвычайно желательно произвести подсчеты в направлении определения количества этой энергии ночного свечения неба и полярных сияний.

Следует также отметить, что если бы диссоциация кислорода с последующей рекомбинацией происходила только за счет ультрафиолетовой части солнечного спектра, то к концу ночи свечение должно было бы слабеть. Не исключена возможность и корпускулярного излучения, которое вызывает последующую диссоциацию кислорода и поддерживает этот феномен свечения без заметного ослабления в течение ночи.

**Кулаков.** В связи с докладом М. А. Бонч-Бруевича следовало бы внести в резолюцию пункт, отмечающий важность исследования регистрации радиопомех и регистрации радиоприема для службы погоды. В резолюции указано, что „в настоящее время этими вопросами мы достаточно овладели“. Такое утверждение было бы голословно, потому что Служба погоды в данный момент не обладает соответствующими методами предсказаний на основании радиопомех. Необходимо укрепить работу и поддержать предложение об организации соответствующих наблюдений в Москве, в Одессе и дополнить резолюцию указанием на необходимость проработки этих исследований в части, касающейся разработки приборов для регистрации радиопомех на стабильных приборах.

**Введенский.** Д. И. Еропкин в своем докладе не упомянул о линиях нейтрального кислорода в красной части спектра. Вегард обнаружил, что интенсивность этой линии кислорода находится в тесной зависимости от солнечной деятельности. Об этом следовало бы сказать. В связи с этим вопрос о действительном происхождении явления становится очень интересным. Вегард указывает, что относительная интенсивность зеленых и красных лучей меняется, если тут замешано корпускулярное излучение. Прежде всего, здесь может быть связь с высотой, и поэтому было бы желательно сравнить интенсивность зеленых и красных лучей в лабораторных условиях, т. е. получить спектры полярных сияний лабораторно и изучить спектры красных и зеленых лучей. Если указанное положение справедливо, эффект может быть обнаружен.

Что касается происхождения зеленой линии спектра ночного неба, то условия свечения в спектре полярного сияния и в спектре ночного неба различны. Спектр полярного сияния и спектр ночного неба отличаются не только тем, что в спектре полярного сияния есть отрицательный полюс азота, но также и тем, что и положительный полюс азота обнаруживается в спектре полярного сияния,

Д. И. Еропкин приводит мнение Чапмана о том, что энергия зеленой линии является энергией атома кислорода, энергией, которая запасается в течение дня и расходуется в течение ночи. Диссоциация происходит не только с кислородом, но и с азотом. Энергия диссоциации азота несколько выше энергии диссоциации кислорода. Энергия диссоциации азота 9.5 вольт, энергия диссоциации кислорода 6.5 вольт, т. е. разница в 3 вольта.

Возможно, что диссоциация азота происходит первоначально; если два атома азота рекомбинируют в присутствии молекулы кислорода, то не может ли при этом произойти диссоциация молекулы кислорода с испусканием избыточной энергии в виде этой частоты  $5577 \text{ \AA}$ . Тогда возникает вопрос о затухании этой линии, так как этот процесс может происходить в виде подвижного равновесия в атмосфере.

Проф. **Б. П. Вейнберг** полностью присоединяется к высказанным пожеланиям об интенсификации исследований электрических и магнитных явлений, однако есть некоторые опасения относительно возможности перенесения этих методов сразу на стратостат. Следовало бы рекомендовать бóльшую последовательность в этом отношении; новые методы надо пробовать сначала на аэростатах, на аэропланах и потом их перене-

силь на стратостаты, в которых каждый килограмм веса является помехой.

В качестве примера можно сослаться на первые определения магнитных элементов на высоте, сделанные на Цепелине LZ 127. Как ни хороши эти определения, все же они не внесли нового в наши знания о распределении земного магнетизма в полярных областях. Сопоставление их с другими данными показывает, что они не вполне совпадают с тем, что получилось в других местах. Поэтому, если принять во внимание, что нас интересует не отдельный элемент земного магнетизма, а все три составляющие, то надо сначала тщательно проработать методику определения трех элементов, а не только одного. Магнетрон прибор интересный, но его применение затруднено тем, что стратостат, подобно аэростату, имеет неприятную особенность вращаться, и следовательно нужен какой-то стабилизатор, установка, которая давала бы три составляющие, и установка, регистрирующая все три элемента. Таким образом, подготовка к снабжению стратостатов магнитными приборами, которые давали бы, по справедливому указанию Б. М. Яновского, вариации магнитных элементов, требует такой аппаратуры, которая позволила бы осуществить регистрацию всех элементов. По мнению Б. П. Вейнберга, магнитным измерениям на стратостатах должна предшествовать большая работа. Присоединяясь к резолюции, Б. П. Вейнберг предлагает подчеркнуть в резолюции необходимость изучения полярных сияний не только на комплексных обсерваториях, а главным образом с точки зрения унификации наблюдений.

**Янишевский** обращает внимание на то, что попытки регистрации интенсивности полярных сияний были проделаны в обсерватории (Слуцк) и, кроме того, в Норвегии. Интересно, насколько такие установки (если они будут организованы) могут быть полезны для выяснения причин магнитных изменений, как их следует организовать и с какой инерцией они должны записывать. Мы должны получить от магнитологов заказ на такую установку, если она кажется целесообразной.

**Д. И. Ерошкин.** Рядом выступавших ораторов затрагивался вопрос о возможности равномерного свечения зеленой линии в течение ночи, причем возбуждались некоторые сомнения — может ли это явление объясняться рекомбинацией. Все зависит от того, какие плотности имеют место на высоте эмиссии. Спадание интенсивности ночного свечения может происходить на протяжении нескольких дней и не быть замеченным при современных длительных экспозициях в течение одной ночи. Некоторые опыты в области изучения спектра ночного неба предприняты по инициативе Академии Наук в Симеизской обсерватории. Особенно были бы интересны наблюдения на целой сети станций, проводимые одновременно в одну и ту же ночь с однотипными приборами. Необходимость создания такой службы по изучению спектра ночного неба было бы желательно подчеркнуть в резолюции.

**М. А. Бонч-Бруевич.** Относительно использования радиопомех для предсказания погоды в проекте резолюции сказано: „отметить возможность использования...“. Этой фразой не утверждается, что мы владеем уже этим методом. Но этот метод существует: в Австралии и в Японии им пользуются для обнаружения циклонов. В своем докладе я упоминал, что этот метод было бы желательно использовать на нашем Севере. Если бы на Севере была пеленгаторная станция, которая могла бы регистрировать помехи, то можно было бы обнаруживать (по крайней мере в некоторых случаях) зарождение циклонов в недоступных районах

Арктики. Поэтому пункт в резолюции можно оставить в той форме, как он изложен. Этот метод, если и не в состоянии взять на себя полностью предсказания погоды, то может этим предсказаниям помочь.

В Москве имеется установка для регистрации атмосфериков, которая не действует, а между тем большинство стартов стратостата происходит в Москве. Анализ каждого дня в отношении атмосферных помех и электрического состояния атмосферы дал бы нам некоторые данные для определения условий старта и тех условий, которые наступят часов через 12—14.

**П. Н. Тверской.** Резюмируя прения, следует сказать, что резолюция учитывает в основном все те предложения, которые даны в докладах, и несомненно нуждается в том дополнении, которое было внесено акад. С. И. Вавиловым. Это дополнение можно сформулировать так: „поставить работу по физическому изучению полярных сияний и в частности их спектра, а также спектра ночного неба“.

Относительно предложения т. Кулакова П. Н. Тверской присоединяется к сказанному М. А. Бонч-Бруевичем и полагает, что вносить пункт о важности и необходимости усиления работ специально в этом направлении вряд ли будет целесообразно, поскольку вообще говорится об усилении работ в этом направлении и в частности есть пункт о наблюдении над радиоволнами и наблюдении над радиопомехами (п. 5 резолюции).

---

## **ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ**



Акад. А. Ф. ИОФФЕ

## КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Если все свойства стратосферы представляют проблему, интересующую не только специалистов, но и очень широкие круги, то проблема космических лучей является наиболее загадочной и сейчас, быть может, наиболее актуальной. Изучение космических лучей важно не только потому, что они дают нам представление о свойствах самой стратосферы, но и потому, что эти лучи являются вестником того, что происходит в мировом пространстве.

Наряду со спутниками звезд и туманностями, которые дали так много материала для суждений об астрономических явлениях, этот новый материальный вестник процессов, происходящих в мировом пространстве, явится в ближайшее время, вероятно, самым богатым источником наших сведений о том, что происходит на земле и в земле.

С другой стороны, космические лучи нас особенно интересуют потому, что они по своей мощности далеко превосходят все достижения современной техники.

Мощность процессов мы оцениваем по той энергии, которой обладает элементарный процесс, а мерой энергии мы считаем или частоту колебаний, если речь идет об электромагнитных волнах, или разность потенциалов, которые может пройти заряд при данной энергии.

На земле мы еще недавно были ограничены немногими сотнями тысяч вольт и сейчас переходим в область немногих миллионов вольт, в космических же лучах мы имеем процессы, которые измеряются десятками — сотнями миллиардов вольт.

Наибольшую энергию, определяемую напряжением, которую мы знаем на земле, представляет грозовой разряд, где мы имеем напряжение, достигающее миллиарда вольт, тогда как в космических лучах мы имеем процессы, которые измеряются сотнями миллиардов вольт. В этих двух отношениях космические лучи сейчас, пожалуй, особенно интересны.

Еще совсем недавно космические лучи представлялись излучением, весьма слабо наблюдающимся на земле и обладающим ничтожным энергетическим балансом. Появление их было обнаружено потому, что примерно 1.5 иона на  $1 \text{ см}^2/\text{сек.}$  нельзя было отнести на земные источники, и казалось, что они имеют происхождение в каких-то внеземных источ-

никах. Источник, производящий 1.5 иона в секунду, является ничтожным по энергии, несравнимым с весьма мощными ионизаторами, имеющимися повсюду. Это было интересное, но весьма тонкое и мелкое по масштабу явление. Сейчас, наоборот, имеются данные полагать, на основании подсчетов, — может быть не очень обоснованных количественно, — что космическая радиация пронизывает все мировое пространство с энергией во много раз большей, чем энергия света, который излучают все звезды. Во сколько раз больше — для этого нет пока данных, но возможно, что космические лучи в мировом пространстве представляют главную массу всей энергии, в нем находящейся.

Таким образом, из мелкого побочного явления космические лучи за последнее время сделали по своей энергии и мощности наиболее важной составной частью энергии, заполняющей мировое пространство. По своему значению, как я уже отметил, роль их весьма быстро растет, и очень возможно, что в недалеком будущем они сделаются главным или одним из главных орудий для познания окружающего нас мира.

До недавнего времени полагали, что космические лучи, как таковые, являются только необычайно проникающими лучами. Это верно, конечно, для тех лучей, которые прошли сквозь земную атмосферу и достигли поверхности земли. Эти лучи являются отсеянными лучами, лучами наиболее проникающей радиации. Однако, как нет оснований полагать, что радиация, находящаяся в мировом пространстве и доходящая до границ атмосферы, включает в себе, главным образом, эти проникающие лучи, так же нет оснований думать, что эти проникающие лучи преобладают в радиации: преобладание в ней имеют частицы сравнительно, может быть, очень небольших скоростей.

Отсюда ясно, что исследовать природу космических лучей, изучая их на земле или вблизи земной поверхности, задача весьма неблагоприятная. Мы познаем, таким образом, только небольшую, наиболее проникающую и, пожалуй, наименее интересную часть, тогда как главной частью являются те лучи, которые поглощаются в самых первых слоях атмосферы и которые несут все основные признаки космических лучей.

Поэтому разрешение задачи изучения космических лучей тесно связано с исследованием стратосферы. То, что является наиболее важным и характерным для космических лучей, существует, вероятно, только в стратосфере и только в высших ее слоях. Для изучения космических лучей вряд ли можно будет удовольствоваться высотами полетов, которые достигнуты в настоящее время. Необходимо подумать о методах изучения космических лучей на значительно большей высоте. Очевидно придется прибегнуть к комбинации различных способов, именно к предварительным полетам на достаточную высоту, где воздух разрежен, с тем, чтобы оттуда, при малом сопротивлении воздуха, направлять приборы, достигающие слоев, которые нас особенно интересуют.

Задача изучения и освоения стратосферы распадается сейчас на две: во-первых, освоение и изучение нижних слоев стратосферы, во-вторых, изучение прямыми или косвенными способами процессов, происходящих в гораздо более высоких частях стратосферы.

Чрезвычайно большая проникающая способность космических лучей, казалось, приводила к естественной мысли, что лучи эти, вероятно, являются электромагнитными волнами весьма большой частоты, фотонами, которые представляют собой некоторые сверх-гамма-лучи ( $\gamma$ -лучи — наиболее проникающие лучи в наших условиях). Это предположение сделало большую эпоху в изучении космических лучей.

Это представление о космических лучах предполагало определенный закон поглощения, из которого можно было делать определенные выводы относительно того, что представляют собой эти сверх- $\gamma$ -лучи на границе стратосферы, в свободном мировом пространстве. Это представление дало возможность высказать гипотезу о причинах, которые эти лучи могут создавать. Однако дальнейшие исследования не оправдали этого предположения и выводов, которые на нем были построены. В дальнейшем оказалось, что во всяком случае значительная часть лучей представляет собой не электромагнитные волны, а частицы, подверженные действию земного магнитного поля и, следовательно, представляющие собой положительно заряженные частицы. Но если космические лучи не представляют собой волны, то и закон поглощения совсем не тот, который мы считали возможным приписать сверх-гамма-лучам, а следовательно эти лучи обладают на границе атмосферы другими свойствами.

Следовательно, вся стройная теория, основанная на одном предположении, что лучи эти — фотоны, — рушится, и мы стоим перед совершенно новой задачей.

Кроме того, оказалось, что и самое явление прохождения космических лучей не заключается только в простом акте поглощения, для которого существовали готовые схемы и представления. Здесь были обнаружены совершенно новые явления. Во-первых, на космических лучах, в виду их громадной мощности, впервые были открыты положительные электроны — позитроны; кроме того, было обнаружено, что здесь имеет место процесс испускания громадного числа „ливней“ быстрых частиц.

Явление ионизационных толчков громадной силы, вызываемое в одном небольшом участке прохождения этих лучей, не укладывается в рамки наших прежних представлений.

Таким образом, космические лучи уже сейчас выявили ряд новых явлений, которые имели решающее значение для наших представлений. Сейчас космические лучи — одно из могущественнейших средств исследования природы атомного ядра, и они совершенно изменяют наши представления о нем. В данный момент проблема космических лучей упирается, с одной стороны, в учение об атомном ядре и связанных с ним процессах, с другой стороны — в учение об астрономических объектах: о звездах

и о процессах, в них происходящих. Все эти процессы будут раскрыты, когда удастся вскрыть природу космических лучей.

Мне представляется, что главной проблемой космических лучей является нахождение и изучение тех продуктов, которые входят в земную атмосферу, в самых верхних ее частях, которые носятся по всему мировому пространству и которые попадают в земную атмосферу, хотя и не с очень большими скоростями. Это, очевидно, следы тех процессов распада перестройки и разрушения материи, которые происходят в мировом пространстве.

Главной проблемой космических лучей является познание тех элементов, которые не доходят до земной поверхности, которые сейчас неизвестны и которыми, вероятно, в значительной степени заполнена стратосфера.

Это источник еще совершенно неведомых для нас новых сведений о природе, о материи и в особенности о процессах синтеза и разрушения материи.

В этом смысле познание космических лучей, не только тех, которые доходят, но, главным образом, тех, которые не доходят до нас — космических лучей в верхних слоях стратосферы, — является источником исключительно важных новых сведений, которые мы получим об окружающем нас мире.

Космические лучи являются одной из наиболее увлекательных и многообещающих проблем в современной науке.

---

Л. В. МЫСОВСКИЙ

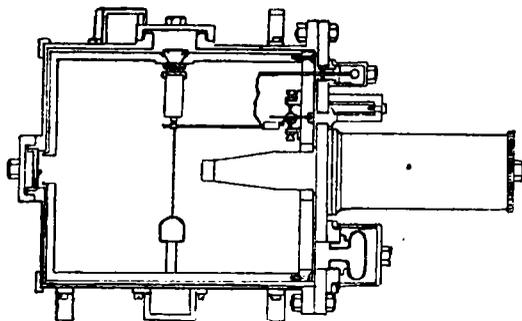
## ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ О КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ В СВЯЗИ С ИССЛЕДОВАНИЕМ НА БОЛЬШИХ ВЫСОТАХ

Изложить с достаточной полнотой в короткий промежуток времени историю постепенного развития наших знаний о космических лучах не представляется возможным. Поэтому для удобства обзора я выделяю только главнейшие этапы, позволяющие выяснить основные свойства космических лучей и сделать некоторые практические выводы относительно методики исследования этих лучей в стратосфере. Так как я совместно с Л. Р. Тувимом принимал значительное участие в разработке ряда проблем по изучению космических лучей, то естественно, что и выводы, делаемые мною, основываются, главным образом, на моем личном опыте по наблюдению различных свойств космической радиации.

### ОТКРЫТИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

К открытию космических лучей привело изучение вопроса о том, как меняется с высотой ионизация в герметически закрытых сосудах. Первоначальные попытки ограничивались наблюдениями на башнях. При всех этих наблюдениях различные авторы получали, как и следовало ожидать, уменьшение ионизации. Содержание эманации радия уменьшается с высотой,  $\gamma$ -лучи радиоактивных элементов, находящихся на поверхности земли, постепенно поглощаются атмосферой, поэтому казалось, что на некоторой высоте не останется ничего, кроме собственного излучения прибора. Однако эти ожидания не оправдались. Первые попытки определить ионизацию в закрытых сосудах во время подъема на воздушных шарах нельзя назвать удачными, так как они были сделаны с недостаточно герметичными и подверженными температурным влияниям приборами. Лишь после того, как электрометр Вульфа был приспособлен для погружений в воду с целью иметь возможность определять собственное излучение этого прибора, удалось Гессу получить более определенные результаты. Имея такой прибор, Гесс совершил с ним несколько полетов на свободном воздушном шаре. Собственное излучение его аппарата было довольно велико (25 ионов  $\text{см}^3/\text{сек.}$ ), поэтому на небольшой высоте его результаты не были особенно точны. Во всяком случае, на высоте от 1000—2000 м ионизация оказалась такой же, как и на поверхности земли. На наиболь-

шей высоте в 5200 м, на которую удалось подняться, была найдена добавочная ионизация, равная уже 20 ионам см<sup>3</sup>/сек. Эти факты и привели Гесса к гипотезе о существовании особого, гораздо более жесткого, чем гамма-лучи, излучения, идущего сверху. Вскоре после Гесса предпринял свои полеты Кольхерстер. Аппарат III Кольхерстера (фиг. 1) был построен настолько удачно, что давал на поверхности земли лишь 7 ионов см<sup>3</sup>/сек. Кольхерстер нашел что ионизация воздуха от проникающей радиации сначала уменьшается, на высоте около 1700 м принимает свою первоначальную величину и затем начинает сильно расти, так что на высоте 9000 м избыток ионизации оказывается равным почти 80 ионам см<sup>3</sup>/сек.



Фиг. 1.

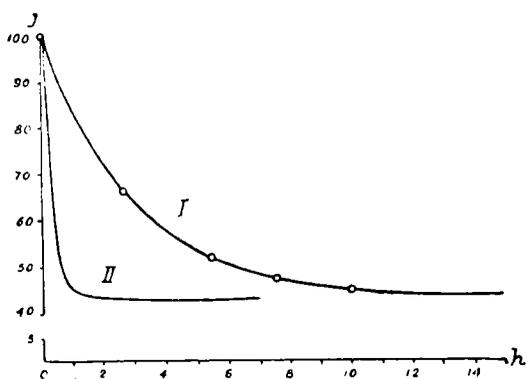
Аппарат Кольхерстера был совершенно герметически закрыт, и давление газа внутри прибора даже на высоте 9000 м не менялось, так как воздух не мог ни выходить из прибора, ни войти в него. Находящийся внутри аппарата воздух был предварительно тщательно просушен и, кроме того, внизу аппарата находился осушитель, поглощавший малейшие следы влажности, и потому не могло иметь места оседание влаги на изоляторах.

Уменьшение и увеличение давления на корпус прибора не передавалось раме, к которой были прикреплены нити. Кроме того, показания прибора не зависели от колебаний температуры. Данные Гесса в общем находятся в хорошем согласовании с данными Кольхерстера. Казалось, что существование космической радиации было твердо установлено. Вскоре после окончания войны изучением космических лучей занялся Миллекен со своими учениками. Были совершены полеты на аэростатах, аэропланах до высоты 5300 м с прибором, подобным прибору Кольхерстера III. Кроме того, пускались шары-зонды, снабженные регистрирующими приспособлениями и достигавшие высоты в 15 км. Результаты этих работ в общем подтвердили существование космической радиации, но интенсивность ее на высоте больше чем 10 км, по данным шаров-зондов, оказалось вчетверо меньше той, которую можно было ожидать на основании экстраполяции данных Кольхерстера. Все же и эти результаты можно считать подтверждением существования космической радиации. Таким образом, значение полетов на свободных аэростатах, снабженных специальной аппаратурой для изучения космических лучей, видно уже из того обстоятельства, что самое открытие космических лучей и первые точные данные об интенсивности космических лучей были получены во время подъема на аэростатах.

## ПОГЛОЩЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Теперь перейдем к поворотному пункту изучения космических лучей, имевшему место в 1923 г. Летом этого года Милликен и Отис, измеряя на вершине пика Пайк (4300 м) коэффициент поглощения космических лучей в свинце, пришли к заключению, что жесткость их такая же, как и обычных гамма-лучей и что они, следовательно, обязаны своим происхождением присутствию радиоактивных элементов в верхних слоях атмосферы. Можно было думать, что гипотезе о существовании особой космической радиации был нанесен непоправимый удар. Однако в конце

июля 1925 г. Мысовский и Тувим на Онежском озере около Петрозаводска, а Милликен и Камерон в конце августа на оз. Мюр на высоте 3.5 км произвели определение коэффициента поглощения космических лучей в воде, причем Мысовский и Тувим опускали прибор на глубину до 10 м (см. фиг. 2), а Милликен и Камерон до 18 м. Результаты обоих измерений вновь показали, что коэффициент поглощения проникающей радиации, кривая I,



Фиг. 2.

в десять раз меньше, чем коэффициент у гамма-лучей — кривая II, и с этого времени существование космической радиации почти не подвергалось сомнению, хотя еще в продолжении трех лет опыты с поглощением космических лучей в свинце продолжали давать на первый взгляд странные и необъяснимые результаты. Лишь в самое последнее время удалось выяснить окончательно явления, связанные с поглощением космических лучей в свинце и примирить накопившиеся в течение последних лет при изучении этого вопроса противоречия.

В виду большой проникающей способности космических лучей приходится брать для экранирования их столь большие массы материала, что получение их и обращение с ними представляет уже значительные трудности.

Опыты по поглощению космической радиации показывают, что, принимая во внимание размеры экранов на стратостате или на шаре-зонде, можно изучать лишь поглощение наиболее мягкой составляющей этой радиации. Для уменьшения размеров экранов лучше пользоваться не электроскопом, а ионизационной камерой, наполненной газом под давлением в несколько атмосфер. Вместо небольшой камеры можно воспользоваться небольшим счетчиком Гейгера-Мюллера.

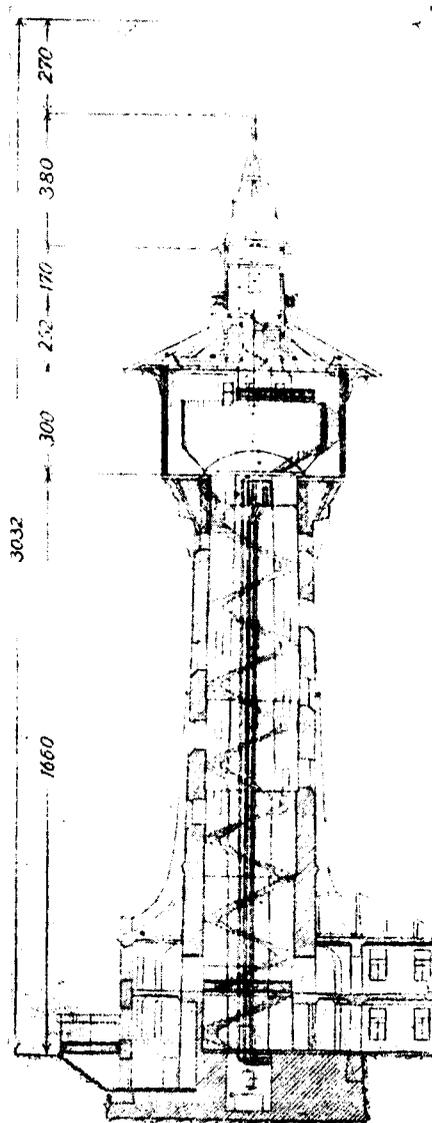
## ОПЫТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ НАПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В самых первых работах по изучению космической радиации исследователям приходилось делать предположения о направлении космических лучей. Работы Гесса и Кольхерстера показали, что с высотой интенсивность ионизации, вызванная космическими лучами, возрастает, и при этом естественно пришли к заключению о том, что космическое излучение приходит к нам из мирового пространства. Для вычисления коэффициента поглощения Кольхерстер предположил, что после частичного поглощения в атмосфере космические лучи идут уже почти параллельным пучком. На основании этого предположения Кольхерстер считал возможным пользоваться простой показательной формулой  $I = I_0 e^{-\mu x}$  для вычисления коэффициента поглощения. Бюттнер не только вычислял коэффициент поглощения по  $e^{-\mu x}$ , но предлагал, с целью определить местонахождение центров испускания космических лучей, направлять подобно телескопу на отдельные участки неба сплошную свинцовую трубу. Конечно никто не думал, что космические лучи идут параллельным пучком по вертикали, но за недостатком количественных опытных данных считали, что косыми лучами, проходящими большой путь в атмосфере, можно пренебречь. С целью выяснить действие одного лишь строго параллельного пучка космических лучей Мысовский и Тувим поставили в Сосновке следующий специальный опыт. Жестяная труба диаметром 25 см и высотой 3.12 м была установлена вдоль лестницы по отвесу в деревянном сарае. В трубу наливалась вода на различную высоту до 3.12 м включительно, таким образом параллельный пучок должен был проходить толщу воды 3.12 м. Затем вода выпускалась из трубы при помощи крана. Прибор в обоих случаях помещался непосредственно под трубой. Отсчеты аппарата Кольхерстера дали в обоих случаях в течение двух дней, как с водой, так и без воды, одни и те же значения для интенсивности проникающего излучения. На основании этого элементарного опыта пришлось предположить, что косые лучи играют гораздо большую роль, чем это принято думать. Для проверки этого предположения и для более детального изучения влияния косых лучей на наблюдаемую интенсивность космического излучения и на величину коэффициента поглощения были произведены Мысовским и Тувимом опыты на водонапорной башне Политехнического института (фиг. 3).

Все прежние попытки определить, хотя бы приблизительно, направление космических лучей имели тот существенный недостаток, что не было исключено гамма-излучение окружающих измерительный прибор предметов. Поэтому нужно было выработать метод, который позволил бы при измерениях в водонапорной башне исключить влияние окружающей обстановки. Водонапорная башня оказалась очень подходящей для решения поставленной задачи. Устройство ее видно из прилагаемых рисунков. Большой железный бак (фиг. 4) из листового железа, толщиной от 4—5 мм, лежит

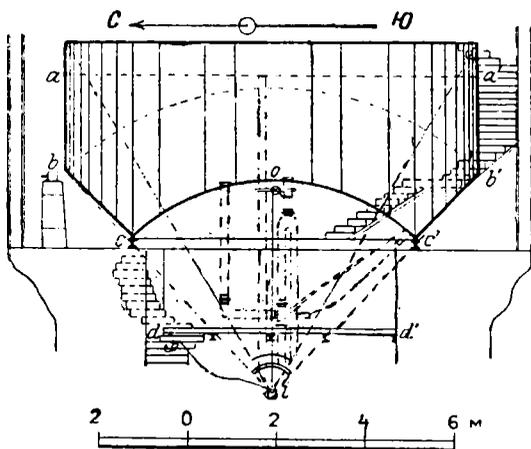
на высоте 35 м над поверхностью земли, опираясь своими краями на каменные стены башни. Цилиндрическая часть бака имеет высоту 2.74 м, а диаметр ее равен 9.12 м. Все части башни, которые находятся выше только что упомянутого бака, построены из дерева или из железа. Исключение составляет только небольшое кирпичное возвышение, находящееся на той же стене, на которой лежит бак. Винтовая лестница, ведущая через пролет башни к баку, настолько узка, что оставляет внутреннюю часть башни почти совершенно свободной. Благодаря этому обстоятельству аппарат Кольхерстера мог через проделанное в деревянном полу центральное отверстие опускаться на веревке, перекинутой через блок, на любую глубину внутрь башни. Кроме того, устройство башни позволяло поместить прибор Кольхерстера на небольшом столике в различных местах сбоку железного бака (см. например *b* на фиг. 4). Над баком находился небольшой железный мостик (фиг. 3), на котором также можно было производить измерения с прибором Кольхерстера. Для того, чтобы получить уверенность в независимости интенсивности космического излучения от азимута, был произведен специальный опыт на той же башне Политехнического института. Прибор помещался сбоку бака (см. напр. на фиг. 4), наполненного водой, а затем опорожненного по направлению на N, S, W и E. Во всех этих направлениях поглощение, а следовательно и интенсивность оказались одни и те же. Устройство водонапорной башни Политехнического института

позволило произвести более точное исследование распределения интенсивности космического излучения по углам с вертикалью. Прибор Кольхерстера подвешивался на блоке (фиг. 4) и опускался внутри башни на различные расстояния от бака. Беря разность отсчетов между показа-



Фиг. 3.

ниями прибора при баке, наполненном водой, и баке без воды, удалось выяснить экранирующее действие слоя воды для ряда телесных углов. Данные опыта представлены на кривой I (фиг. 5), на которой по оси абсцисс отложены углы, составленные образующими телесного угла с вертикалью, а по оси ординат значения, пропорциональные интенсивностям космического излучения, заключенным в конусе соответствующего телесного угла; самые конусы изображены на фиг. 4. Хотя ординаты точек дают, собственно говоря, только поглощение 2.5 м воды для каждого конуса лучей, но так как поглотитель для всех конусов один и тот же, а количество поглощенной энергии всегда про-

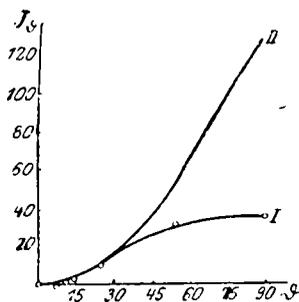


Фиг. 4.

порционально интенсивности, то кривую I можно рассматривать как выражающую, при соответственно выбранном масштабе, зависимость самой интенсивности от величины телесного вертикального угла.

После Мысовского и Тувима вопросом о направлении космических лучей занялся Штейнке. На основании своих опытов Штейнке пришел к коэффициенту поглощения приблизительно той же величины, как и найденной Мысовским и Тувимом, и считает, что его опыты являются подтверждением их результатов. В 1931 г. Медикус произвел исследование распределения интенсивности по направлениям при помощи счетчиков Гейгера-Мюллера, соединенных с катодным осциллографом. Медикус полностью подтвердил результаты, найденные Мысовским и Тувимом по отношению к распределению интенсивности по углам с вертикалью. Точно так же подтвердилось равномерное распределение интенсивности по азимуту в наших широтах. Оказалось, что лишь в экваториальной зоне должна и действительно наблюдается асимметрия, вызванная магнитным полем земли (Клей, Комптон).

Для изучения интенсивности космических лучей в различных направлениях необходимо снабдить стратостаты и шары-зонды направляющей вертикальной плоскостью и таким образом уничтожить вращение gondoly.

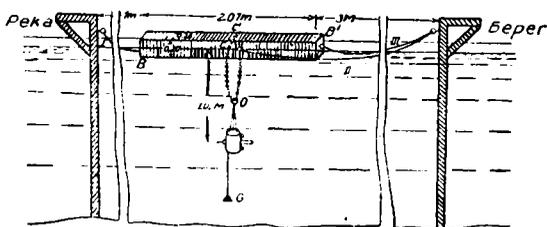


Фиг. 5.

## КОЛЕБАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Так как давление атмосферы постоянно меняется, то нужно ожидать, что и интенсивность космического излучения, наблюдаемая на определенной высоте над уровнем моря, должна, хотя и в слабой степени, зависеть от барометрического давления.

Впервые наблюдения величины колебаний интенсивности космического излучения в зависимости от колебаний атмосферного давления производились Мысовским и Тувимом. Для того, чтобы радиоактивность окружающих предметов не влияла на показания прибора Кольхерстера III, он был погружен ими в воду на глубину 1 м. Наблюдения производились в Ленинграде в школе плавания на Крестовском острове. Расположение приборов показано на фиг. 6. Электрометр подвешивался на цепи к небольшому прямоугольному деревянному бруску, плавающему по середине барки, погруженной почти до бортов в воду. Деревянный брусок служил для поддержки измерительного прибора на строго определенной глубине.



Фиг. 6.



Фиг. 7.

К концам бруска были привинчены кольца, за которые он привязывался к бортам барки. Для сохранения вертикального положения прибора к нему подвешивается груз G. Соотношения размеров отдельных частей показаны на фиг. 6. Хотя при таком расположении опыта часть космического излучения терялась, поглощаясь 1 метром воды, прежде чем дойти до измерительного прибора, но зато самый прибор был защищен от действия обычных гамма-лучей и работал более точно. Результаты опытов даны на фиг. 7. По оси абсцисс отложены средние значения давления, по оси ординат — соответствующие значения интенсивности. Некоторые точки упали почти на одно и то же место, но они могут служить доказательством точности измерений, так как они были получены в различные дни. Если принять во внимание незначительную величину колебаний интенсивности и трудности опыта, то нужно считать, что проведенная прямая в общем достаточно близко подходит к точкам. Результаты, полученные Мысовским и Тувимом, были подтверждены спустя некоторое время Штейнке. Штейнке нашел, что повышение давления всюду сопровождалось

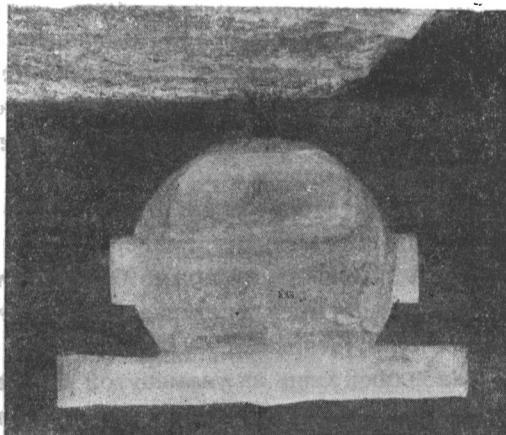
уменьшением интенсивности. С вопросом о колебаниях интенсивности космической радиации под влиянием изменения атмосферного давления тесно связан вопрос о суточном ходе интенсивности космических лучей. Кольхерстер, работая со своими приборами на Юнгфрау в 1923 г., нашел, что интенсивность космического излучения в небольшой степени периодически меняется, причем период времени оказывается равным звездным суткам. Сообщение Кольхерстера о результатах этих работ встречено было с большим интересом и вызвало оживленный обмен мнений в научной литературе. Для того, чтобы убедиться, что наблюдаемые им колебания вызываются космическими лучами, а не радиоактивными излучениями из почвы или атмосферы, Кольхерстер повторял свои опыты под слоем льда в 2.5 и 4.5 м толщиной, причем колебания и при таком экранировании все еще могли быть замечены. Лишь при толщине в 10 м нельзя было доказать их присутствие. В дальнейших работах Кольхерстер подтвердил и уточнил результаты. Он произвел ряд наблюдений в районе Юнгфрау на высоте от 2900 до 4100 м. Кроме того, им были произведены специальные наблюдения в ледяной воронке и штольнях электрической дороги на Юнгфрау. При этих наблюдениях оставалась открытой только часть небесной сферы, и колебания интенсивности должны были быть выражены более резко. Кольхерстер нашел, в результате своих наблюдений, что максимальная амплитуда колебаний равна — 15%. Эта величина была получена им путем субъективных измерений с пятью приборами его конструкции на высотах от 40 до 4100 м. Максимумы и минимумы в кривой суточного хода интенсивности наступают, по данным Кольхерстера, всегда в одно и то же звездное время. Если попытаться начертить кривые суточного хода, пользуясь солнечным временем, то кривые перестают совпадать. В своей работе о зависимости интенсивности космического излучения от давления атмосферы Мысовский и Тувим указывают, что при наблюдениях таких малых величин, как амплитуды суточных колебаний необходимо вводить поправку на барометрическое давление. Из всех дальнейших и многочисленных опытов, произведенных различными наблюдателями, оказалось, что при условии введения этой поправки никакого суточного хода заметить нельзя. При этом были открыты лишь весьма малые аperiodические колебания, природу которых еще не удалось окончательно выяснить до настоящего времени.

#### ПЕРЕХОДНЫЙ СЛОЙ

Хотя уже несколько раз говорилось о поглощении космических лучей свинцом, вопрос о сопровождающих это поглощение обстоятельствах остался невыясненным. Теперь мы несколько восполним этот пробел, изложив работу Мысовского и Тувима о поглощении в свинце. Для того, чтобы было удобнее выровнить поглощение космических лучей в свинце с поглощением этих же лучей в воде, Мысовский и Тувим, производя измерения со своим прибором Кольхерстер III, стремились

создать в свинце условия, подобные тем, которые имеют место при аналогичных опытах с водой. Установка, использованная ими для этой цели, изображена на фиг. 8

В парке Политехнического института в Ленинграде был построен ледяной монолит. Размеры монолита были  $200 \times 202 \times 203$  см<sup>3</sup>. Лед для постройки брался из близлежащего озера. После обработки отдельные глыбы льда были уложены в деревянную обшивку и постепенно залиты водой, которая, замерзнув, спаивала глыбы между собой. Для помещения прибора в монолите был вырублен ход 130 см длиной и 58 см диаметром. Вначале были произведены измерения со свинцом, положенным сверху монолита, а затем свинец был помещен в щель. Оказалось, что свинец сильнее поглощает космические лучи в том случае когда он находится в щели. Можно было бы предположить, что здесь мы имеем дело с неоднородностью космического излучения, причем мягкая со-



Фиг. 8.

ставляющая сильнее поглощается свинцом. Однако в этом случае должно было быть безразлично, находится ли свинец на льду или внутри льда. Между тем мы видим, что последний имеет такую же величину, как в случае свинца без льда и, следовательно, почти в два раза больше, чем коэффициент, полученный при нахождении свинца на льду. Отсюда мы можем заключить что в действительности мы имеем дело со вторичными лучами, которые, при переходе из одной среды в другую, сильнее поглощаются свинцом и вызывают наблюдаемое явление. Из всего вышесказанного вытекает, что для каждой установки, рассчитанной для изучения поглощения космических лучей на больших высотах, должен быть экспериментально определен эффект переходного слоя, наблюдаемый на уровне моря.

#### ОТДЕЛЬНЫЕ ИМПУЛЬСЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Отдельные ионизирующие частицы можно наблюдать или при помощи камеры Вильсона или же посредством счетчиков Гейгера-Мюллера. Впервые отдельные электроны, обязанные своим происхождением космическим лучам, удалось наблюдать Скобельцыну в камере Вильсона с магнитным полем. Оценивая их энергию, Скобельцын пришел к заключению, что она должна быть больше  $10^7$  э. в. Отдельные импульсы космических

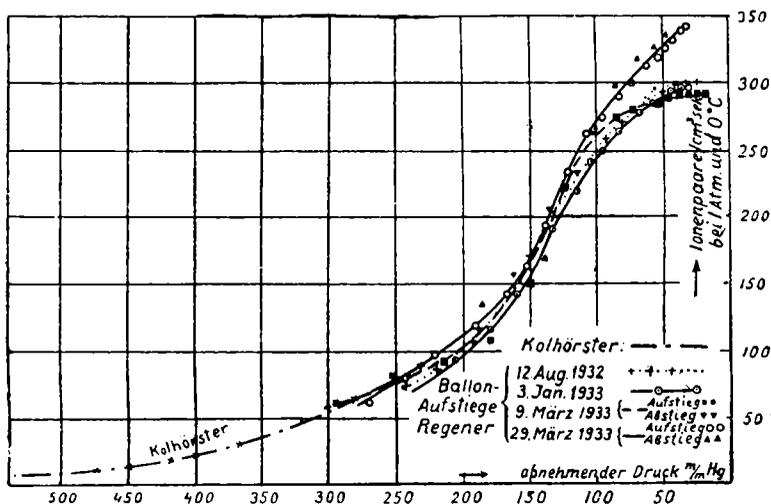
лучей ионизационным методом удалось наблюдать впервые Гейгеру при помощи предложенного им цилиндрического счетчика. Внутри цилиндрической трубки Гейгер поместил металлическую проволоку. При соответствующем разрежении и потенциале эта камера дала результаты, которые, как пишет сам Гейгер, оказались „поразительными“. Такой счетчик нельзя держать незащищенным в комнате, так как радиоактивность стен оказывает на него слишком сильное влияние, и отклонения связанного с ним электрометра оказываются слишком частыми. Гейгер применил свой новый счетчик между прочим и к изучению поглощения космических лучей. Однако еще более интересным является установка Боте и Кольхерстера. Воспользовавшись не одним, а двумя счетчиками Гейгера нового типа, Боте и Кольхерстер наблюдали только совпадения отсчетов. Между счетчиками вставлялся поглощающий экран, и таким образом могло быть определено поглощение наблюдаемых лучей. В качестве экрана брался брусок золота, толщиной в 4.1 см. Метод наблюдения совпадения в счетчиках Гейгера-Мюллера оказался чрезвычайно плодотворным. Совпадения можно было наблюдать не только в двух, но в трех и даже в четырех счетчиках одновременно. Подробнее говорить о работах со счетчиками будет в своем докладе С. Н. Вернов. Я здесь останавлиюсь лишь на упомянутой уже работе Медикуса, который наблюдал совпадения двух счетчиков, пользуясь катодным осциллографом.

Я полагаю, основываясь на результатах Медикуса, что, при работе со счетчиком методом совпадений на шаре-зонде и на стратостате, в некоторых случаях весьма удобно заменить усилительные схемы катодным осциллографом.

Еще более плодотворным для изучения космических лучей оказалось применение камеры Вильсона с магнитным полем. Милликен и Андерсон в 1932 г., пользуясь камерой Вильсона с полем в 18000 гаусс, нашли частицы с энергией от  $2 \cdot 10^7$  э. в. до  $5 \cdot 10^8$  э. в. Встречались и следы, принадлежащие частицам с энергией в  $10^9$ . Кунце в таком же магнитном поле наблюдал частицы с энергиями в  $2.7 \cdot 10^9$ — $9.2 \cdot 10^9$  э. в. Блэккет и Оккиалини наблюдали в камере Вильсона со сравнительно слабым магнитным полем (около  $2 \cdot 10^3$  гаусс) появление ливней из частиц, и при этом с несомненностью установили присутствие в этих ливнях положительных электронов или, как их еще называют, позитронов. Не останавливаясь подробнее на работах с камерой Вильсона, упомяну еще, что Мысовский и Эйгенсон, применяя непрерывно работающую камеру Вильсона (2—3 расширения в секунду), получили возможность на площади диаметром 25 см (диаметр большой камеры Вильсона) наблюдать процесс ионизации от космических лучей. На основании их опытов можно заключить, что изучение природы отдельных толчков ионизации от космических лучей может быть произведено на стратостате при помощи небольшой камеры Вильсона, работающей непрерывно и приводимой в действие рукой.

## СТРАТОСТАТЫ И ШАРЫ-ЗОНДЫ

Данные, полученные на стратостатах и в особенности на шарах-зондах, снабженных самозаписывающими приборами (Регенер), дополнили результаты измерений интенсивности космических лучей, произведенных глубоко под водой (Регенер 230 м), на поверхности земли и на небольших высотах и позволили начертить кривую интенсивности, приведенную на



Фиг. 9.

фиг. 9. Значение исследования космических лучей в стратосфере видно из того, что эта кривая дала возможность выделить отдельные компоненты космических лучей и определить их полную энергию. Оказалось, что энергия их в мировом пространстве (до поглощения в атмосфере) равна  $3.5 \cdot 10^{-8}$  эрг/см/сек.<sup>-1</sup>, что соответствует приблизительно 300  $\alpha$ -частицам, падающим в 1 сек. на 1 см<sup>2</sup>. Таким образом, мощность пучка космических лучей, падающего на весь земной шар, составляет около  $2\frac{1}{2}$  млн. л. с.



Д. В. СКОБЕЛЬЦЫН

## СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ВОПРОСА О КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

За последние годы, и в особенности последний — 1933 г., исследование космических лучей привело к открытиям исключительного значения, которым суждено, конечно, сыграть в дальнейшем крупную роль в развитии физики вообще и ядерной физики в частности.

Исследования эти вскрыли новые факты, которые проливают совершенно новый свет на явления проникающей радиации и заставляют в корне пересмотреть те представления о механизме этих явлений, которые долгое время казались совершенно естественными и не вызывающими сомнений. Картина явлений „космической радиации“, которую мы сейчас, основываясь на данных новейших исследований, можем построить, еще года два-три тому назад показалась бы совершенно фантастичной.

Если, однако, достижения новейшей техники эксперимента и привели к очень значительным сдвигам в состоянии наших знаний о космических лучах, то можно ли сказать, что в результате мы существенно приблизились к решению основной задачи — разгадки природы космического излучения, ответу на вопрос — что же собственно космические лучи собой представляют?

Если таким образом определить конечную цель, к которой направлены все исследования этой области явлений, то придется сказать, что результаты новейших успехов, обогатившие наши знания новыми фактами исключительного значения, отнюдь не приблизили нас к этой цели. Напротив, вопрос в сильной степени запутался и осложнился, и вероятность того, что в ближайшее время можно будет прийти к какому то простому решению, едва ли велика.

Скорее следует, быть может, даже сказать, что и самая возможность такого простого решения представляется в данный момент исключенной.

До самого последнего времени казалось несомненным, что космические лучи можно трактовать по аналогии с обычными радиоактивными излучениями, что различие здесь только в масштабах, и самый вопрос сводился к выбору между двумя возможностями — первичное космическое излучение есть „ультра- $\gamma$ “ или „ультра- $\beta$ “ — электромагнитное или материальное излучение.

Что выбор между этими двумя гипотезами представляет не простую задачу, выяснилось 5 лет тому назад после известной работы Боте и Кольхерстера, и тогда же авторами этой работы было предложено ввести новый, в сущности лишенный определенного смысла, термин — „ультра-излучение“.

Невозможность подходить к явлениям этого „ультра-излучения“ с обычными представлениями, заимствованными из области радиоактивности, выяснилась сейчас в полной мере, и это обстоятельство приводит к весьма серьезным трудностям, на которых мне и придется остановиться в моем докладе.

В основном эти затруднения сводятся к следующему.

Целый ряд фактов и соображений, которые приведены в моем докладе „I Всесоюзной ядерной конференции“ и на которых я сейчас останавливаться не буду, показывают, что во всяком случае большая часть наблюдаемого нами у поверхности земли ионизирующего излучения — вторичного происхождения, представляя собой продукт каких-то сложных процессов, происходящих в вышележащих слоях атмосферы и сопровождающих проникновение через эти слои первичной космической радиации.

Состав и спектр этих ионизирующих „ультра- $\beta$ -лучей“ в настоящее время, в основном, известен благодаря работам Anderson'a и Kunze. Достоверно известно, что в значительном большинстве это отрицательные и положительные электроны со средней энергией порядка  $10^8$ — $10^9$  э. в.

Измерение энергии вторичных ультра-частиц, ставшее возможным благодаря применению исключительных технических средств, представляет большое завоевание и существенный этап на пути разрешения всего сложного комплекса вопросов проникающего излучения; дальше, однако, возникает вопрос о механизме того процесса, в результате которого эти частицы возникают. Сделать какие-либо заключения о природе и составе первичных лучей, основываясь на данных и вторичном излучении, можно лишь постольку, поскольку этот механизм — механизм поглощения первичной радиации — известен.

Приходится, однако, признать, что в этом отношении физики в данный момент безоружны. Те факты, которые удалось сейчас наблюдать, показывают лишь исключительное своеобразие и сложность явлений, связанных с этим механизмом, приблизиться же сколько-нибудь к пониманию существа этих явлений, на данном этапе, на базе имеющихся сейчас теоретических представлений, не представляется возможным.

Наибольший интерес, с точки зрения затронутых проблем, связывается с явлением так наз. „ливней“, открытым примерно год тому назад Blackett'ом и Occhialini. Применяя новый метод наблюдений, основанный на чрезвычайно удачном и остроумном соединении камеры Вильсона и счетчиков Гейгер-Мюллера, эти экспериментаторы смогли обнаружить появление своеобразных „роев“ или ливней ультра-частиц. Вильсоновские снимки, ими полученные, показывают иногда присутствие до 24 одно-

временных путей. Часто наблюдаются группы путей, расходящихся, приблизительно, из одного центра. Само собой напрашивается представление о „взрыве“ атома, атомного ядра, вызванного действием на него „ультра-лучей“ и сопровождающегося разбрасыванием частиц высокой энергии. При ближайшем рассмотрении, однако, оказывается, что в большинстве случаев весь этот сложный пучок не может быть сведен к отдельному „снопу“ путей, расходящихся из одной точки, часто нельзя установить существование общего центра, в котором сходились бы все пути частиц, составляющих рой. Напротив того, часто в составе роя вообще нет сходящихся „конпланарных путей“.

Эти особенности ясно показывают, что рой получается не в результате какого-то отдельного „элементарного акта“, а что налицо весьма сложный эффект, являющийся результатом сложения ряда взрывных процессов. Это обстоятельство существенно осложняет изучение явления, природа которого остается загадочной.

Большое значение имеет, конечно, тот установленный уже первыми наблюдениями факт, что в составе роев имеются в большом числе позитроны. Согласно Blackett'у и Occhialini рои состоят наполовину из позитронов и наполовину из обычных отрицательных электронов. Как известно, окончательное признание положительные электроны и получили после их выявления в составе Блеккетовских ливней.

Известно также, что сразу же после обнаружения позитронов в составе роев нескольким экспериментаторам удалось доказать, что и обычные  $\gamma$ -лучи достаточной жесткости могут возбуждать испускание позитронов. С другой стороны, толкование природы позитрона в духе представлений Дирака о состояниях отрицательной энергии и его так наз. „дырочной“ теории открывало возможность рассматривать это последнее явление как фото-электрический эффект с уровнем отрицательной энергии и этим путем применить к нему формализм квантовой электродинамики. А именно, согласно теории Дирака, вырывание электрона из сплошного распределения по уровням отрицательной энергии, освобождение отдельной ячейки фазового пространства, заполненного „ненаблюдаемыми“ электронами отрицательной энергии, равносильно созданию — рождению двух новых „наблюдаемых“ частиц — положительного и отрицательного электрона. Появление таких „пар близнецов“ за счет фото-эффекта  $\gamma$ -лучей и было обнаружено многими наблюдателями, причем удалось установить, что баланс энергии, требуемый теорией, действительно соблюдается. С открытием этого нового фото-электрического эффекта  $\gamma$ -лучей можно связать известные надежды и в смысле возможности получения в дальнейшем некоторых данных, которые помогут ближе подойти и к механизму поглощения „ультра радиации“, в частности к разгадке природы „ливней“.

Можно было также рассчитывать и на помощь теории. Первые шаги в этом направлении, действительно, казались обнадеживающими. А именно,

основанные на указанном выше представлении, грубые, ориентировочные вычисления аномального фото-эффекта  $\gamma$ -лучей, опубликованные Orreheimer и Plesset, дали, в общем, очень удовлетворительный результат — а именно правильную оценку порядка интенсивности, правильную зависимость от атомного номера и т. д. Представляется, однако, сомнительным, чтобы теория, в ее современном состоянии, смогла с трактовкой этих новых явлений справиться. Скорее здесь на лицо эффекты, которые выходят за пределы применимости современной квантовой теории. Что дело обстоит именно так, показывает тот факт, что сейчас уже подмечены и другие явления, связанные с возникновением позитронов, которые, насколько можно судить, „дырочной“ теорией Дирака объяснены быть не могут. Так, например, опытами, проведенными в Физико-техническом институте Е. Г. Степановой, установлено, что не только фотоны, но и  $\beta$ -частицы и притом сравнительно не очень высокой энергии, именно обычные  $\beta$ -частицы RaC, могут вырывать позитроны. Аналогичные результаты получены также в другой лаборатории того же Института А. И. Алихановым, применявшим совершенно иной метод наблюдений. Обратное тому, что характерно для фото-эффекта, „выход“ позитронов в средах низкого атомного номера получается, видимо, бóльший, чем в тяжелых. Замечательно, что „эффективное сечение“ на атом оказывается примерно в сто раз большим, чем при действии фотонов жестокой  $\gamma$ -радиации, с длиной волны 4.7 х. е., которую дает ThC". Этот факт совершенно расходится с предсказаниями теории. По данным вычислений Carlson и Furry, для рассматриваемых скоростей эффект должен был бы быть мал в сравнении с фото-эффектом  $\gamma$ -лучей равной энергии. Налицо резко выраженное „аномальное“ поглощение  $\beta$ -лучей, которое в дальнейшем будет, конечно, играть существенную роль наряду с аномальным поглощением  $\gamma$ -лучей.

Какие-либо определенные суждения о механизме „ливней“ едва ли возможны, прежде чем только что рассмотренные явления будут изучены.

Положение, следовательно, таково, что имеющаяся теоретическая база представляется недостаточной, даже и в области сравнительно умеренных частот и скоростей, да и самые явления, относящиеся к этой области обычных радиоактивных излучений, оказываются еще недостаточно исследованными. Эти новые обстоятельства, выяснившиеся за год, истекший после открытия Блеккета, и в результате этого открытия, показывают, что предстоит еще большая работа, прежде чем удастся найти путь к пониманию механизма явлений космической радиации.

Возвращаясь к явлению ливней, нужно упомянуть о выявившихся за этот год результатах ряда исследований методом счетчиков Гейгер-Мюллера. Эти наблюдения также говорят о крайней сложности явления. Для наблюдения ливней по методу „совпадений“ применяют расположенные счетчиков треугольником (параллельные оси счетчиков в вершинах треугольника), предполагая, что каждое совпадение разрядов в трех счетчиках, в этих условиях, вызывается прохождением „ливня“.

Главнейшие результаты нескольких работ, выполненных указанным методом, относятся к установлению зависимости числа ливней, наблюдаемых вблизи поверхности поглощающего экрана, ниже его, от толщины этого экрана. Можно было бы ожидать, что кривая, представляющая эту зависимость, имеет характер кривой насыщения, т. е. что число ливней, образующихся в толще фильтра, сначала, с увеличением толщины пластины, возрастает, затем же, при достижении толщины порядка пробега частиц, составляющих ливень, приближается к некоторому предельному значению, отвечающему равновесному состоянию, и затем убывает лишь очень медленно соответственно поглощению того первичного излучения, которым эти ливни вызываются. На самом деле кривая имеет иной характер, именно: после подъема в пределах некоторого начального участка и прохождения через максимум спадание несравненно более быстрое, чем можно было бы ожидать соответственно известному коэффициенту поглощения первичных лучей. Эта особенность естественно приводит к предположению, что „ливни“ представляют собой третичный эффект и вызываются не первичной космической радиацией, а некоторой вторичной компонентой. Такое допущение действительно достаточно для объяснения основного характера описанной выше зависимости. Приходится только еще, в согласии с данными непосредственных наблюдений, предположить, что действие „активной“ компоненты на различные среды неодинаково и что число возбуждаемых ею ливней в средах высших атомных номеров больше, чем в средах низкого атомного веса. Отсюда дальше уже вытекает, что, обратно, количество „активных“ лучей в равновесном состоянии тем больше, чем ниже атомный номер среды, что и позволяет объяснить тот сложный „переходный эффект“, о котором выше была речь. Это намеченное схематически объяснение, предложенное Rossi, может быть сформулировано количественно и, как, например, показывает сделанная в Цюрихе (повидимому под руководством теоретика Pauli) работа Bahba, дает, при разумном использовании произвольных констант, удовлетворительное согласие с наблюдениями Rossi.

Спадающая часть кривой (для перехода, напр., из свинца в воздух) может быть представлена следующим уравнением:

$$C_1 + C_2 (I_s^{L_f} - I_s^{P_b}) e^{-b_{P_e} x},$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — положительные константы;  $I_s^{L_f}$  и  $I_s^{P_b}$  интенсивности активной компоненты в равновесном состоянии для воздуха и для свинца;  $b_{P_e}$  — коэффициент поглощения вторичных эффективных лучей в свинце.

При этом делается допущение, что поглощение вторичной компоненты, ответственной за это явление, идет целиком за счет образования ливней.

Представление о механизме поглощения ультра-радиации, положенное в основу этого объяснения, следовательно, таково. Первичная частица, ионизирующая или нет, в некотором месте своего пути вырывает (теряя при

этом всю или большую часть своей энергии) вторичную частицу, которая также может быть ионизирующей или нет, заряженной или нейтральной, и эта последняя, в конце своего пути вызывает ливень, затрачивая на образование его тоже всю свою энергию. Средняя длина „свободного пробега“ вторичной частицы должна быть мала в сравнении со средним путем первичной.

Следует подчеркнуть следующее. Поглощение вторичной компоненты, как этого требует рассмотренная выше теория, будет при таком механизме определяться экспоненциальным законом независимо от того — ионизирующая ли это частица или нет, есть ли это фотон или электрон. С другой стороны, при обычном „тормозном“ поглощении, т. е. в том случае, если энергия расходуется постепенно небольшими порциями на ионизацию и возбуждение атомов поглощающей среды, нужно ожидать, что поглощение определяется пробегом и что закон поглощения не имеет ничего общего с экспоненциальной кривой.

Имеются и другие данные для того, чтобы полагать, что поглощение ионизирующих „ультра-частиц“ следует экспоненциальному закону и что, следовательно, механизм поглощения не соответствует обычным представлениям о торможении ионизирующих лучей высокой энергии, а что налицо, пользуясь терминологией Rossi, „квантовое“ поглощение, подобное фотоэлектрическому поглощению рентгеновых лучей. Рассмотренный только что механизм действительно может объяснить эту особенность.

Это обстоятельство имеет большое значение при истолковании результатов анализа кривой поглощения первичного космического излучения. Известно, что эта кривая поддается разложению на небольшое число экспоненциальных составляющих. Если бы свойства „ультра-излучения“ отвечали обычным представлениям, этот факт можно было бы рассматривать как серьезный аргумент в пользу признания электромагнитной природы первичного излучения.

В самом деле, два типа поглощения, о которых идет речь, резко различны. Один из них характерен для явлений света, другой, казалось бы, должен характеризовать поглощение корпускулярных лучей высокой энергии. На самом деле, повидимому, в предельном случае лучей очень высокой энергии это различие сглаживается, различие между корпускулярными, ионизирующими лучами и электромагнитным излучением становится затруднительным. Быть может это замечание справедливо и не только в отношении рассматриваемого внешнего признака, быть может оно приложимо в отношении также и многих других проявлений „ультра-высоко-частотного излучения“ и, может быть, здесь именно кроется причина того парадоксального положения вещей, что после свыше чем 20-летнего излучения космических лучей физики не могут дать определенного ответа на вопрос о том, корпускулярное ли это излучение, или волновое, электромагнитное.

За год, истекший после опубликования работы Блэкетта, изучение „ливней“ в сущности мало продвинулось вперед. Значительный интерес (кроме уже цитированных исследований) представляет работа Locher'a, воспользовавшегося методом Блэкетта, но видоизменившего экспериментальное расположение так, чтобы выделять линии более сложного состава. Вместо двух счетчиков Гейгер-Мюллера были взяты три, которые располагались вблизи камеры Вильсона треугольником. В непосредственном соседстве с камерой находились также большие массы металла — свинца, меди и др. Камера, наполненная аргоном, приводилась в действие тогда, когда ливень вызывал одновременный разряд всех трех счетчиков, что имело место приблизительно один раз в час.

Locher'у удалось наблюдать обычные группы „ультра-частиц“, но наряду с ними им было подмечено систематическое появление на Вильсоновских снимках небольших пятен, характерных для сильно ионизирующих частиц очень короткого пробега — порядка миллиметра или долей миллиметра. Эти пятна Locher объясняет присутствием в составе роев нейтронов и приписывает их столкновениям этих нейтронов с атомными ядрами аргона, наполнявшего камеру. Ему удалось даже показать, что при действии на камеру Вильсона, в тех же условиях, обычных нейтронов, получаемых за счет бомбардировки  $\alpha$ -лучами бериллия, наблюдается появление совершенно подобных же пятен, тех же характерных следов „отдачи“, вызванных соударениями нейтронов с атомами аргона.

Наблюдения Locher'a представляют значительный интерес, так как, очевидно, наличие нейтронов служит непосредственным доказательством того, что ливни в некоторых случаях сопровождаются процессами дезинтеграции атомных ядер.

Не следует, впрочем, переоценивать возможную роль нейтронов умеренных скоростей в явлениях проникающей радиации. Присутствие их в значительном числе могло бы быть обнаружено обычными способами по влиянию на ионизационный эффект веществ, содержащих водород, и природы газа, наполняющего ионизационную камеру. Поиски подобного рода эффектов производились, например, в прошлом году Кюри и Жолио, но неизменно с отрицательным результатом.

С другой стороны, надо отметить, что наблюдателями, работающими с камерой Вильсона в обычных условиях, уже давно отмечалось появление сильно ионизирующих медленных частиц, которые естественно рассматривать как ядра „отдачи“ и связывать с космическим излучением и которые затруднительно было бы приписать какому-либо другому агенту.

В настоящее время наблюдениями этого рода путей заняты в Физическом институте Академии Наук проф. Мысовский и проф. Эйгенсон. Надо, однако, предостеречь от переоценки роли сильно ионизирующих частиц. Из ряда соображений следует, что их число совершенно незначительно в сравнении с числом обычных ультра- $\beta$ -частиц.

Присутствие тяжелых ионизирующих частиц естественно также связать с представляющим значительный интерес своеобразным явлением, которое подмечено уже очень давно, но механизм которого до последнего времени остается неясным. Я имею в виду так называемые „ионизационные удары“ Гофмана.

Этим термином принято обозначать обнаруживаемые время от времени, при наблюдении с ионизационными камерами высокого давления, очень значительные мгновенные отступления ионизационного тока, измеряющего эффект проникающей радиации от его средней величины. Эти отклонения вызывают заметные отбросы электрометра, измеряющего ток, и обнаруживаются характерными ступеньками кривой, зачерчивающей ход электрометра. Явление также остается неразъясненным. Представляется неясным, можно ли его отнести нацело на счет „ливней“. С одной стороны, наличие известного параллелизма между толчками и ливнями доказано непосредственно недавними наблюдениями Swann и Montgomery. С другой стороны, подсчет показывает, что для той массы ионов, которая освобождается при отдельном толчке, требуется одновременное прохождение через камеру до 15 000 ультра-частиц обычного типа (Millikan). Допущение, что значительная часть ионизации производится медленными, сильно ионизирующими частицами, наталкивается, однако же, на серьезные трудности.

Эти затруднения и противоречия привели недавно Millikan'a к предположению, что в ионизационных камерах, показывающих толчки, могут, в результате прохождения ливня, создаваться условия, приводящие к эффектам усиления, подобным тем, которые в нормальных условиях используются в мультипликационных счетчиках Гейгер-Мюллера. Согласно гипотезе Millikan'a, следовательно, то облако ионов, которое проявляется в толчке, создается не столько за счет энергии ультра-лучей, сколько, главным образом, за счет энергии электрического поля, поддерживаемого в ионизационной камере. Пока что, однако, это лишь необоснованное утверждение, не подтвержденное никакими фактами и не подвергнутое непосредственной экспериментальной проверке (которая, конечно, возможна). Мало вероятно, чтобы такой простой способ устранения затруднений, связанных с толчками, оказался действительным.

Существенный интерес могли бы представить наблюдения „толчков“ на значительных высотах. Имеются некоторые косвенные, а частью и прямые данные, которые говорят за то, что число толчков, наблюдаемых на различных высотах, возрастает с высотой быстрее, чем средняя ионизация.

Очень резко выраженную зависимость нужно ожидать, основываясь на подмеченной Steinke особенности, именно аномальном барометрическом эффекте. Появление ливней оказывается эффектом очень чувствительным к барометрическому давлению. Это обстоятельство послужило даже основанием для предположения, высказанного Steinke, что явление связано с особой, сильно поглощаемой компонентой, имеющейся в составе

первичного излучения и ответственной за возбуждение толчков, но не проявляющейся в обычном ионизационном эффекте, так что толчки вызываются какими-то космическими лучами особого сорта. Проверка этой гипотезы имела бы, конечно, большое принципиальное значение.

Приведенные мной факты в достаточной степени обрисовывают сложность явлений взаимодействия космической радиации с материальной средой. Экспериментальные исследования, проводимые в обычной лабораторной обстановке, имеют дело не столько с самой космической радиацией, сколько с этими запутанными вторичными процессами. Более непосредственную информацию о самих космических лучах, как таковых, могут, конечно, дать наблюдения на очень значительных высотах. Эту информацию дают также и наблюдения так называемого „геомагнитного эффекта“, о котором мне и остается сказать несколько слов.

В самом деле, если по причинам, которые были рассмотрены выше, изучение явлений поглощения не дает определенного ответа на вопрос о природе первичных космических лучей и о присутствии или отсутствии в их составе корпускулярных компонент, то присутствие заряженных частиц в составе космического излучения еще до его проникновения в атмосферу может быть обнаружено непосредственно по отклоняющему действию, производимому на эти частицы земным магнитным полем. В прошлом году наблюдения, предпринятые в широком масштабе организацией американских физиков, возглавляемой Артуром Комптоном, показали существование этого эффекта.

Одновременно Lemaître и Vallarta разработали теорию, позволяющую рассчитать распределение интенсивности по широтам для заданного распределения скоростей, в предположении полной изотропии излучения в космическом пространстве. Эти авторы базировались на готовых результатах теории полярных сияний Стермера. Вычисления, сюда относящиеся, целиком применимы и к релятивистским частицам, т. е. остаются верны при любых скоростях, близких к скорости света.

На основании теории может быть получено элементарным путем уравнение, определяющее предельную наименьшую скорость, которую должна иметь заряженная частица для того, чтобы достичь поверхности земли в точке на широте  $\lambda_{\min}$ .

$$1 = \frac{M}{R^2 H_0} \cos \lambda_{\min} - \left( \frac{M}{R^2 H_0} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{2}{\cos \lambda_{\min}}$$

$H_0$  — произведение напряжения поля на радиус кривизны траектории (остающаяся постоянной на всем протяжении пути величина, пропорциональная количеству движения частицы). Область  $\lambda < \lambda_{\min}$  оказывается для частиц данной скорости запретной. Из теории, кроме того, следует, что на границе доступной области, т. е. при  $\lambda = \lambda_{\min}$  частицы достигают поверхности земли, двигаясь в направлении под прямым углом к меридиану и притом с запада на восток при положительном заряде и обратно —

в случае отрицательного заряда. Если на граничной широте возможно только одно определенное направление, всякое же другое оказывается запрещенным, то в некоторой переходной области, для широт вблизи граничной, может быть указан определенный конус так, что направления внутри этого конуса оказываются дозволенными, вне его — запрещенными.

Наибольший угол  $\theta_{\max}$  отклонения возможного направления траектории частицы от направления нормали к плоскости меридиана также определяется простым уравнением

$$\cos \theta_{\max} = \frac{M}{R^2 H_0} \cos \lambda - \left( \frac{M}{R^2 H_0} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{M}{\cos \lambda}$$

( $M$  — магнитный момент,  $R$  — радиус Земли).

Lemaitre и Vallarta показали, что интегральная интенсивность — полное количество частиц данной скорости, достигающих определенного места земной поверхности, пропорциональна телесному углу данного конуса. Задача, которую они и решают, сводится, следовательно, к вычислению величины этого телесного угла. Из сказанного следует, что в областях, прилегающих к полюсам, будет, вообще говоря, существовать зона, где интенсивность от широты уже не зависит (телесный угол =  $4\pi$ ), вблизи же экватора для не слишком больших скоростей будет наблюдаться запрещенная зона, где телесный угол конуса лучей = 0.

Существенное значение имеет вопрос о природе основного фона. На первый взгляд естественным кажется предположение, что и этот фон также обусловлен наличием очень жестких корпускулярных лучей со скоростями  $> 5 \cdot 10^{10}$  вольт таких лучей, которые уже нечувствительны к воздействию магнитного поля Земли. Однако спектр скоростей, который пришлось бы в этом случае приписать „ультра-частицам“, совершенно не соответствует непосредственным данным о скоростях, полученным из наблюдений с камерой Вильсона в сильных магнитных полях. Расхождение между средней величиной скорости, которую необходимо допустить для объяснения кривой геомагнитного эффекта, с одной стороны, и оценкой этой скорости, по данным непосредственных наблюдений, с другой, получается в десятки или даже сотни раз. Если встать на указанную точку зрения, то пришлось бы, для устранения этого противоречия, допустить, что на каждую первичную частицу вблизи поверхности земли приходится, в среднем, несколько десятков сопровождающих ее вторичных частиц — спутников. Это предположение представляется крайне невероятным, хотя, быть может, его и нельзя считать совершенно исключительным.

Во всяком случае, существование геомагнитного эффекта решает в положительном смысле вопрос о наличии в составе ультра-лучей заряженных частиц космического происхождения.

Из того, что было изложено, вытекает, что кроме характерного распределения интенсивности излучения по широтам, магнитное поле

земли влияет также и на распределение направлений. В некотором поясе вблизи экватора должно наблюдаться преобладание направлений с запада на восток или обратно, в зависимости от знака заряда частиц.

Принимая во внимание, что направление пути около поверхности шара перпендикулярно к плоскости меридиана, легко убедиться (применив правило трех пальцев), что частица движется с запада на восток, если она положительна, и обратно в том случае, если заряд отрицательный. Изучение преобладающих направлений дает, следовательно, средство для установления знака заряда. В этом отношении сейчас также имеются вполне определенные результаты. Азимутальная асимметрия, о которой идет речь, действительно обнаружена, и характер ее показывает, что во всяком случае большая часть отклоняемых магнитным полем частиц заряжена положительно. Изучение азимутальной асимметрии представляет сейчас одну из наиболее актуальных задач. Многочисленные наблюдения в различных пунктах проведены Джонсоном, которым осуществлены также измерения на экваторе, где на высоте 10 000 фут. им обнаружено различие западной и восточной интенсивности порядка 13% от среднего значения. Большой интерес представляют также и только что опубликованные результаты Rossi, нашедшего в Asmara, в Африке, на широте  $11^{\circ}30'$  эффект порядка 18%.

Изучение геомагнитного эффекта представляет, казалось, весьма эффективный путь получения совершенно непосредственных данных, которые могли бы привести в ясность целый ряд проблем, оказавшихся в весьма запутанном положении в результате применения других, менее прямых методов исследования.

За год, истекший со времени открытия магнитного эффекта, однако положение и этого вопроса также в значительной степени осложнилось. Новейшие работы по изучению азимутальной асимметрии вскрывают различные противоречия и показывают, что те простые, казалось бы, факты, которые представляют объект этих наблюдений, также трудно увязать между собой, что налицо какие-то неизвестные факторы, которые не могут быть учтены и которые запутывают всю картину. Так, например, оценка скоростей отклоняемых лучей может быть получена двумя способами — как было изложено — по кривой широтного распределения космических лучей и, независимо от этого, по данным об азимутальной асимметрии. Эти оценки не приводят к согласным результатам. Основываясь на измерениях Комптона и его вычислениях, нельзя было бы ожидать существования резкой асимметрии на экваторе, между тем по данным непосредственных наблюдений эффект вблизи экватора наиболее резко выражен. По данным Rossi асимметрия, наблюдаемая на экваторе, должна быть приписана присутствию частиц со скоростями порядка  $1-2.5 \cdot 10^{10}$  в, которых нет в составе „полос“, найденных Комптоном путем анализа кривой широтного эффекта.

Это противоречие, быть может, еще не столь серьезно.

Более существенное значение имеют расхождения, обнаруживаемые при сопоставлении вычисленных таким путем скоростей частиц, ответственных за наблюдаемые эффекты земного магнитного поля, с данными о поглощаемости этих частиц в атмосфере.

Наблюдения Johnson и Rossi дают возможность учесть влияние поглощения в атмосфере на ход азимутального эффекта (в зависимости от зенитного расстояния выбираемых для наблюдения направлений) и этим путем получить представление о поглощаемости корпускулярных компонент вполне определенных скоростей. Для того, чтобы объяснить наблюдаемую в этом случае зависимость, необходимо допустить, что поглощение очень значительно, в десятки раз превышает то, что дает экстраполяция по данным о поглощении обычных лучей и расчет, основанный на выводах новейших теоретических работ.

С другой стороны, данные непосредственного измерения по методу совпадений поглощения, например в свинце, говорят, казалось бы, как раз обратно за то, что „проникающая способность“ значительно больше той величины, которая получается из расчета (учитывая известный скоростной спектр ультра-частиц).

Быть может сейчас еще преждевременно придавать слишком большое значение этим расхождениям и неувязкам. Тем не менее они характерны и могут, в случае их подтверждения, приобрести большое значение.

В самом деле а priori, быть может, нельзя утверждать, что явления поглощения и закон поглощения в верхних слоях атмосферы тождественны с теми, которые мы наблюдаем внизу, у поверхности земли.

Быть может уместно напомнить предложение, высказанное года полтора тому назад Дельбрюком. Согласно Дельбрюку, космические „ультра-частицы“ в момент проникновения их в атмосферу заряжаются не одним, а несколькими элементарными зарядами и лишь затем постепенно, по мере их прохождения через атмосферу, переходят в нормальное состояние. Соответственно и ионизирующая способность их в верхних слоях значительно выше. Это представление по меньшей мере парадоксально и вызвало, конечно, совершенно скептическое отношение физиков-экспериментаторов, да кажется также и теоретиков. Оно, конечно, и сейчас не имеет под собой почвы. Однако события последнего года приучили нас ко всяким неожиданностям, и для меня лично не представляется исключенной возможность того, что явления, а может быть и самый состав ультра-проникающего излучения, в стратосфере качественно отличны от того, с чем мы имеем дело в обычных условиях на уровне моря, и от того, что, вообще, нам до сих пор известно.

Возможно, что те удивительные, решительно выходящие из обычных рамок, явления, свидетелями открытия которых мы в прошлом году были, представляют еще лишь малую часть того, что может вскрыть исследование в этой совершенно неизученной еще области.

А. Б. ВЕРИГО

## ПРИМЕНЕНИЕ ИОНИЗАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СТРАТОСФЕРЕ

Проходя через газы, космические лучи ионизуют газовые молекулы, благодаря чему в газе возникают в одинаковом количестве положительные и отрицательные ионы, обуславливающие электропроводность газа. Известно, что сила электрического тока, проходящего через ионизованный газ, зависит от количества ионов, образующихся в единицу времени в данном объеме газа. При этом перенос электрического заряда через ионизованный газ осуществляется газовыми ионами. Для того, чтобы иметь возможность по величине силы ионизационного тока судить о количестве ионов, образующихся в газе в единицу времени, нужно создать такие условия, при которых все образующиеся ионы были бы использованы для переноса заряда и было бы исключено явление рекомбинации ионов, заключающееся во взаимном соединении и нейтрализации положительных и отрицательных ионов. Для этого необходимо создать такое электрическое поле, обуславливающее ионизационный ток, при котором скорость движения ионов была бы достаточно велика для того, чтобы двигающиеся под действием электрических сил поля положительные и отрицательные ионы не успевали соединиться друг с другом, т. е. имел бы место так называемый ток насыщения. Необходимый для этого градиент электрического поля зависит от количества ионов, образующихся в единицу времени в единице объема рассматриваемого газа. Чем их здесь образуется больше, тем больший градиент необходим для получения тока насыщения. При наличии тока насыщения имеет место прямая пропорциональность между количеством ионов, образующихся в единицу времени в единице объема газа, и силой ионизационного тока, поэтому последняя может служить мерилем для определения количества образующихся ионов.

Число ионов, образующихся под действием космических лучей в единицу времени в  $1 \text{ см}^3$  газа, пропорционально интенсивности этих лучей. Поэтому принято выражать интенсивность космических лучей именно этим количеством ионов. Измерение интенсивности космических лучей сводится к измерению силы ионизационного тока через ионизуемый космическими лучами газ, при наличии тока насыщения. Практически

ионизационный ток измеряется в газе, находящемся внутри герметического металлического сосуда, через стенки которого космические лучи проходят без заметного поглощения. Объем такого сосуда обычно берется равным нескольким литрам. В средней части такого сосуда (чаще цилиндрической формы) помещается на изоляторе маленькая металлическая колонка с двумя кварцевыми посеребренными нитями, образующими маленький электрометр малой электростатической емкости (доли сантиметра). При помощи специального зарядника колонке и нитям электрометра сообщается электрический заряд, вызывающий расхождение нитей. Величина расхождения нитей определяется микроскопом с окулярной шкалой. Упругость нитей подобрана так, чтобы градиент электрического потенциала внутри прибора (корпус его заземлен) в пределах рабочей части шкалы обеспечивал ток насыщения при измеряемых интенсивностях ионизации. Под действием космических лучей газ, наполняющий электрометр, ионизируется, и ионизационный ток вызывает постепенную потерю электрического заряда с колонки и нитей прибора, о которой мы судим по скорости сближения нитей. Зная электростатическую емкость прибора  $C_0$ , наблюдаемую величину потери потенциала  $\Delta v$  вольт за время  $\Delta t$  секунд, объем  $W$  газа в электрометре и электрический заряд каждого иона  $e = 4.77 \cdot 10^{-10}$  абсолютной электростатической единицы количества электричества, находим интенсивность  $I$  космических лучей, выраженную в количестве пар ионов, создаваемых ими в одну секунду в  $1 \text{ см}^3$  газа по формуле:

$$I = \frac{C_0 \Delta v}{300 \cdot e \cdot W} \text{ ионов см}^{-3} \text{ сек.}^{-1}$$

Обычно величина интенсивности космических лучей  $I$  относится к нормальному давлению и температуре.

При измерении интенсивности космических лучей нужно считаться с тем, что ионизация в электрометре, кроме космических лучей, создается радиоактивными излучениями стенок прибора (остаточный ток прибора), излучением  $\gamma$ -лучей радиоактивных веществ окружающих предметов и радиоактивных веществ атмосферного воздуха. У поверхности земли приблизительно одна треть или даже одна четверть ионизации, наблюдаемой в приборе, вызывается космическими лучами, а остальная создается побочными причинами (вышеуказанными). Над поверхностью воды или льда приблизительно половина ионизации в электрометре создается космическими лучами. Учет этих побочных причин ионизации в приборе очень важен при исследовании космических лучей. В условиях измерений в верхних слоях атмосферы побочные причины ионизации отступают на второй план, так как здесь ионизация, создаваемая в приборе космическими лучами, в 100—200 раз превышает ионизацию от побочных причин.

Космические лучи на уровне моря при нормальном давлении и температуре воздуха, наполняющего электрометр, вызывают в нем образование

1.4 иона в секунду в каждом см<sup>3</sup>. Остаточный ток прибора в обычных электрометрах для измерения космических лучей имеет величину порядка одного иона на 1 см<sup>3</sup>/сек. В Европе получил широкое распространение для исследования космических лучей электрометр Кольгерстера. Стенки этого электрометра сделаны из стали 4 мм толщиной, объем камеры равен примерно 4 л. Электростатическая емкость прибора равна 0.3—0.4 см, остаточный ток около одного иона см<sup>-3</sup> сек<sup>-1</sup>. Сближение нитей под действием космических лучей на уровне моря имеет скорость примерно 5—6 делений в час, а остаточный ток дает 3—4 деления в час. Для повышения чувствительности прибора иногда применяют электрометры с сжатым до нескольких десятков атмосфер давления газом или же отдельную ионизационную камеру, электрически связанную с электрометром. Ионизационная способность космических лучей увеличивается почти пропорционально давлению газа, что и обуславливает повышенную чувствительность этого типа приборов.

Применение ионизационного метода сыграло громадную роль в развитии наших знаний о космических лучах. Ионизационным методом было сделано открытие существования космических лучей, было установлено увеличение величины их интенсивности при увеличении высоты, были определены коэффициенты поглощения космических лучей разными средами. Этим же методом был доказан сложный состав космических лучей, образованных несколькими компонентами различной проникающей способности. Этим методом была определена энергия импульсов космических лучей, а также и участие в распространении космических лучей, заряженных электричеством частичек, уменьшение интенсивности космических лучей в экваториальной области земного шара по сравнению с интенсивностью их в средних и высоких широтах (Клей Комптон, Милликен и др).

Ионизационным методом автором ведутся в течение 7 лет работы по исследованию космических лучей. Этим методом им были выполнены измерения на склонах и вершине Эльбруса в течение трех лет (три экспедиции), были сделаны многократные измерения интенсивности космических лучей под водой на подводной лодке, доказавшие значительно большую проникающую способность космических лучей, чем это ранее было установлено Милликеном. Ионизационным методом автор исследовал поглощение космических лучей в стальной брони, прикрывавшей со всех сторон электрометр, и определял значения интенсивности космических лучей при больших широтах (82°30' с. ш.) в советской Арктике. Все эти работы автором опубликованы в Известиях Главной Геофизической обсерватории с 1928 по 1933 гг.

Таким образом, применение ионизационного метода изучения космических лучей оказалось в высшей степени плодотворным, и хотя в настоящее время созданы новые методы исследования космических лучей — метод камеры Вильсона и метод счетчиков Гейгера-Мюллера, однако

применение ионизационного метода пока еще не исчерпано, и ему предстоит, на ряду с новейшими методами исследования, расширить наши знания о природе и свойствах космических лучей.

Исследование космических лучей в верхних слоях атмосферы производилось при помощи подъема приборов с автоматической регистрацией на шарах-зондах и путем измерений, делаемых наблюдателем при полете стратостата. При помощи шаров-зондов удалось получить записи интенсивности космических лучей на высотах (27 км), значительно больших, чем при полетах на стратостатах (около 20 км).

Измерительная аппаратура, применяемая при полетах шаров-зондов, значительно отличается от аппаратуры, которую применяют на стратостатах. Это отличие обуславливается необходимостью применения на шарах-зондах очень легкой аппаратуры, в то время как при полетах стратостатов веса и габариты приборов могут быть значительно большими. Проф. Регенер сконструировал и построил очень легкий электрометр для регистрации интенсивности космических лучей. На фотопластинке, находящейся в электрометре, через определенный промежуток времени одновременно фотографировалось положение нити электрометра и величина барометрического давления. Вес всего прибора составлял 1.5 кг объем ионизационной камеры был равен 1.5 л, давление в ней около 6 атм., толщина латунных ее стенок 0.5 мм. С 1931 по 1934 гг. проф. Регенер осуществил несколько подъемов таких автоматических приборов на высоту до 27 км (барометрическое давление 17 мм). Результаты его измерений, пересчитанные на нормальное давление в электрометре, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Барометрическое давление в мм ртутного столба	Интенсивность космических лучей по измерениям проф. Регенера ионов $\text{см}^{-3}/\text{сек.}^{-1}$
200	92
150	153
100	224
75	243
50	265
22	275

Рядом исследователей (Милликен, Кольгерстер и др.) производились измерения интенсивности космических лучей при восхождениях на высокие горы. Милликеном делались также измерения на высоте до 4600 м над уровнем моря. Автором аналогичные измерения были выполнены на ряде высот до 5400 м над уровнем моря на Эльбрусе.

Сравнение результатов всех этих измерений с результатами, полученными при полетах на аэростатах, обнаруживает систематические расхождения. Так, высокогорные измерения дают для интенсивности космических лучей, примерно, в два раза меньшие значения, чем измерения на аэростатах, причина которых не ясна и, вероятно, кроется в участии вторичных лучей, возбуждаемых первичными космическими лучами.

Во время своих двух полетов на стратостате в 1931 и 1932 г. проф. Пикар пользовался для измерения интенсивности космических лучей электрометром Кольгерстера и ионизационной камерой с повышенным давлением (11 атм.), соединенной с однопитным электрометром. Электрометр Кольгерстера работал удовлетворительно, в то время как ионизационная камера дала утечку газа во время полета, что значительно снизило точность измерений. В табл. 2 даны результаты, полученные проф. Пикаром при 38 измерениях электрометром Кольгерстера, сделанных как при подъеме, так и при спуске. Отсчеты производились им визуально каждые 5—10 мин. Результаты, полученные им при помощи ионизационной камеры, в первом приближении совпадают с результатами измерений интенсивности космических лучей электрометром Кольгерстера.

Таблица 2

Барометрическое давление в мм ртутного столба	Интенсивность космических лучей по измерениям проф. Пикара ионов см <sup>-3</sup> /сек. <sup>-1</sup>
235	104
157	186
142	215
127	248
111.5	271
98.5	293
94.5	299
88.5	305
83.0	313
75.5	319

Сопоставление результатов измерений проф. Регенера и проф. Пикара обнаруживает систематическое их расхождение. Величины интенсивности космических лучей, измеренные на стратосфере проф. Пикаром, оказались на 25% большими, чем величины, определенные проф. Регенером при помощи шаров-зондов. По мнению автора, это расхождение может объясняться различным материалом и различной толщиной стенок прибора, вещество которых под действием космических лучей может давать вторичные лучи, создающие дополнительную ионизацию внутри прибора.

Результаты измерений проф. Пикара и проф. Регенера показывают, что темп увеличения величины интенсивности космических лучей с увеличением высоты замедляется, и кривая интенсивности их, начиная с давлений в 100 мм и ниже, становится отлогой. Большой интерес представляли бы измерения на более значительных высотах, где участие в ионизации вторичных лучей, возбуждаемых первичными космическими лучами в атмосферном воздухе, должно быть незначительным и где мы могли бы исследовать ионизационную способность первичных космических лучей. Эти измерения могли бы послужить для решения вопроса о природе первичных космических лучей.

Для определения поглощения космических лучей проф. Пикар делал измерения, прикрывая сверху электрометр мешками со свинцовым балластом, отвечающим по толщине 4—5 см массивного свинца. При этом он обнаружил, что на высоте 16 км прикрытие экраном электрометра вызывало уменьшение ионизации на 20%, а при высоте 11 км — на 40%. Такого рода измерения представляют безусловный интерес, но, конечно, из двух случайных наблюдений не представляется возможным сделать какой-либо вывод.

Кроме ионизационного метода проф. Пикаром был применен во время полета метод счетчиков Гейгера-Мюллера (6 счетчиков). При помощи специального регистратора регистрировалось количество разрядов в каждом счетчике на различных высотах. Оказалось, что между 7—16 км высоты увеличение числа импульсов космических лучей, вызывавших разряд в счетчиках, шло параллельно с увеличением интенсивности космических лучей, определенной ионизационным методом.

При полете на стратостате в 1932 г. проф. Пикаром была сделана попытка определить направление распространения космических лучей при помощи счетчиков Гейгера-Мюллера, имевших длину в 18 раз большую диаметра. При лабораторных измерениях проф. Пикар установил, что при действии на такой счетчик  $\gamma$ -лучей радия и при положении оси счетчика, перпендикулярном к направлению на источник излучения, получается количество импульсов (разрядов) в 3.5 раза больше, чем при направлении оси, совпадающем с направлением на источник  $\gamma$ -лучей. Исходя из этого, проф. Пикар рассчитывал обнаружить преобладающее направление распространения космических лучей в стратосфере, различно ориентируя счетчик. Сделанные им в стратосфере многократные измерения давали одно и то же количество импульсов при различной ориентации счетчика, что, по мнению проф. Пикара, указывает на равномерное по интенсивности распространение их по всем направлениям. Это обстоятельство является неожиданным и странным, так как вертикальные космические лучи менее ослаблены поглощением атмосферным воздухом, чем наклонные, и поэтому их эффект должен быть более значительным. По мнению автора, такая постановка наблюдений не дает возможности сделать какой-либо вывод о направлении распространения космических лучей по двум

причинам. Во-первых, нет оснований безоговорочно экстраполировать на космические лучи эффект, наблюдаемый при действии на счетчик  $\gamma$ -лучей. Во-вторых, телесный угол, внутри которого лежат направления приходящих наклонных космических лучей, является значительно большим, чем для вертикальных лучей, так как лучи, идущие из надирной части пространства, полностью поглощены землей.

Автором была произведена постановка измерений ионизационным методом величины интенсивности, поглощательной способности и отчасти направленности космических лучей при полете советских стратостатов „СССР“ и „Осоавиахим 1“.

Интенсивность космических лучей определялась при помощи электрометра Кольгерстера, видоизмененного автором, и при помощи электрометра типа Гесса, изготовленного Опытным заводом Геологоразведки в Ленинграде.

Для определения проникающей способности служил электрометр типа Гесса, помещенный внутри свинцового фильтра со съемной верхней крышкой. Измерения должны были производиться при всесторонне закрытом приборе, при открытой верхней крышке фильтра и при вынудом из фильтра приборе. Для определения горизонтальной направленности мягких космических лучей мог служить тот же фильтр, помещенный непосредственно рядом с электрометром. Медленное вращение gondoly давало возможность иметь прикрытие фильтром различных частей горизонта. Отсутствие физика-наблюдателя на стратостате „СССР“ и занятость пилотного персонала управлением полета позволили только частично выполнить намеченные исследования. Влияние вещества стенки электрометра на ионизацию в нем предполагалось получить из сопоставления результатов измерений, сделанных на одной и той же высоте стальным электрометром (электрометр Кольгерстера) и цинковым электрометром Гесса.

Учитывая значительную ионизацию, создаваемую в приборе космическими лучами, автор в целях обеспечения наличия тока насыщения в электрометре Кольгерстера увеличил упругость нитей и тем увеличил потенциал колонки и нитей в рабочей части шкалы в два с половиной раза. Во время полета стратостата „СССР“ 30 IX 1933 г. отсчеты по электрометру Кольгерстера и Гесса производил инженер К. Д. Годунов. Вычисленная автором по этим измерениям интенсивность космических лучей (электрометр Кольгерстера) приведена в таблице 3.

Эти результаты близки к результатам проф. Пикара и значительно превышают результаты проф. Регенера, что доказывает систематическое расхождение метода измерений на шарах-зондах и на стратостатах. В задачи будущих полетов необходимо включить выяснение причин этого расхождения.

Измерения ионизации в электрометре типа Гесса были сделаны инж. К. Д. Годуновым на высоте 17 900 м (во время измерений высота

Таблица 3

Барометрическое давление в мм ртутного столба	Высота	Интенсивность космических лучей по измерениям на стратостате „СССР“
137	12 800	221.0
86	15 500	345.5

почти не менялась). Ионизация в электрометре Гесса (за вычетом остаточного тока), при всестороннем его прикрытии свинцовым фильтром (толщина 30 мм), оказалась равной 338 ионам, а при открытой верхней крышке — 415 ионам  $\text{см}^{-3} \text{сек.}^{-1}$ , что указывало на наличие поглощения мягких компонентов космических лучей стенками фильтра. Измерений с электрометром, вынутым из фильтра, сделано не было, также и не было сделано на той же высоте измерений электрометром Кольгерстера, поэтому сделать точное сопоставление величин ионизации в цинковом и стальном электрометре не представляется возможным. Однако сопоставление полученных при полете стратостата „СССР“ результатов с темпом роста интенсивности космических лучей, установленного проф. Регенером и проф. Пикаром, указывает на большую величину ионизации в цинковом электрометре, что дает некоторое указание в пользу высказанного автором предположения о возможности влияния на ионизацию в электрометре вторичных лучей, вызываемых космическими лучами в стенках электрометра. Атомный номер цинка (30) на две единицы выше атомного номера железа, а потому можно было ожидать и большей ионизации в цинковом электрометре. В будущих полетах на это обстоятельство должно быть обращено серьезное внимание, так как изучение влияния стенок прибора на ионизацию в электрометре дает возможность перейти от измеряемой внутри герметического прибора ионизации к действительной ионизации, создаваемой космическими лучами в свободной атмосфере, что важно знать при изучении электрических явлений в атмосфере и для изучения влияния ионизованного состояния верхних слоев атмосферы на явления распространения там радио-волн.

В предстоящих в СССР исследованиях космических лучей в стратосфере ионизационный метод должен быть применен наряду с другими методами. Его надлежит применить для определения высотного распределения интенсивности космических лучей, для определения проникающей способности мягких компонентов космических лучей в металлических экранах, сделанных как из легких металлов (алюминий), так и из тяжелых (свинец). При этих исследованиях надлежит предусмотреть, наряду со всесторонним прикрытием электрометра, также и частичное прикрытия. Применение одновременно двух электрометров, сделанных из металлов, значительно отличающихся по атомному номеру, должно выяснить уча-

ствие в ионизации вторичных лучей стенок прибора. Обращение с электрометрами должно быть в основном автоматизировано для работ в стратостате и совершенно автоматизировано для шаров-зондов. При полетах стратостатов желательно применять двойную систему отсчетов — визуальную и фоторегистрационную. Наряду с ионизационным методом необходимо применение и других методов, особенно метода камеры Вильсона. Значительная часть задач по исследованию космических лучей может быть разрешена в пределах уже освоенных техникой полетов стратостатов высот порядка 20 км: исследование направления распространения, исследование проникающей способности, исследование вторичных лучей, возбуждаемых в металлах, исследование при помощи камеры Вильсона потока материальных частиц, связанных с распространением космических лучей. Большой интерес представляют определения величины интенсивности космических лучей на высотах свыше 30 км и определение здесь их ионизационной способности. Наряду с полетами стратостатов надлежит использовать метод применения шаров-зондов и радио-зондов с возможно большим потолком полета. Перед советскими исследователями в области изучения космических лучей стоят задачи разработки методики и аппаратуры для этих исследований.

---



С. Н. ВЕРНОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ СЧЕТЧИКОВ ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СТРАТОСФЕРЕ

В раскрытии тайн космической радиации метод счетчиков Гейгера-Мюллера, метод, который позволяет регистрировать отдельные космические частицы, сделал очень много.

Уже определение числа космических частиц, падающих на  $1 \text{ см}^2$  земной поверхности в 1 сек. имеет первостепенное значение, так как позволяет установить ионизирующую способность отдельной космической частицы и отсюда сделать заключения об ее природе.

Но значительно бóльшую роль метод счетчиков стал играть с тех пор, когда немецкими учеными Боте и Кольхерстером было доказано, что космические лучи, проходя через 2 счетчика Гейгера-Мюллера, вызывают совпадения разрядов в обоих счетчиках. Такая способность присуща лишь корпускулярным лучам, и потому опыты Боте и Кольхерстера, также как и измерения Д. В. Скобельцына с камерой Вильсона, доказывают, что по крайней мере часть космической радиации имеет корпускулярную природу. Эти корпускулярные лучи обладают большой энергией, и лишь слой свинца в 1 м поглощает их на 50%.

С помощью ионизационного метода было установлено наличие нескольких компонент космической радиации с весьма различными проникающими способностями. Имеют ли все эти компоненты одинаковую природу? Опыты, произведенные до настоящего времени, не позволяют ответить на этот вопрос. Если на уровне моря присутствует главным образом жесткая компонента космической радиации, то в стратосфере мы имеем дело почти исключительно с мягкими лучами, интенсивность которых в 200 раз больше той же для уровня моря. В связи с этим кажется весьма важным при помощи метода совпадений доказать или опровергнуть корпускулярный характер мягкой компоненты. А между тем есть определенные основания сомневаться в корпускулярной природе этого компонента. Так, по данным американского физика Джонсона, до высоты в 2 км число корпускулярных лучей увеличивается медленнее, чем растет общая ионизация. Одновременно с этим опыты италийского физика Росси обнаруживают на высоте в 2370 м большое количество очень мягких корпускулярных лучей, являющихся вторичными. Кем они вызваны,

это окончательно неизвестно, но кажется весьма правдоподобным предположение Росси о создании их  $\gamma$ -компонентом космических лучей.

Однако, если принять во внимание, что на высоте в 2 км интенсивность космической радиации возрастает всего лишь в 2 раза и преобладание мягкой компоненты еще не достигается, то станет ясным, что окончательное решение возможно лишь в результате опытов на больших высотах и в стратосфере.

На пути постройки такой установки для полета стоит ряд экспериментальных трудностей.

Но в наших условиях, используя опыт радио-зондов проф. Молчанова, оказывается вполне возможным эту задачу осуществить. Дело в значительной степени упрощается также благодаря тому, что даже в лабораторных условиях эта установка работает автоматически.

В связи с этим оказывается возможным послать ее в стратосферу без наблюдателя.

Основной частью установки является батарея малого габарита на 1500 вольт. Требования, предъявляемые к этой батарее, довольно высоки, так как для правильной работы счетчиков потенциал должен быть постоянным с точностью до 0.3%. Это же заставляет поддерживать внутри прибора постоянную температуру, в то время как в стратосфере температура достигает  $-60^{\circ}$ . Сравнительно значительный слой тепловой изоляции оказывается для этой цели недостаточным, и необходим специальный терморегулятор, в котором теплота выделяется за счет реакции между кислотой и щелочью. В полет посылаются также трехкаскадный усилитель, благодаря которому, с одной стороны, достигается усиление импульсов, приходящих от счетчика, а, с другой стороны, из общего числа разрядов выделяются лишь совпадения между разрядами в обоих счетчиках. От усилителя работает релэ, которое включает передатчик. Сигналы от передатчика воспринимаются приемником, расположенным на земле. Однако они оказываются слабыми, и потому востребовалось сконструировать к приемнику дополнительный усилитель, чтобы заставить работать механический счетчик. Общий вес установки на большую высоту немногим превосходит 12 кг. Размеры ее  $45 \times 45 \times 30$  см<sup>3</sup>.

В настоящее время такая установка собрана и работает на поверхности земли. Передача сигналов на расстояние в 2 км также доказала реальность регистрации импульсов по радио.

Между счетчиками Гейгера-Мюллера помещен слой свинца в 2 см. Благодаря этому лишь корпускулярные лучи с энергией больше  $7010^6$  вольт будут в состоянии вызывать совпадения, что исключает влияние вторичных лучей.

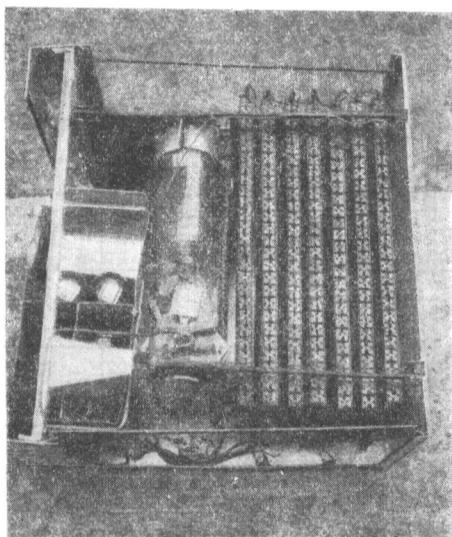
Кроме счета корпускулярных лучей, вызывающих совпадения, установка будет передавать также время от времени общее число разрядов в одном счетчике, что даст нам возможность обнаруживать также некорпускулярные лучи. По предложению П. А. Молчанова, переключения

будут производиться барографом, а по числу переключений мы будем получать сведения о давлении. Для испытания работы установки последняя была поднята на самолетах под управлением пилота С. С. Львова. Наблюдения над космическими лучами на самолете производил Б. Б. Лобач-Жученко. Согласно данным, полученным этим путем во время полета 27 июля 1934 г. до высоты 5810 м, число систематических совпадений возрастало в 6.5 раза до высоты 5600 м. Результаты настоящих опытов находятся в согласии с упомянутыми опытами Джонсона. Для высоты 4300 м Джонсон дает возрастание в 3.78 раза. Мы получили для той же высоты возрастание в 3.2 раза (возможная ошибка 10—20%). Полученные данные, также как и данные Джонсона, расходятся с результатами ионизационных измерений, давая более медленное возрастание интенсивности с высотой.

Регистрируя совпадения разрядов в двух счетчиках, установка выделяет из общего числа космических лучей параллельный пучок их, идущий в вертикальном направлении. Это является весьма ценным, потому что в опытах Регенера в стратосфере, где измерялась ионизация, создаваемая космическими лучами, достигающими прибора в любом направлении, зависимость ионизации от давления имеет весьма неожиданный характер. А именно: при достижении больших высот (в 19 км) ионизация оказывается почти постоянной.

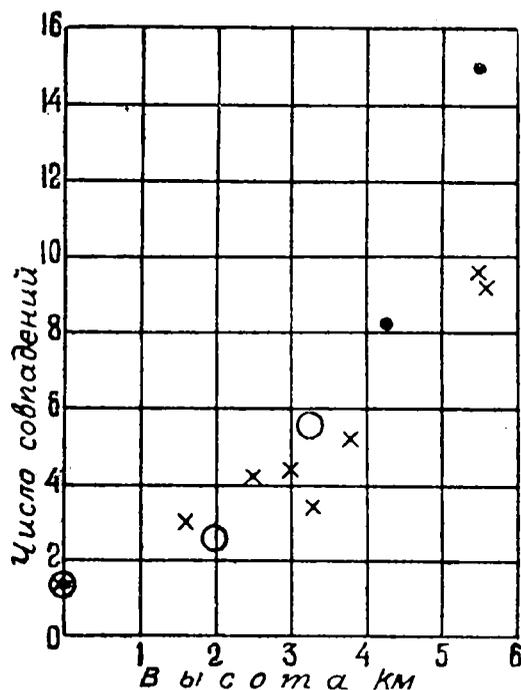
Правда, пересчет, произведенный Гроссом, показывает, что на основании этих опытов для параллельного пучка космических лучей следует ожидать, что кривая зависимости ионизации от давления будет иметь максимум при давлении в 130 мм Нг и достигать постоянного значения у границы атмосферы. Такая зависимость говорит в пользу существования корпускулярных лучей, падающих на землю без сопровождения вторичным излучением. Однако неизвестно, насколько экспериментальные ошибки в опытах Регенера могли повлиять на результат вычислений Гросса. Поэтому непосредственная экспериментальная проверка была бы желательна. Но для этой цели лишь метод совпадений, выделяющий вертикально идущий пучок космических лучей, оказывается приемлемым.

Заслуга метода счетчиков в изучении космических лучей ни в коем случае не ограничивается изложенными задачами.



Фиг. 1.

Именно этим способом американскому физiku Джонсону удалось доказать, что первичные космические лучи несут положительный заряд. Джонсон производил свои опыты на уровне моря и в горах. Наблюдаемое им преобладание в числе космических лучей, идущих с запада, сильно уменьшается при увеличении магнитной широты. Мягкие же лучи, проникающая способность которых недостаточна для достижения земной по-



Фиг. 2.

верхности, если они корпускулярные, должны обуславливать такой же эффект при больших широтах, только на большей высоте. Опыты Джонсона позволяют по отклонению в магнитном поле земли определить энергию космических частиц. Она оказывается колоссальной —  $30 \cdot 10^9$  вольт.

На основании известных нам законов поглощение таких лучей земной атмосферой должно быть ничтожно. Но опыт дает иное. Уже слой атмосферы в 4 км поглощает их в 6 раз. Это указывает нам на наличие совершенно нового механизма поглощения космических лучей. Поэтому и главная часть космической радиации — мягкая компонента может иметь значительно большую энергию, чем мы до

сих пор предполагаем. Лишь воспроизведение опытов Джонсона в стратосфере, там, где господствует мягкая компонента, позволит определить ее энергию.

Аппаратура, требуемая для этой цели, будет отличаться от уже изложенной в том отношении, что необходимо будет передавать по радио также ориентировку счетчиков по отношению к магнитному меридиану. Отклонение космических лучей в земном магнитном поле обнаруживается также по изменению интенсивности космической радиации с широтой. Опыты Милликена доказывают сильное возрастание этого эффекта с высотой. Однако, особенно больших высот, выше 6 км, Милликену достичь не удалось, так как он до сих пор не смог найти выпущенные им вблизи экватора шары-зонды с автоматической фоторегистрацией. Здесь сильно может помочь применение счетчиков, так как метод радио-зонда позволяет получить данные уже до нахождения прибора и, следовательно, производить пуск также в малонаселенной местности. К тому же этот

метод позволяет регистрировать корпускулярные лучи, т. е. как раз те, которые подвержены действию магнитного поля земли. С аппаратурой здесь вопрос несколько не усложняется, и дело сводится лишь к тому, чтобы вместо выпуска из Ленинграда выбрать какой-либо южный район нашего Союза с магнитной широтой  $30^\circ$ .

Наконец, применение счетчиков может иметь и ряд чисто технических преимуществ. Так, для изучения поглощения космических лучей по ионизационному методу приходится окружать весь прибор свинцом. Вес такого свинцового фильтра довольно велик, и это в сильной степени ограничивает возможность его применения. При регистрации же космических лучей по методу совпадений для решения того же вопроса необходимо помещение небольшого куска свинца между счетчиками. Вес пластины свинца в 2 см в данном случае будет меньше  $\frac{1}{2}$  кг.

Метод счетчиков позволяет также фиксировать столь интересные явления, как разрушение атомных ядер космическими лучами. Для этой цели три счетчика располагаются в треугольник, и считаются тройные совпадения между разрядами в трех счетчиках.

В настоящее время имеются косвенные указания (например, резкая зависимость от барометрического давления), что в процессе разрушения ядра основную роль играет очень мягкая компонента космических лучей.

Проверить это предположение можно посылкой в стратосферу не двух, а трех счетчиков.

Экспериментальных трудностей при этом возникает не особенно много, так как аккумуляторная батарея остается прежней, и общее увеличение веса установки не должно превосходить 2 кг.

Правда, число тройных совпадений невелико, но все же расчет показывает, что, принимая во внимание сильное увеличение интенсивности космических лучей с высотой, не представляет особого труда получить их в количестве 10 в мин.

В заключение мне хотелось бы отметить, что благодаря тому, что здесь мы имеем дело с посылкой в стратосферу автоматических приборов, полеты могут быть не единичными.

А это даст возможность осуществить поставленные задачи в кратчайший срок.



М. П. БРОНШТЕЙН

## ГИПОТЕЗЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Говоря о происхождении космических лучей, невозможно не вступить в область самых шатких спекуляций и догадок. Такое положение вещей несколько не удивительно, особенно в виду того факта, что даже вопрос о природе первичной радиации в настоящее время не может считаться решенным. Однако нельзя совершенно исключать ту возможность, что астрономическое изучение предполагаемых источников космической радиации в состоянии пролить некоторый свет на природу первичных лучей и механизм их возникновения; поэтому астрономы могли бы ожидать от физиков указаний на наиболее вероятные гипотезы о происхождении космической радиации при современном состоянии наших знаний. Некоторые из гипотез, высказывавшихся в начальный период исследования космических лучей, в настоящее время должны считаться совершенно исключенными.

К числу этих гипотез относится, например, гипотеза о грозном разряде, как источнике энергии ультра-быстрых частиц космической радиации. Отсутствие сезонных колебаний космической радиации и корреляция между ее интенсивностью и геомагнитной широтой исключает возможность предположения, что источником энергии космических лучей являются столь переменные явления, как явления атмосферного электричества. Также весьма неправдоподобной в настоящее время представляется высказанная Миллиkenом гипотеза, что первичная космическая радиация состоит из гамма-лучей, испускаемых при синтезе нерадиоактивных атомов, происходящих в мировом пространстве. Эта гипотеза когда-то на первый взгляд представлялась единственно возможной, так как не существует никаких убедительных доказательств, что интенсивность космической радиации зависит от высоты солнца или Млечного пути над горизонтом. Тем не менее гипотезу Милликена, приходится признать совершенно неправдоподобной, потому что синтез нерадиоактивных атомов (например атомов железа, как предполагал Милликен), связанный с испусканием всего одного или двух фотонов, является неправдоподобным.

С другой стороны, предположение об аннигиляции протонов в том же пространстве неправдоподобно, так как в настоящее время есть уверенность, что если такие процессы происходят в природе, то они должны

происходить в условиях применимости релятивистской теории квантов в условиях максимально высокой плотности материи.

В настоящее время приходится признать эту гипотезу Милликена самой невероятной из всех возможных.

Наличие геомагнитного эффекта, открытого в последние годы, позволяет утверждать, что в составе первичной радиации обязательно должны быть какие-то заряженные частицы, хотя природа их является в настоящее время неизвестной. Наиболее простым предположением явилось бы то, что эта заряженная часть, материальная корпускулярная часть первичного излучения, состоит из позитронов и электронов, а в неотклоняемую часть входит гамма-излучение. Эта гипотеза наиболее проста, но тем не менее она находится в плохом согласии с фактами, потому что все, что известно о механизме поглощения в атмосфере, говорит, повидимому, о гораздо большей сложности явления в действительности.

В числе гипотез, которые в последнее время предлагались для объяснения значения космических лучей, заслуживает упоминания очень простая и интересная на первый взгляд гипотеза Лемэтра.

Формулируя свою гипотезу, Лемэтр исходил из представления о том, что внутренность звезд является сверхплотным ядром, в котором заключена значительная часть массы звезды в объеме сравнительно небольшого размера. Это те представления, которые в последнее время упорно и настойчиво появляются в астрофизике.

Пользуясь этими представлениями, можно подметить аналогию между ядром звезд и радиоактивным атомным ядром гигантских размеров.

Естественно предположить, что ядро звезд является источником излучений как корпускулярного, так и электромагнитного характера, но нельзя сказать, что ядро звезд является источником космических лучей; Солнце, например, не может считаться источником космических лучей.

Лемэтр предполагает, что направление эволюции звезд было таково. В весьма отдаленные эпохи внешние слои звезд обладали меньшей поглощающей способностью, чем сейчас, и чрезвычайно жесткие лучи как корпускулярного, так и электромагнитного характера могли проникать в мировое пространство. И поэтому, с точки зрения Лемэтра, никаких источников для космических лучей в настоящее время нет, и космические лучи, бегущие в мировом пространстве, являются свидетелями прежних, весьма отличающихся от теперешних эпох, этапов эволюции мира.

Эта гипотеза ничего не указывает в отношении происхождения космических лучей с точки зрения астрономической. Содержание этой гипотезы сводится к тому, что в настоящее время космические лучи больше не производятся и что они производились только когда-то.

Цвикки указал, что источником космических лучей может быть одно загадочное явление, обратившее на себя в последнее время внимание астрономов. Речь идет о так называемых сверх-новых звездах, которые были в последние десятилетия открыты в очень незначительном числе и

которые превосходят по своей абсолютной яркости обычные новые звезды в огромное количество раз.

Эта гипотеза Цвикки представляется нам наиболее вероятной.

Обычные процессы, с которыми астрономы встречаются и которые могут считаться изученными, не таковы, чтобы можно было посредством их изучать происхождение космических лучей.

В поисках источников космического излучения поневоле надо обращать внимание на такое довольно еще мало изученное явление, как возгорание сверх-новых звезд.

В настоящее время единственным теоретическим руководством к отысканию подобных источников может служить только так называемая дырочная теория Дирака, несмотря на то, что эта теория не может считаться во всех случаях количественно согласующейся с фактами. Тем не менее она является единственной, и на основании этой теории можно хоть качественно притти к заключению, каким образом могли бы в земную атмосферу проникать электроны и позитроны, которые существовали в космическом пространстве перед тем, как проникнуть в земную атмосферу.

При рассмотрении свойства обыкновенного электромагнитного излучения оказывается, что в дырочной теории Дирака обыкновенное излучение обладает не совсем такими свойствами, которые ему приписывались раньше. Оказывается, что в равновесном излучении, которое наполняет любой объем, ограниченный стенками определенной температуры, должно находиться некоторое количество электронов и позитронов, которые образуются в результате взаимодействия между фотонами, не учитываемого прежними квантовыми теориями. При обыкновенных температурах и сравнительно малой плотности лучистой энергии, количество этих электронов должно быть невелико, но при очень больших температурах и высокой плотности лучистой энергии количество этих электронов и позитронов может оказаться и очень значительным.

Простой расчет, произведенный на основании теории Дирака, показывает, что при достаточно высокой температуре отношение лучистой энергии к общей энергии всего этого лучистого существа оказывается меньше половины: при достаточно высокой температуре  $\frac{4}{11}$  всей энергии падает на долю излучения, а остальные  $\frac{7}{11}$  поровну распределяются между электронами и позитронами.

Поскольку возможно предположить, что в глубоких недрах звезд имеется такая высокая температура, естественным следствием теории дырок можно считать то, что там существует большое количество позитронов. Если мы будем сжимать подобную лучистую материю (излучение, из которого рождаются электроны и позитроны) дальше, теория дырок Дирака перестанет служить, вследствие того обстоятельства, что эта теория, как и все существующие квантовые теории, не учитывает протяжения электрона. Классический радиус электрона является пределом,

который ограничивает применимость существующих форм квантовых теорий, в том числе и дырочной теории Дирака.

Поэтому, когда размер, предоставленный в такой смеси отдельному электрону и позитрону, станет порядка классического радиуса электрона, теория дырок делается неприменимой, и устранится резкая грань между излучением и обыкновенной теорией электронов и позитронов. Поэтому возможно предположение, что дальнейшее сжатие будет ограничено силами ядерного характера, которые будут при таких плотностях действовать между электронами и позитронами, и что возможны какие-то равновесные состояния, при которых эта лучистая энергия связывается своими силами в какие-то стабильные конфигурации. Они являются не стабильными в настоящем смысле слова, так как простой расчет показывает, что при достаточно большом расширении этой системы ее энтропия стремится к бесконечности. Поэтому, такое состояние, при котором действуют ядерные силы между электронами и позитронами, может быть метастабильным, и только состояние с уменьшающейся энтропией отделяет это метастабильное состояние от состояния с бесконечной энтропией.

Это следствие из данной теории может быть прямо применено к внутренности звезд, и тогда возникает возможность действительного объяснения процесса возгорания сверх-новых звезд. Здесь мы должны иметь в виду этот переход лучистой материи из состояния стабильного в состояние еще более стабильное, при котором лучистая энергия рассеивается в пространство.

Оказывается, что энергия таких позитронов и электронов, освобождающаяся в этом процессе, может быть порядка миллиарда вольт, что находится в полном согласии с теми данными, которые мы имеем относительно энергии ультра-быстрых частиц космической радиации.

Возможно, что предположение Цвикки о роли сверх-новых звезд заключает в себе хоть часть истины. Нельзя не считаться с тем, что дальнейшее астрономическое изучение эффектов, связанных с возгоранием сверх-новых звезд, позволит разрешить одну из насущнейших проблем физики, но нельзя, конечно, считать исключенным, что, помимо такого рода неизученных астрономических процессов, нет другого рода неизученных процессов.

Отсюда ясно, что вопрос о происхождении космической радиации в настоящее время является еще более туманным, чем вопрос о физической природе космических лучей.

М. С. ЭЙГЕНСОН

## КОСМИЧЕСКАЯ РАДИАЦИЯ И АСТРОНОМИЯ

§ 1. Если верно, как сказал однажды Rutherford, что космическая радиация является самой интересной проблемой современной физики, то не менее справедливо и то, что проблемы космической радиации принадлежат к числу наиболее трудных и сложных проблем, когда бы то ни было стоявших перед наукой.

Немаловажной причиной сложности проблемы космической радиации является ее комплексный характер. Явление космической радиации, исторически, открыто как некий геофизический феномен. Также и сейчас, когда космической радиацией занимаются, по преимуществу, физики, она имеет все права на исключительное внимание геофизики как хотя еще совершенно недостаточно изученный, но, тем не менее, один из важнейших геофизических факторов, в частности — в области ионизации атмосферы.

При всем своем исключительном значении для судеб физики космическая радиация, однако, является по праву, и в особенности явится в будущем, скорее объектом другой науки.

Физик до сих пор скорее еще наблюдает, а не экспериментирует с космическими лучами. Притом, в отличие от начальной стадии учения о радиоактивности, когда физики не обладали методами современной ядерной химии, до некоторой степени воспроизводящей процессы спонтанных трансформаций радиоактивных элементов, — в отличие от радиоактивных явлений, в которых мы наблюдаем здесь на Земле, как начало, так и конец соответствующих видов превращения материя, — в явлениях космической радиации, наблюдаемых нами на нашей планете, даны только конечные стадии процессов, происходивших где-то в астрономической Вселенной.

Именно поэтому самое явление космической радиации изучается физиками скорее аналогично астрономам, наблюдающим небесные тела и астрофизикам, исследующим помощью астрономических наблюдений и вспомогательных физических экспериментов физические процессы в Космосе. Однако, несмотря на вышеуказанную комплексность и триединство проблемы космической радиации, подлежащей, таким образом, изучению трех смежных физических дисциплин: физики, гео- и астро-физики, —

пока наименее изучена именно астрофизическая, главная — так как она исходная сторона этой комплексной проблемы.

Причины такого положения, по видимому, кроются в самом астрономическом характере явления космической радиации.

Как известно, основным источником наших знаний о физике космических процессов являются наблюдения небесных тел, т. е. некоторых точно локально-ограниченных материальных образований, изучаемых нами при посредстве анализа излучаемого ими света. Другими словами, космический локус (источник) изучаемого процесса у астронома обычно дан заранее, и требуется, зная его, изучить процессы, с ним связанные.

Астрономическим своеобразием явления космической радиации и некоторых других, обусловленных космическими факторами, но изучаемых геофизическими методами феноменов является обратная метода их изучения. Здесь даны некоторые космические явления. Космические же локусы их и физика связанных с последними и вызвавших эти космические явления процессов — неизвестны и подлежат нашему астрофизическому изучению.

Исключительный научный интерес проблемы космической радиации породил огромную, все более увеличивающуюся литературу, посвященную этому явлению. Неудивительно, что этот вопрос рассматривался иногда и с астрономической стороны. Однако не будет преувеличением указать, что почти все сказанное об астрономической стороне проблемы носило почти всегда совершенно случайный характер, высказывалось большей частью не-астрономами и не выходило за рамки совершенно предварительной стадии обсуждения этого действительно трудного вопроса.

В настоящем сообщении предполагается подвергнуть весьма сжато рассмотрению проблему космических локусов (источников) космической радиации, как первую основную астрономическую проблему всего явления космической радиации.

§ 2. Хотя в сегодняшней дискуссии уже приводились доказательства космичности высокопроникающей радиации, я позволю себе в поставленных в этом докладе целях вкратце сформулировать главнейшие из доказательств космического генезиса этой радиации.

Таковыми, мне представляется, являются:

А. Монотонное возрастание интенсивности космической ионизации с увеличением высоты над уровнем в атмосфере моря<sup>1</sup> и аналогичное монотонное убывание этой ионизации с увеличением глубины под водой<sup>2</sup> и под землей. Это явление, как известно, интерпретируется как результат поглощения радиации, идущей снаружи, из Космоса, в материи соответствующих внешних оболочек нашей планеты.

<sup>1</sup> От  $h=0$  до  $h=27$  км ( $b=17.6$  мм Hg) космическая ионизация возрастает от  $1.4$  J в  $1$  см<sup>3</sup> в 1 сек. до  $\infty$  350 J, т. е. в 250 раз.

<sup>2</sup> В 1933 г. Kolhörster наблюдал космическую ионизацию на глубине  $h = -600$  м под водой. Axel Corlin также в 1933 г. наблюдал, по видимому, космическую ионизацию в глубоких железных рудниках.

В. Последовательная селекция спектра космической радиации с ходом только что указанного поглощения. В результате последней, чем ближе к центру Земли участок, в котором наблюдается космическая ионизация, тем, в среднем, она жестче, т. е. тем меньше ее коэффициент поглощения.

С. Распределение интенсивности космической радиации в функции зенитного расстояния. Например: опыты Мысовского и Тувима с ионизационной камерой, Medicus'a со счетчиками Geiger-Müller'a и Anderson'a с камерой Вильсона сходно показывают определенную корреляцию интенсивности космической радиации, исходящей из данного телесного угла, с зенитным расстоянием оси этого последнего. Согласно этой корреляции наиболее эффективными в смысле напряженности космической радиации оказываются углы, близкие к вертикали. Это распределение интерпретируется согласно с п. А, как эффект атмосферного поглощения, величина которого есть, очевидно, функция зенитного расстояния участка небесной сферы.

Д. Геомагнитные эффекты космической радиации, т. е. зависимости последней от геомагнитной широты<sup>1</sup> и от геомагнитного азимута<sup>2</sup> места наблюдения. Эти эффекты интерпретируются как результат магнитного отклонения в земном поле летящих извне, из Космоса, электрически-заряженных корпускул космической радиации.

Е. Физическая природа космической радиации. При всей недостаточности наших знаний о физике явления космической радиации, известно с полной достоверностью, что на нашей планете нет (или, по меньшей мере, не были обнаружены) процессы такого рода и такой силы. Особенно важны в этой связи высокая энергия космических корпускул<sup>3</sup> и, что связано с этим, большая проникающая способность космических лучей.<sup>4</sup>

На основании сказанного приходится констатировать космичность генезиса высокопроникающей радиации.

§ 3. На протяжении почти всей истории проблемы космической радиации делались многочисленные попытки приписать местонахождение ее космического источника — Солнцу, этому главному телу нашей солнечной системы и основному источнику лучистой энергии на Земле. Однако есть все основания считать все эти попытки провалившимися и достаточно категорически утверждать тезис о вне-солнечном генезисе космической радиации.

Затянувшаяся дискуссия проблемы с этой стороны, повидимому, имела одной из причин безусловно имеющиеся солнечные эффекты, однако производящиеся не космической радиацией от Солнца, а тепловыми эф-

<sup>1</sup> Clay und Berlage, Naturwiss. 20, 687, 1932; Compton, Ph. Rev. 41, 111, 681; 42, 904; 1932; 43, 387, 1933.

<sup>2</sup> Johnson, Ph. Rev. 43, 834, 1934; Alvarez & Compton, Ph. Rev. 43, 835, 1933.

<sup>3</sup> Грубо говоря, она  $\infty$  в 1000 раз больше энергии радиоактивных корпускул.

<sup>4</sup> Массе — коэффициент поглощения жестчайшей космической радиации Kolhörster и Corlin порядка  $10^{-5}$  см<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O.

фактами последнего. Здесь необходимо напомнить, что величина космической ионизации подвержена сильным непериодическим колебаниям. Это обстоятельство значительно затрудняет изыскание периодичности. Однако небольшие периодические ходы здесь, действительно, видимым образом существуют, но они, в пределах ошибок применявшихся инструментов, по всем данным объясняются периодически-изменяющимся тепловым режимом нашей атмосферы. Происходящие в зависимости от времени суток и года изменения последнего сказываются на величине так наз. барометрического эффекта космической радиации, измеряющего влияние изменений массы столба воздуха, поглощающей космическую ионизацию. На основании дискуссии всего многочисленного экспериментального материала приходится согласиться с Hoffmann'ом, который в конце 1932 г. в своем обзоре этого вопроса вынужден был стать на позицию отсутствия каких бы то ни было убедительных доказательств наличия солнечных членов в кривой интенсивности космической ионизации.

Появившиеся, уже после обзора Hoffmann'a, работы Bennett, Stewart & Compton'a, с одной стороны, и Millican'a — с другой, приходят, несмотря на различие интерпретаций, к общему выводу, что с точностью до  $1-2\%$  космическая ионизация постоянна (в смысле отсутствия регулярных периодичностей) в течение суток. Небольшой остаточный эффект (порядка  $1.5\% \pm 0.25\%$  по Bennett, Stewart & Compton'у и соответственно в  $0.3\% \pm 0.3\%$  по Millican'у) вероятно объясняется, как считает Millican, чистоземными причинами, если, вообще, реален.

Есть прекрасная возможность другим путем, совершенно независимым от только что описанной методики исследования суточной и годичной кривых космической ионизации, исследовать тот же подозреваемый солнечный эффект. Солнечное затмение является своего рода искусственной ночью, притом, в отличие от естественной, здесь Солнце „восходит“ и „заходит“ быстрее, чем в случае его естественных захода и восхода за выпуклость земного шара. Поэтому, если космический локус всей или части космической радиации находится на Солнце, то во время полного солнечного затмения мы наблюдали бы прекращение или, по крайней мере, ослабление интенсивности космической ионизации. Однако наблюдения космической радиации с помощью электрометров во время ряда солнечных затмений не смогли обнаружить только что описанный эффект.

Конечно, точность наших приборов пока не слишком велика для окончательных заключений об отсутствии эффектов действительно первично-солнечного происхождения. Однако я полагаю, что не будет преувеличением заявить, что в пределах точности измерений современных электрометров, т. е. с точностью в  $1-0.1\%$ , в космической ионизации нет членов солнечного происхождения.

<sup>1</sup> Ph. Rev., 41, 119, 1932.

<sup>2</sup> Ibid., 33, 391, 1932.

§ 4. Но если это так, то астрофизически проблема сразу чрезвычайно проясняется. В самом деле, главная масса и главный излучатель астрономического интервала спектра в солнечной системе выходит за пределы области, в которой мы ищем космические локусы космической радиации.

В солнечной системе, однако, остаются, кроме Солнца и нашей планеты, которые, как мы показали раньше, не являются вероятными источниками космической радиации, еще 8 других больших планет, несколько тысяч малых и около 3 десятков спутников больших планет, затем периодические кометы и метеорные рои, а также космическая пыль, сконцентрированная в зодиакальном поясе. Большие планеты солнечной системы распадаются на две резко отличных друг от друга группы: группа планет типа Земли, к которой принадлежат Меркурий, Венера, Земля, Марс и, вероятно, Плутон и группа планет типа Юпитера, к которой принадлежат Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

Большие планеты типа Земли характеризуются относительно умеренными массами, относительно большими средними плотностями, наличием твердой коры, относительно медленным осевым вращением, относительно небольшим сжатием и т. д. Планеты типа Юпитера, в свою очередь, характеризуются относительно большими массами, относительно низкими средними плотностями, вероятным отсутствием твердой коры, относительно быстрым осевым вращением, имеющим сходный с вращением Солнца зональный характер, относительно большим сжатием, интенсивными атмосферными с бурными атмосферными процессами и т. д.

Физическое подобие планет типа Земли друг другу делает обоснованным теоретическое заключение о том, что они не являются возможными локусами космической радиации, так как таковым, как мы видели в начале этого доклада, не является наша Земля, типичная для этой группы больших планет солнечной системы. Этот, скорее внешний вывод, мне думается, однако, вполне астрофизически интерпретируем. Дело в том, что большие планеты типа Земли суть все тела внутренне-холодные, т. е. тепловой режим в их внешних оболочках определяется, в основном, Солнцем, а не эндогенным притоком планетарной теплоты. Каковы бы ни были расхождения между физиками по вопросу о природе космической радиации, вполне ясно, что образование столь мощных на корпускулу или фотон процессов, каковыми являются процессы космической радиации, требует исключительных астрофизических условий, каковы, например (в особенности при фотонной гипотезе генезиса космической радиации) сверхвысокие температуры или сверхвысокие градиенты электрического потенциала в месте образования космической радиации. Нетрудно сообразить, что в эффективных, т. е. внешних оболочках таких астрономических тел, как большие планеты типа Земли, с их низкими, порядка нескольких сот абсолютных градусов температурами и скромными, как мы знаем, например, в случае нашей планеты электрическими градиентами, нормально нет даже намека на эти условия. Внутренние же, эвентуально нагретые области этих не-

бесных тел не смогли бы, даже если бы там и были условия, способствующие образованию космической радиации, играть какую бы то ни было роль, в виду наличия мощного поглощающего панцыря, реализованного в десятках и сотнях километров холодной твердой коры этих небесных тел.<sup>1</sup>

Очевидно, что по аналогичным соображениям из круга нашего рассмотрения выпадает также и вся прочая „мелочь“ солнечной системы, как то: спутники больших планет, малые планеты и т. п.

§ 5. Итак, в результате проделанного нами только что отрицательного отбора, в солнечной системе, как возможные локусы космической радиации, пока остаются только 4 большие планеты типа Юпитера. Однако, как я попытаюсь показать, их участие в этом деле представляется также крайне сомнительным. Недавно, в последнем обзоре *Physikalische Zeitschrift* по космической радиации Kolhörster указал,<sup>2</sup> что средняя интенсивность космической радиации остается неизменной в течение всех 20 лет ее систематических наблюдений.

Если предположить, что космическим локусом всей или части космической радиации может быть, например, ближайшая и массивнейшая из больших планет типа Юпитер — сам Юпитер, то нетрудно догадаться, что, благодаря движениям нашей планеты и Юпитера, в интенсивности космической радиации должны были бы наблюдаться определенные периодические члены. Эти периодичности таковы: а) период в звездные сутки („эффект Юпитеровой ночи“, т. е. изменения его зенитного расстояния в силу суточного вращения небесной сферы); б) период в 339 дней (синодический период Юпитера, т. е. промежуток, по истечении которого повторяются противостояния — положения, когда Солнце, Земля и Юпитер лежат на одной прямой линии); наконец, в) период в 11.9 года — сидерический период обращения Юпитера, по истечении которого он занимает то же место относительно звезд и горизонта данного места.

Аналогичные периодичности должны были бы иметь место и в случае Сатурна и других больших планет этого типа, но амплитуды для периодических членов должны были бы быть значительно меньше таковых для Юпитера, так как, даже допуская провизорно одинаковую внутреннюю мощность всех этих эвентуальных источников космической радиации,<sup>3</sup> необходимо учесть, что обратные средние квадраты расстояний Сатурна, Урана и Нептуна будут соответственно примерно в 4, в 15 и в 36 раз меньше таковой величины для Юпитера.

Однако, хотя наблюдения над интенсивностью космической радиации ведутся в течение 20 лет, интенсивность эта оказывается, в общем, по-

<sup>1</sup> Даже указанная выше жестчайшая компонента смогла бы пройти всего лишь несколько сот метров планетной коры.

<sup>2</sup> *Phys. ZS.*, 34, 809, 1933.

<sup>3</sup> Массы Сатурна, Урана и Нептуна соответственно в 3.3, в 21 и в 19 раз меньше массы Юпитера.

стоянной. Но, 20 лет — это почти два полных периода обращения Юпитера, а также  $\frac{2}{8}$  периода обращения Сатурна и  $\frac{1}{4}$  периода обращения Урана. Полное отсутствие даже следов вышеуказанных периодичностей, очевидно, показывает не-планетарный генезис космической радиации.

Астрофизическая природа больших планет типа Юпитера в настоящее время выяснена значительно менее, чем физика планет типа Земли. Поэтому астрофизическая интерпретация этого отрицательного результата несколько труднее, чем в первом случае. Однако она, хотя бы отчасти, повидимому, возможна и здесь. Недавно стали известны факты, показывающие весьма низкие температуры ( $-140^\circ\text{C}$  для Юпитера,  $-150^\circ\text{C}$  для Сатурна) на излучающих поверхностях этих больших планет.

С другой стороны, атмосферы этих массивных тел, повидимому, весьма протяженные, и плотность их вряд ли мала. Если считать эти планеты внутренне-горячими небесными телами, тогда было бы, может быть, возможно предполагать происхождение космической радиации из какой-то центральной, эвентуально-перегретой области такой планеты. Однако низкие температуры на излучающей поверхности и сверхвысокие температуры в местах эвентуального локуса космической радиации требуют, при допустимых размерах температурного градиента, как условие равновесия планеты, весьма большой массы планетного материала, помещающейся между этими центральными и пограничными областями планеты. Последнее обстоятельство, очевидно, является совершенно или почти совершенно обескураживающим для идеи о больших планетах типа Юпитера, как эвентуальных космических локусах космической радиации, так как по самым скромным подсчетам уже небольшая часть этого промежуточного материала была бы способна поглотить даже жестчайшую часть космической радиации.

Резюмируя, мы можем заключить, что, как по наблюдениям — в пределах их точности, так и согласно имеющимся у нас теоретическим данным, в настоящее время космическую радиацию можно считать объектом вне-солнечного происхождения, расширительно понимая под этим термином объект, не исходящий из солнечной системы.

§ 6. Теперь астрономически остаются только две возможности для местонахождения космических источников космической радиации. Последние могут быть в:

- а) Галактической Звездной системе и
- в) во Вселенной вне-галактических туманностей.

Разберем вкратце каждую из этих возможностей. Звездная система Млечного Пути есть ближайшая к нам островная Вселенная (вне-галактическая туманность) или, может быть,<sup>1</sup> группа (облако) таких островных Вселенных. Своеобразие нашего относительного пространственного положения при этом состоит в том, что Солнце составляет часть галактиче-

<sup>1</sup> Shapley, Harvard Obs. Circ., 430, 1930.

ской Звездной системы и находится внутри последней на расстоянии около 33 000 световых лет от ее динамического центра. Галактическая Звездная система состоит, главным образом, из звезд: светлых (числом около 30 млрд. по статистике van Rhijn'a и Seares'a) и темных (число их оценивается цифрами такого же порядка величины), а также из светлых и темных туманностей и масс поглощающей свет материи,

В вышеуказанном динамическом центре Галактической системы, согласно динамическим данным, сконцентрирована весьма большая масса, того же порядка величины, что и приведенная выше масса посчитанных звезд. Однако физическое состояние материи галактического центра сейчас почти совершенно неизвестно, главной причиной чего является то обстоятельство, что область галактического центра окружена скрывающей ее от нас густой пеленой поглощающей свет материи. Все до сих пор перечисленные галактические объекты обладают одной характерной особенностью, а именно: галактической концентрацией, которая состоит в том, что галактический экватор (средняя линия Млечного Пути) является, в общем, областью обитания или, по крайней мере, областью максимального сгущения этих небесных тел.

Этому общему правилу подчиняются также и различной сложности галактические звездные агрегаты: например, так называемые звездные скопления и звездные облака, за исключением лишь одного, хотя и немногочисленного, но принципиально весьма важного класса звездных скоплений — кроме шаровых звездных куч.

Наше Солнце является весьма типичной галактической звездой. В самом деле, подавляющее большинство звезд галактической системы является так же, как и Солнце, звездами-карликами, со средним спектром типа G, т. е. с тем спектром, которым обладает и Солнце. Кроме того, и средняя масса галактической звезды весьма близка к массе нашего Солнца. Отсюда имеются веские теоретические основания полагать, что поскольку Солнце, по всем данным, не является возможным космическим локусом космической радиации, таковыми локусами не являются также и все галактические звезды или, по крайней мере, карлики, составляющие преобладающую часть этих звезд.

Однако, как в 1931 г. указывалось Jeans'ом,<sup>1</sup> можно думать, что вообще звезды не могут быть эвентуальными локусами космической радиации. Причины этого, в общем, такого же характера, как и высказанные в случае больших планет типа Юпитера. И у звезд, например, высокоперегретые области могут находиться лишь в весьма близких к их центру областях, отделенных от излучающей поверхности огромной толщей материала, которая должна была бы поглотить всякую и даже жестчайшую часть космической радиации, эвентуально генерированной в вышеуказанных центральных областях звезды.

Светлые и темные галактические туманности, по всей вероятности, суть огромные, чрезвычайно разреженные массы холодного газа или, воз-

можно, отчасти также массы холодной космической пыли. Эта их вероятная физическая природа делает эти объекты, по меньшей мере, сомнительными, как возможные локусы космической радиации.

Однако указанный раньше факт галактической концентрации позволяет проверить наблюдениями только что высказанные более или менее вероятные теоретические соображения.

Вследствие суточного вращения небесного свода высота Млечного Пути над горизонтом данного места будет испытывать периодические колебания с периодом в одни звездные сутки. В силу этого, вообще говоря, можно было бы обнаружить периодическое возрастание интенсивности космической радиации в течение звездных суток. Я указывал уже, однако, что никаких колебаний такого рода в пределах ошибок измерений не было обнаружено. Сейчас необходимо особо подчеркнуть, что есть другое, притом совершенно независимое доказательство отсутствия или слабости влияния Млечного Пути, т. е. этой главной, по всей своей эффективности, осевой зоны звездного неба на величину интенсивности космической радиации.

Я говорю о кривой распределения интенсивности космической радиации по углам с вертикалью, о которой, в другой связи, мне приходилось уже упоминать в начале этого доклада.

Здесь нас будет интересовать то обстоятельство, что эта кривая, исправленная за атмосферное поглощение, повидимому, обнаруживает полную изотропию в пространственном распределении интенсивности космической ионизации (конечно, опять-таки, в пределах ошибок измерения). Этот факт вновь показывает отсутствие на небе интенсивных и весьма тесно локально ограниченных источников космической радиации и, в частности и в особенности, это обстоятельство, повидимому, также со своей стороны отрицает роль Млечного Пути в этом деле.

§ 7. Как я уже упоминал раньше, Галактическая Звездная система не является исключительным образованием в ряду других мета-галактических объектов — вне-галактических туманностей и их групп или „облаков“. Галактическая Звездная система является либо гигантским представителем класса поздних спиральных или, может быть, даже класса<sup>1</sup> неправильных туманностей, и тогда проблема галактического ядра выступает как проблема ядра такой предполагаемой гигантской туманности; либо же, согласно *Shapley*, Галактическая Звездная система есть ассоциация — облако некоторого числа вне-галактических туманностей, по большей части уже вполне разложившихся на звезды. Надо отметить, правда, что после прошлогоднего открытия *Hubble*'ом шаровых звездных куч в большой туманности Андромеды и в некоторых других близких галактиках идея *Shapley* об эквивалентности шаровых звездных скоплений внешним галак-

\*

<sup>1</sup> Употребляя общепринятую для вне-галактических туманностей классификацию *Hubble*'а.

тикам, а отсюда отчасти и только что указанная его концепция строения галактической звездной системы, потерпела некоторый крах. Однако, как бы то ни было, наличие на галактическом экваторе в направлении к галактической долготе  $l = 325^\circ$  сравнительно узкой пространственной области, в которой сосредоточена масса порядка  $10^{11}$  масс Солнца, является почти несомненным, а это не может не быть учтено в наших поисках возможных космических локусов космической радиации. В самом деле, с одной стороны, мы имели, что почти все области галактической системы, за исключением, может быть, этой последней, почти совершенно ни с какой стороны неизученной области, исключаются из нашего анализа. С другой стороны, подчеркнутая выше изотропия пространственного распределения интенсивности космической радиации, как я покажу несколько позже, повидимому является довольно категорическим указанием на то, что главные локусы космической радиации суть находящиеся вне нашей галактической системы вне-галактические туманности.

При этом из сказанного мною раньше о вероятной неэффективности звезд, как возможных локусов космической радиации, теоретически следует вывод, что и во вне-галактических туманностях возможным локусом последней, повидимому, не могут быть, например, звезды в спиральных ветвях спиралей, а ими скорее являются, вероятно, центральные ядра вне-галактических туманностей. Я уже говорил, что галактическое ядро есть, возможно, нечто вроде ядра большой спирали Млечного Пути. Во всяком случае по концентрации огромной массы, порядка  $10^{11}$  масс Солнца, в не слишком, повидимому, большой пространственной области оно, может быть, до некоторой степени сходно с ядрами внешних галактик, в которых масса порядка  $10^9$  масс Солнца сконцентрирована в эллипсоидах со средним поперечником в несколько сот парсеков. Поэтому, может быть, были бы основания ожидать известного положительного эффекта, исходящего из этой области неба. Однако этот эффект, вероятно, аннулируется или ослабляется возможным отрицательным эффектом галактического поглощения.

§ 8. Перейдем к вопросу о возможности вне-галактических локусов космической радиации. Прежде всего нужно покончить с мыслью, как с астрономически невероятной, высказывавшейся в свое время Millican'ом о возможности происхождения этой радиации из между-галактического пространства, т. е. из пространства между отдельными галактиками.<sup>1</sup>

Дело в том что, как было недавно убедительно доказано Shapley и van Rhijn'ом, между-галактическое пространство есть пространство практически-пустое, по крайней мере в смысле свободы его от материи, хотя сколько-нибудь способной поглощать или рассеивать свет от далеких галактик. Правда, как указал, например, в своей последней работе Hubble,<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Т. е. вне-галактическими туманностями.

<sup>2</sup> *Astrophys. Journ.*, 79,8, 1934.

пока не исключена еще возможность наличия в между-галактическом пространстве некоторого количества материи в виде метеоров и космической пыли. Но даже если это и так, все равно, как мы видели раньше, этот класс небесных тел, вообще, вряд ли может интересовать нас в смысле наших поисков возможных локусов космической радиации. Следовательно, если космическая радиация действительно происходит из мета-галактических областей, тогда ее локусам должны быть сами вне-галактические туманности. Я указывал уже раньше на отсутствие заметных эффектов, связанных с галактическим поясом. Со всем ранее сказанным уже одно это обстоятельство является некоторым доказательством вне-галактического генезиса интересующего нас явления. Однако еще более интересным аргументом, почти непосредственно указывающим на вне-галактические туманности, как на вероятные локусы космической радиации, является отмеченная уже раньше изотропия поля интенсивности последней. Теоретически такое или примерно такое пространственное распределение интенсивности космической радиации как раз и должно было бы быть, если локусы ее лежат во вне-галактических туманностях.

В самом деле,<sup>1</sup> как хорошо известно, пространственное распределение вне-галактических туманностей обладает в среднем равномерностью, а также, за вычетом галактического поглощения, и изотропией. Преобладающее большинство внешних галактик имеет центральные ядра<sup>2</sup>. Далее хорошо известна большая физическая однородность внешних галактик, рассеяние физических характеристик которых в общем невелико. Все сказанное могло бы послужить объяснением наблюдаемой изотропии потока космической радиации. Аналогичные соображения в пользу вне-галактического происхождения космической радиации были высказаны недавно Jeans'ом.

§ 9. Но если космическая радиация имеет вне-галактическое происхождение, то галактический пояс, содержащий поглощающую свет материю, возможно, оказывает некоторое, хотя относительно небольшое, влияние на распределение интенсивности космической радиации в смысле ослабления последней. Однако, как этот вопрос, так и вопрос о возможном влиянии пока загадочной области галактического центра необходимо будет экспериментально изучить при помощи особой методики — при помощи так называемых направленных методов, т. е. методов, позволяющих вырезать определенный телесный угол. Сейчас у меня нет времени хотя бы кратко описать могущие здесь быть употребленными методы. Скажем сейчас, что, повидимому, только при помощи таких методов можно будет, например, окончательно экспериментально убедиться в вероятном отсутствии локусов космической радиации в Солнце, больших планетах, звездах различных типов, а также, что, пожалуй, важнее, изучить с их помощью роль

<sup>1</sup> См. например Hubble, loc. cit.

<sup>2</sup> Например по Mineur'y (*L'Astronomie*) только 30% галактик суть вполне разделенные на звезды туманности класса Irr (неправильные).

галактического пояса и области галактического центра. Если указанная выше схема верна, тогда вероятно, что влияние последних областей суть скорее галактические эффекты второго порядка, наложенные на вероятно почти равномерно-изотропное вне-галактическое поле космической радиации. Если влияние этих особых галактических областей в действительности невелико, тогда было бы понятно, почему при суммарных методах наблюдения, каковыми, по сути дела, являлись методы, употреблявшиеся до сего времени в космической радиации, не удавалось обнаружить эти возможные эффекты. Элиминация при помощи новых методов этих областей неба, кроме вышеуказанных, возможно позволит ближе исследовать этот важный, как для астрофизики, так и для физики, вопрос.

При всем различии своих теоретических интерпретаций, например, Milikan, Jeans и Lemaître согласно признают выдающееся и, возможно, даже исключительное значение космической радиации, как космогонического, эволюционного и космологического фактора первостепенной важности. Однако, для конкретной оценки астрофизического смысла и значения космической радиации прежде всего необходимо точное установление ее космических локусов. Если таковыми, действительно, являются, как я пытался показать в этом докладе, вне-галактические туманности, тогда проблемы астрофизического значения космической радиации приобретают поистине космический характер, так как именно вне-галактические туманности являются основными телами доступной нам части Вселенной, и их устройство и эволюция тесно связаны с устройством и эволюцией всей наблюдаемой части Мира.

В свете поисков космических локусов космической радиации и тех результатов этих поисков, которые, повидимому, намечаются, в частности очень важно исследовать проблему внеземной интенсивности космической радиации, а также несколько глубже, чем до сих пор, исследовать вопросы физики внешних галактик и, в особенности, физики их ядер.

Космическая радиация, начинающаяся в безднах космического пространства, здесь на Земле интересует нас особенно в стратосфере, где интенсивность ее максимальна. Отсюда — большая и глубокая внутренняя связь между астрономической стороной проблемы космической радиации и проблемами стратосферы. Эта связь и является причиной этого астрофизического доклада на I Стратосферной конференции. \*

---

\* Замечание при чтении корректуры. Уже после прочтения этого доклада на Конференции вышла работа Zwicky and Borade (Proceed. Nat. Acad. Sciences, 20, 254 и 259, 1934), в которой они также выдвигают идею о вне-галактическом генезисе космической радиации и пытаются на не совсем ясных основаниях связать его с пока еще малоизученным явлением так называемых супер-новых звезд. Интересные расчеты авторов основаны на многих гипотезах, в числе которых особенно плохой, как они отметили и сами, является гипотеза об отсутствии влияния галактического поглощения на теоретически вычисленную ими меру потока энергии космической радиации у поверхности атмосферы земли. Это делает идею Zwicky and Borade пока скорее пробной.

## ПРЕНИЯ

**Н. Н. Калитин** задает вопрос т. Вернову: какую он предполагает сделать температурную изоляцию, чтобы температура была внутри прибора постоянной, как он сказал, в то время как диапазон изменения температуры может быть громадным? Что он предполагает в этом направлении сделать?

**С. Н. Вернов.** Одной термоизоляции будет недостаточно; имеется специальный терморегулятор, который поддерживает температуру постоянной. Как источник тепла применяется реакция между концентрированной серной кислотой и щелочью.

**Акад. А. Ф. Иоффе.** Нужно использовать все методы измерений, которые имеются в нашем распоряжении; и, несомненно, интегральный метод, как общая ионизация, создаваемая лучами определенной степени поглощаемости, представляет интерес. Сейчас нас все больше интересует возможность изучения индивидуальных лучей при помощи счетчика и камеры. Наиболее полную информацию о лучах, достаточно проникающих, может дать именно камера Вильсона; комбинированная с магнитным полем, как показали классические опыты Скобельцына, она является прибором, который раскрывает природу этих лучей. Главное внимание следует направить на еще неразрешенную задачу использования при полетах шаров-зондов таких автоматических приборов, которые дают сведения об отдельных частицах, составляющих эти лучи.

Это задача возможная, и только что сделанный доклад показывает, что имеются определенные предложения, как это сделать.

Можно бы значительно упростить установку, о которой говорил докладчик. В частности, аккумуляторная батарея является самой тяжелой частью и в то же время, повидимому, не наиболее надежной. Одно время приходилось пользоваться довольно распространенными небольшими батарейками нормальных элементов, изготовляемых Геттингенской фирмой. Эти маленькие нормальные элементы, батарея которых в 100 вольт занимает очень небольшой объем с весьма малым весом, являются исключительно устойчивым источником напряжения, когда не нужно больших токов, что в данном случае как раз имеет место. Следовательно, при обеспечении хорошей изоляции такая система батарей нормальных элементов дает в несколько раз большую устойчивость напряжения, чем аккумуляторная батарея.

Опыт показал, что достаточно хорошим источником напряжения для электрометров является самый простой элемент — вода с цинком и медью. Они дают весьма устойчивые результаты. Единственные удовлетворительные результаты были получены именно при пользовании самыми простыми элементами. И это можно использовать в условиях полета, особенно при автоматических полетах.

Если пользоваться свинцовым аккумулятором, то почему его не использовать как экран и почему иметь отдельно свинец в качестве экрана как отдельно дающий напряжение; почему не поместить батарею так, чтобы она была одновременно и экраном?

Интересно изучить ионизованные слои воздуха, которые появляются, главным образом, в полночь, о чем здесь было прочитано интересное сообщение, и которые не могут быть приписаны ультрафиолетовой радиации солнца: они, может быть, являются той областью, в которой поглощается большая часть космической радиации и, следовательно, создается ионизация. Это одна из возможных сейчас гипотез.

В связи с этим стоит вопрос о доступности высоты 70—100 км. Такие высоты, недоступные для наших стратостатов, могут быть достигнуты путем применения комбинации стратостата с ракетой. Если ракета будет пущена на такой высоте, где давление воздуха равно 20 мм, то сопротивление при больших скоростях может стать ничтожным, и ракета может подняться на достаточно большую высоту—50—60 км, как это показывают приблизительные подсчеты. Возможно, что такие ракеты удастся снабдить небольшой аппаратурой.

Особенно интересны могут быть эти наблюдения вблизи магнитных полюсов земли.

Что касается метода измерения лучей, то до сих пор мы измеряем лучи как некоторое механическое явление, интересуясь их скоростью, поглощением и т. д., интересна и та материя, особенно в высоких слоях, которую они собой представляют. С этой целью можно было бы создать достаточно сильное электрическое поле в небольшом объеме и отрицательный и положительный полюсы охлаждать жидким воздухом. Такие механические пальцы, заполненные внутри жидким воздухом, могущие, как мы хорошо знаем из наших опытов, в течение многих часов прекрасно поддерживать низкую температуру, может быть, позволили бы конденсировать те очень медленно движущиеся частицы, которые попадают в самый высокий слой атмосферы и которые, может быть, приносят, хотя и в небольшом количестве, еще какие-то вещества, помимо известных нам; можно воспользоваться их зарядом, чтобы тем самым конденсировать то ничтожное число посторонних частиц, которое не составляет органической части стратосферы.

Это относится и к вопросу о взятии проб в стратосфере. Было бы целесообразно, при взятии проб, конденсировать на охлажденных жидким воздухом металлических пальцах находящиеся там вещества, и, помимо содержания кислорода, азота, водорода и гелия, который получается другим путем, конденсировать примеси, которые, может быть, имеются там и легко конденсируются.

**Л. В. Мысовский** задает вопрос о сохранении азимутального положения стратостата и шаров-зондов. Как к этому относятся конструкторы, насколько это действительно возможно, и трудно ли осуществление? Этот вопрос имеет очень существенное значение для целого ряда измерений, в частности для изучения направленности космических лучей на различной высоте. Если бы было возможно придать шару-зонду или стратостату определенное положение, то можно было бы получить ценные данные хотя бы при помощи тех же счетчиков.

**П. А. Молчанов.** Возможность придать шару-зонду или стратостату только определенное направление имеется. Стратостат вращается при полете; во время полета стратостата „Осоавиахим“ было заметное вращение, скорость которого составляла примерно 1 оборот в 3—5 минут;

это сравнительно небольшая скорость, но можно иметь приспособление вроде добавочного горизонтального пропеллера, регулируемого соответствующим приспособлением, связанным или с действием солнечной радиации при помощи фотоэлемента, или особой магнитной системы; это приспособление по весу годно для стратостата, но едва ли возможно его применить для шаров-зондов (вес его будет около 10 кг). На стратостате же осуществление такого заранее заданного положения относительно меридионального вполне возможно.

**М. А. Бонч-Бруевич.** Было бы полезно при стратостатном полете производить накачивание в некоторые баллоны определенного количества внешнего воздуха, что даст возможность судить о составе стратосферы.

**С. Н. Вернов.** Что касается постоянства работы аккумуляторов в установке, то опыт показывает, что в течение суток их напряжение меняется не больше, чем на 2 вольта. Вес этих аккумуляторов довольно малый — 4 г на вольт. Вопрос о получении аккумуляторов меньшего веса можно разрешить. Мною была взята батарея, применяемая П. А. Молчановым для шаров-зондов. Допустимо, что здесь можно сделать и иначе.

Что касается использования аккумуляторной батареи в качестве фильтра, то в моей установке, очень малого размера, аккумулятор между счетчиками не уместится. Но если поместить свинцовый фильтр над счетчиком, тогда это вполне возможно.

**П. Н. Тверской.** Как известно, космические лучи, начиная с высоты в 3 км, являются единственным источником ионизации тропосферы. Поэтому было бы весьма интересно, имея данные по интенсивности лучей, решить вопрос о проводимости. Однако наши знания по ионизации, которая под влиянием космических лучей производится в свободной атмосфере, а не внутри герметически закрытого сосуда, — недостаточны. Следовало бы собрать значительный материал, на основании которого можно было бы произвести анализ.

**М. С. Эйгенсон.** Задача завоевания стратосферы распадается на две части: овладение нижними слоями стратосферы и завоевание верхних ее частей.

Что касается завоевания верхних частей стратосферы, то ни один из тех приборов, которые были здесь продемонстрированы, не дает возможности их достигнуть, а между тем в отношении изучения космических лучей исследование верхних слоев представляет наибольший интерес.

При исследовании этих верхних слоев можно было бы пользоваться методом ракет. Этот метод и вообще ракетное дело не получили еще у нас достаточного развития. Однако мы уже имеем первые, хотя и робкие шаги в деле ракетоплавания, которые приведут, надо думать, в ближайшем будущем к большим результатам. С этой точки зрения необходимо уделять большее внимание методу ракет, так как это даст возможность продвинуться в изучении космических лучей.

**С. Н. Вернов.** При изучении космических лучей по направлению вовсе не является обязательным поддерживание постоянного направления, если будет равномерное вращение.

Что касается фиксации по отношению к магнитному меридиану, то А. Б. Вериге предложено выбрать ориентацию по солнцу.

**А. Б. Вериге.** Утверждение П. Н. Тверского о необходимости изучения фактической ионизации в средних и верхних слоях атмосферы совершенно правильно. Подходом к этому может служить выяснение влияния самого прибора на ионизацию внутри его камеры при действии космических лучей.

Попытки измерения ионизации, отвечающей той, которая имеет место в окружающем прибор атмосферном воздухе, делал Регенер, посылая на шарах-зондах электрометр, камера которого была не герметична, и давление в ней равнялось внешнему атмосферному давлению. Его результаты были таковы, что ионизация в таком электрометре оказалась одинаковой с ионизацией в герметическом электрометре, при пересчете на разность давлений. Вторым вопросом является вопрос о влиянии стенок самого прибора на процесс ионизации внутри его камеры, и это влияние нужно выяснить при следующих полетах.

**Рудой** предлагает для изучения интенсивности космических лучей использовать некоторые химические реакции, протекающие при очень низких температурах в том случае, если им сообщить предварительно некоторую энергию (энергию активации), которую могут дать космические лучи.

**А. Б. Вериго.** Возможно, что космические лучи могут быть обнаружены и фотографическим путем. Можно было бы попытаться произвести на больших высотах исследования фотографическим методом.

**Акад. А. Ф. Иоффе.** Доклад Скобельцына показал, как мало нами изучены свойства космических лучей и как много противоречий в том немногом, что мы знаем. Такое положение открывает широкое поле для догадок и фантазии о происхождении этих лучей.

Мы заслушали два доклада на эту тему, здесь мы вышли из области стратосферы в область Галактики, за пределы, доступные наблюдению.

**Морозов.** Несколько лет тому назад в журнале „Société“ были помещены две фотографии. На одном снимке представлен человек при полном солнечном освещении и около него длинная черная тень; другой снимок изображал этого же человека при том же освещении, сфотографированного в ультрафиолетовом свете, причем около человека тень пропала. Очевидно, тень исчезла туда же, куда пропадает тень, когда солнце закрыто облаками. Наверху нашей атмосферы существует какой-то слой (может быть слой озона или какой-либо другой), который всегда закрывает нас от этих ультрафиолетовых лучей, а следовательно может закрывать нас и от космических лучей.

Падая на этот слой, космические лучи от него отражаются со всех сторон. Следовательно, направление этих лучей никогда не удастся определить: идут ли они от солнца или от другого пункта.

Если рассматривать вопрос с астрономической точки зрения, то можно полагать, что скорее всего источником этого излучения могут быть те темные пространства в созвездии Стрельца и Сатурна, которые находятся около центра вращения всей Галактики. Созвездия Стрельца и Сатурна освещают верхние слои неба, откуда происходит такое же излучение, как в пасмурную погоду. Но ведь созвездия Стрельца и Сатурна заходят за горизонт, после чего эти явления должны были бы пропасть, что было бы совершенно правильно, если бы мы не знали явлений флуоресценции и фосфоресценции.

Если бы космические лучи падали на этот верхний слой и рассеивались в нем, то они вызвали бы в нем эти явления. Мы получим малую или совсем незаметную разницу в их действии днем или ночью.

Для решения этого вопроса лучше всего начать исследования у северного полюса в тех местах, где области Стрельца и Сатурна мы не видим длительное время. Тогда может быть замечено или повышение или понижение интенсивности космических лучей.

**М. А. Бонч-Бруевич** обращает внимание на область сильно ионизированных слоев атмосферы. Это явление может быть вызвано одним из компонентов, содержащимся в космическом излучении. Следует подчеркнуть необходимость и полезность этих исследований в полярной области, где все явления приобретают особенно ясный и отчетливый характер.

Что касается происхождения космической радиации, то с чисто электротехнической точки зрения интересно задать вопрос астрономам: отчего никогда не принималась во внимание возможность существования электрических полей в мировом пространстве? Мы имеем в атмосфере электрическое поле в 100—200 вольтметров, мы имеем грозовой разряд с разностью потенциалов в миллионы вольт. Неужели в мировом пространстве этим маленьким явлениям не соответствуют более грандиозные явления? Нельзя ли предположить, что наша солнечная система имеет миллионные доли вольт на метр, которых достаточно, чтобы накопить эти миллиарды и обеспечить образование таких потоков, которые дали бы те результаты, которые здесь были доложены?

---



## **ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ**



Н. А. КОЗЫРЕВ

## О ЛУЧЕВОМ РАВНОВЕСИИ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

В 1908 г. Gold показал, что температура верхних слоев земной атмосферы должна определяться условиями лучевого равновесия. С такого рода задачей, как задача лучевого равновесия, постоянно приходится иметь дело астроному при изучении звездных атмосфер и при изучении состояния звезд вообще. Поэтому не удивительно, что и применительно к нашей земной атмосфере этот вопрос в основном разрабатывался астрономами — я имею в виду работы Emden'a и Milne'a. За неимением времени я не могу останавливаться на критике этих работ и буду прямо излагать вопрос лучевого равновесия земной атмосферы в том виде, как это мне представляется наиболее естественным.

Рассмотрим сначала, так сказать, усредненную Землю, отвлекаясь от климата земной поверхности, и будем также рассматривать лишь только средний энергетический поток, идущий от Солнца. Допустим еще, что вся эта картина совершенно статична. Тогда земная атмосфера должна находиться в лучевом равновесии. 60% солнечной радиации, падающей на землю, поглощаются и переходят в тепловую энергию, а 40% отдаются в пространство и определяют, таким образом, тепловое альbedo земли. Из этих 60% большая часть непосредственно падает на землю и ею поглощается. Энергия, отдаваемая обратно земной поверхностью, будет излучаться в виде инфракрасной радиации с максимумом около 10  $\mu$ . Для этих длин волн земная атмосфера мало прозрачна, и поглощение их определяется, в основном, присутствием водяного пара. Таким образом, в первом приближении можно решать задачу лучевого равновесия этой статической атмосферы в предположении, что имеет место равновесие газов с нагретой некоторым образом поверхностью. Оптическая толщина этой атмосферы определяется содержанием водяного пара. Как показывает решение задачи лучевого равновесия, в такой атмосфере 4-я степень температуры будет линейно связана с оптической глубиной, считаемой от внешней границы атмосферы. При малых оптических глубинах, т. е. во внешних слоях атмосферы, температура будет мало меняться, и эта изотермичность является весьма характерным следствием лучевого равновесия. Для сохранения энергетического баланса необходимо, чтобы отдаваемый Землею поток равнялся притоку солнечной энергии. Это условие опреде-

ляет эффективную температуру Земли в  $-30^{\circ}\text{C}$ . Отсюда температура верхней границы земной атмосферы получается порядка  $-60^{\circ}\text{C}$ . Для того, чтобы получить представление об изменении температуры с высотой, необходимо знать коэффициент поглощения. Весьма затруднительно точно оценить коэффициент поглощения, так как нас интересует некоторое эффективное его значение (весовое среднее в довольно широком интервале длин волн). При малых оптических толщинах коэффициент поглощения следует брать большим, чем при больших. Сопоставляя же все данные, которые имеются относительно поглощения водяными парами, можно прийти к заключению, что при оптической толщине порядка единицы коэффициент поглощения следует взять около 20 на грамм водяного пара. Если распределение водяного пара в статической атмосфере определяется диффузией и имеется полное насыщение в нижних слоях, то оптическая толщина всей атмосферы будет порядка единицы. Тогда близ поверхности земли температура будет порядка эффективной температуры, т. е. порядка  $-30^{\circ}$ , при температуре  $-60^{\circ}$  в верхних слоях.

Посмотрим, какие изменения произойдут в этой статической картине, если начнется смена дня и ночи, смена времен года. Если прямой солнечный луч падает на поверхность земли, то благодаря рельефу местности создаются предпосылки для возникновения конвекционных токов. Конвекционные токи могут тормозиться, или ускоряться. Это зависит от того, является ли рассматриваемая нами атмосфера устойчивой, в конвекционном смысле, или нет. Атмосфера будет неустойчива, если температурный градиент лучевого равновесия больше температурного градиента адиабатических процессов. Благодаря испарению с поверхности, в атмосфере будет наблюдаться быстрое падение коэффициента поглощения с высотой, и можно показать, что в этом случае градиент лучевого равновесия, при заметных оптических глубинах, будет превышать градиент адиабатических процессов. Таким образом, в нижних слоях земной атмосферы будет развиваться конвекция. Это — тропосфера. В верхних же слоях, поскольку они изотермичны, не могут идти конвекционные токи — они будут затухать, и мы будем иметь стратосферу. Нижняя граница стратосферы определится равенством градиентов лучевого и конвекционного равновесий. Принимая в соответствии с наблюдательными данными падение коэффициента поглощения или удельной влажности пропорциональными квадрату давления и учитывая возможный эффект теплоты конденсации паров, мы оценим оптическую глубину нижней границы стратосферы порядка 0.2 оптических единиц.

В тропосфере, где возможно движение конвекционных токов, установится температурный градиент, соответствующий конвекционному равновесию, ибо, как не трудно показать, уже при скоростях конвекционных токов порядка нескольких сантиметров в секунду количество энергии, переносимое ими, превысит количество энергии, передаваемое путем лучеиспускания. Стратосфера же попрежнему будет находиться в лучевом рав-

новесии, но уже не с поверхностью земли, а со всей системой тропосферы и Земли. Поток энергии, отдаваемый Землей, должен оставаться таким, чтобы эффективная температура была  $-30^{\circ}$ . Благодаря малой оптической толщине стратосферы, температура ее будет порядка  $-60^{\circ}$ , и стратосфера будет почти идеально изотермична. Температура земной поверхности может быть определена, если известна высота нижней границы стратосферы. Действительно, если, например, принять высоту этой границы равной 11 км, то, идя вниз с конвекционным градиентом, мы близ земной поверхности получим температуру порядка  $+15^{\circ}$  С, что соответствует средней годовой температуре Земли. Высоту нижней границы стратосферы можно вычислить из условия, что ее оптическая глубина равняется 0.2. Так как, с одной стороны, коэффициент поглощения плохо известен, с другой же стороны, мы имеем очень скудные данные относительно влажности в стратосфере, то почти невозможно точно оценить эту высоту, и, пожалуй, можно сказать лишь, что высота 11 км не находится в противоречии с предположением об оптической толщине стратосферы в 0.2.

Температура стратосферы может оставаться неизменной, в то время как внизу будут происходить сильные изменения температур. Объясняется это тем, что в стратосфере отдача тепла возможна лишь путем лучеиспускания, и, следовательно, благодаря низким температурам процесс отдачи или нагревания будет происходить чрезвычайно медленно. Если, например, температура тропосферы упала бы до абсолютного нуля, то стратосфера охладилась бы на несколько градусов лишь по прошествии нескольких суток. Естественно поэтому, что стратосфера мало реагирует на изменения, происходящие внизу. Те быстрые изменения температур, которые иногда наблюдаются в стратосфере, по всей вероятности могут быть отнесены за счет бурных процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы, при которых возможны вторжения газовых масс в стратосферу. Годовые колебания уровня стратосферы — зимой она бывает ниже, чем летом — качественным образом находятся в соответствии с тем, что оптическая толщина водяных паров для этого уровня имеет определенное значение. Зимой, когда влажность меньше, чтобы иметь ту же оптическую толщину, стратосфера должна опуститься несколько ниже.

Перейдем теперь к реальной Земле. На экваторе Земля получает больше лучистой энергии, чем на полюсе. Поэтому, по сравнению с средней картиной, температура на экваторе будет повышаться, а на полюсах понижаться. В тропосфере начнется горизонтальное перемещение газовых масс, которое установит определенный температурный градиент, соответствующий повышению температуры от полюса к экватору. Каков этот температурный градиент — это уже задача динамической метеорологии. Благодаря более высоким температурам на экваторе влажность будет больше, чем на полюсах, и стратосфера на экваторе будет поднята выше. Количественный подсчет, который можно произвести, показывает, что если на полюсе высота стратосферы 11 км, то на экваторе она должна

быть 17 км, что находится в полном соответствии с наблюдательными данными. Отдельные местные колебания влажности на земной поверхности едва ли могут сказаться на высоте стратосферы, но весьма возможно, что над большими материками стратосфера находится несколько ниже, чем над островами Тихого океана.

Мы видели, что стратосфера должна быть изотермична. Если, однако, подниматься в стратосферу все выше и выше, то можно достигнуть тех областей, где, с одной стороны, плотность станет чрезвычайно малой и где, с другой стороны, будет интенсивно происходить ионизация и диссоциация молекул. Идущее от Солнца излучение, которое непосредственно поглощается стратосферой и которым мы до сих пор пренебрегали, будет играть здесь исключительную роль. Температура этих слоев будет уже определяться не столь количеством падающей радиации, как ее качеством — распределение энергии в спектре. Поэтому, в самых верхних слоях атмосферы принципиально возможна температура порядка температуры Солнца, т. е. порядка нескольких тысяч градусов.

---

В. А. АМБАРЦУМИАН

## О ДИССИПАЦИИ АТМОСФЕРЫ

Известно, что молекулы, находящиеся в самых верхних слоях нашей атмосферы, обладающие скоростями, превосходящими некоторую критическую скорость, могут покинуть землю, если на пути не произойдет столкновения с другими частицами. Очевидно, мы можем рассчитать, какое количество частиц покидает таким образом пределы земной атмосферы.

Для этого нужно лишь вычислить, какое количество частиц с такими большими скоростями производится в каждом слое атмосферы и, кроме того, вычислить, какая доля из произведенных таким образом частиц с большими скоростями может покинуть атмосферу без столкновения. Таким образом, мы видим, что диссипация зависит от того механизма, с помощью которого создаются частицы с большой скоростью.

Ряд авторов работали над этой темой и предполагали совершенно естественно, что основная причина образования частиц с большими скоростями — столкновение атомов, которое всегда приводит к образованию частиц с большими скоростями. Но если температура газа низка, то число производимых в единицу времени частиц с большой скоростью будет очень мало. Это число зависит также от массы атомов или молекул. Если, согласно теории Джинса и др., произвести соответствующий расчет, то оказывается, что время, потребное для того, чтобы произошла значительная диссипация, значительное разрушение нашей атмосферы, если бы она состояла из чистого водорода, превосходит в тысячу раз все мыслимые оценки возраста земли. Я уже не говорю о других газах, где диссипация будет идти бесконечно медленнее. Было отмечено, что та температура, которую мы имеем, не приводит к сколько-нибудь значительной диссипации атмосферы. Однако, оценивая скорость диссипации атмосферы, надо иметь в виду тот слой, о котором говорил в конце своего доклада предыдущий докладчик. Надо иметь в виду, что во внешних слоях земной атмосферы, находящейся вне непосредственного действия непоглощенного света, происходят процессы фото-диссоциации, которые приводят к тому, что частицы получают большие скорости. Эти частицы с большой скоростью будут иметь такое распределение, что в среднем соответствует, примерно, той температуре, которой обладает Солнце, именно, 6 тыс. градусов. Поэтому, если только этот слой осуществляется на такой высоте,

где плотность еще достаточно велика, то несомненно влияние этих слоев на скорость диссипации нашей атмосферы будет велико. Если же слой очень высок, в этом случае влияние на диссипацию будет очень мало.

Диссипация атмосферы, главным образом, происходит из того слоя, где плотность настолько мала, что можно считать, что если из этого слоя пустить молекулу вверх, то она благодаря небольшому количеству частиц не испытает никакого столкновения, или число столкновений будет порядка не больше единицы. Можно показать, что главное участие в диссипации принимает этот слой. Все зависит от того, достигает ли температура в этом слое нескольких тысяч градусов, или же там еще имеет место температура стратосферы. Оказывается, что для того, чтобы ответить на этот вопрос, нужно дать решить некоторые вопросы фотохимии. Все зависит, конечно, от того, поглощается ли в этих слоях та энергия, которую будет создавать эта большая скорость. Каким образом создаются эти большие скорости? Приведем такой пример: допустим, мы имеем водородные или азотные молекулы в верхних слоях атмосферы, где происходит поглощение соответствующих коротковолновых участков. Если водородная молекула поглощает некоторый квант света, эта молекула переходит в возбужденное состояние, в котором возбужден прежде всего электрон и возбуждено некоторое колебательное состояние. Затем эта молекула испускает некоторый квант, но может вернуться не в прежнее, первое колебательное состояние, т. е. самое низкое колебательное состояние, а в более высокое колебательное состояние. И тогда в результате столкновения эта колебательная энергия, которая осталась и которая не может быть излучена, поскольку соответствующий переход молекулы запрещен, эта энергия переходит в кинетическую энергию поступательного движения.

Этот механизм является основной причиной, благодаря которой в самых верхних слоях атмосферы будет осуществляться высокая температура. Оказывается, что действительно тот слой, в котором главным образом будет происходить диссипация, должен находиться при высокой температуре. Происходит это потому, что поглощение до этого слоя будет ничтожно не потому что над этим слоем мало частиц, а потому что в более высоких слоях молекулы будут диссоциированы. Вследствие того, что выше лежащий слой прозрачен, он пропускает те лучи, которые возбуждают соответствующую молекулу, и поэтому в этом слое, где главным образом может происходить диссипация, будет царить высокая температура.

Конечно, здесь все зависит от того типа молекулы, который мы взяли. Если бы у нас была молекула, не состоящая из одинаковых атомов, а полярная, то дело было бы сложнее, потому что тогда диссоциация в верхних слоях была бы ничтожной. Благодаря тому, что в верхних слоях царит, таким образом, высокая температура, оказывается возможным сильно уменьшить цифру периода диссипации и показать, что она уже не может быть такой несравнимой с теми цифрами, которые мы привыкли иметь, оценивая возраст Земли, т. е. миллиарды лет.

Д. И. ЕРОПКИН

## К ВОПРОСАМ ЭВОЛЮЦИИ СОСТАВА ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР

Мне хотелось бы выразить свое восхищение перед ясным изложением трудных и интересных вопросов двумя предыдущими ораторами. Однако, решая астрофизическими методами геофизические проблемы, астрофизики должны помнить, что Звезда есть вещь более простая, чем Земля, и изучение звездной атмосферы, вообще говоря, легче, чем земной атмосферы и стратосферы.

Мне остается дополнить доклад<sup>1</sup> несколькими замечаниями о составе земной и планетных атмосфер.

Можем ли мы ставить вопрос о сравнении состава планетной атмосферы, и в частности земной, с атмосферой Солнца? Несет ли в себе наша атмосфера хотя бы какие-нибудь следы ее, как учит классическая космогония, некогда раскаленного звездного происхождения?

Если мы обратимся к геохимии и геологии, то будем поставлены перед поразительными по глубине идеями — современными итогами этих наук. В одной из своих последних работ акад. В. И. Вернадский так формулирует эти выводы:

„Существование на нашей планете атомной энергии, непрерывного нагревания ею земного вещества, с избытком достаточно для полного объяснения всех тех явлений, которые раньше считались последствиями некогда бывшего расплавленного состояния нашей земли, видимыми в ее геологической истории. Гипотеза о некогда расплавленной, огненно-жидкой или горячей, медленно охлаждающейся планете делается лишней и должна быть оставлена без внимания при толковании геологических явлений, т. е. при изучении земли в пределах геологического времени“.

Пусть радиоактивные процессы, пусть печать непрерывающейся в течение более миллиарда лет жизни, с ее залежами каменного угля, пластами известняков на несколько километров по вертикали, меловые горы и коралловые острова, — все то, что объединяется термином „биосфера“, пусть всем этим стерты последние следы космогонического толкования происхождения Земли, последние намеки на гипотезу Канта-

---

<sup>1</sup> Два предыдущих и настоящее сообщение делалось на Конференция как один доклад на тему: „Теория стратосферы с точки зрения астрофизики“.

Лапласа. Но история атмосферы, эволюционирующей по законам астрофизики, неужели же не оставляет места космологическому объяснению происхождения ее состава?

Современные данные геохимии, исследования состава метеоритов, наконец, за некоторыми исключениями, данные звездной астрофизики делают сильным заключение, что материя, по крайней мере там, где она доступна нашим наблюдениям, как правило, построена химически однородно в одинаковых фазах эволюции; если есть исключения, то они должны быть объяснены. Диссипация (dissipation — растрата, проматывание состояния) и фото- и термохимические реакции дают определенные пути для объяснения наблюдаемых исключений.

В недавно вышедшей „Геохимии“ акад. А. Е. Ферсмана даются специальные кривые распространенностей в космосе различных химических элементов таблицы Менделеева. Я остановлюсь лишь на двух-трех новейших фактах, не входящих в упомянутую сводку.

Недавно на американских обсерваториях был открыт в туманностях неон (найлены запрещенные эмиссионные линии). В некоторых звездах также найдены линии поглощения этого благородного газа. Это указывает на то, что он является космически распространенным элементом, выдерживающим сравнение с серой, или фосфором, или даже с углеродом. Я думаю, что неон, присутствующий в земной атмосфере, первобытен.

Аргон не найден до сих пор ни в звездах, ни в туманностях, хотя казалось бы расположение его линий довольно благоприятно в спектре. На земле, однако, аргон в 500 раз более распространен, чем неон. Конечно, это заключение основывается на разумном предположении, что полный запас этих газов находится в атмосфере. Как видно, это сопоставление космических и земных частот этих элементов (а также и ряда других, особенно металлов) требует объяснения наблюдаемого несоответствия. Очевидное объяснение заключается в том, что Земля утратила весь свой первобытный неон диссипацией атомов в пространство, так же, как Луна утратила свою атмосферу.

Руссель и Мензель недавно обратили внимание на еще более поразительный факт такого же рода. Речь идет об азоте. Как звезды, так и туманности показывают, что этот газ является одним из самых распространенных элементов космоса. Только водород, гелий и кислород более распространены в космосе, чем азот. Этот газ, также как и благородные газы, может быть назван атмосферным, так как он встречается главным образом в атмосфере. Но в то время как кислород составляет 49% поверхностного материала Земли и от 1 до 7% приходится на долю обычных металлов, азот составляет только 0.02%. Повидимому азот, — так приходится предположить, — был утрачен. То, что мы имеем сейчас в атмосфере, это есть жалкие остатки первобытного большого запаса азота.

Конечно, нужно быть осторожным и очень критически относиться к астрофизическим материалам.

Данные астроспектроскопии относятся, главным образом, к обра-  
щающему слою звезд и могут быть и не характерными для нижних слоев.  
Естественно, что гравитационная сортировка должна вести к концентри-  
рованию в верхних слоях таких газов, как водород и гелий, которые есте-  
ственно будут встречаться в меньшем количестве в субфотосферных слоях.  
Но, конечно, этой гравитационной сортировки недостаточно, чтобы разде-  
лить такие газы, как кислород и азот. Их различная судьба на нашей  
планете обусловлена прежде всего их различными способностями вступать  
в химические реакции.

Очень сильным является представление, что главная часть нашего  
атмосферного кислорода обязана своим происхождением ассимиляционным  
процессам, т. е. кислород, которым мы дышим, есть образование поздней-  
ших геологических эпох. Хотя, конечно, значительная часть атомного и мо-  
лекулярного кислорода верхних слоев земной атмосферы имеет перво-  
бытное происхождение и поддерживается в верхних слоях земной атмо-  
сферы благодаря фотохимическому равновесию реакциями



По классической формуле Джинза, при температуре в самых высших  
слоях атмосферы до  $500^\circ$  потеря водорода уже не особенно большая,  
а других газов — совсем незначительная. Некоторые поправки нужно будет  
внести, если принять во внимание критику формулы Джинза предыдущим  
докладчиком.

Для того, чтобы вследствие диссипации потерять весь свой неон,  
небесное тело типа Земли должно поддерживать на поверхности темпера-  
туру  $5000^\circ$  К в течение миллиона лет или  $8000^\circ$  К в течение нескольких  
веков. Для азота мы получим значение температур  $7000^\circ$  на протяжении  
миллиона лет.

Итак, для объяснения этих фактов нужны большие температуры.  
Предполагаемая потеря могла бы иметь место, если Земля образовалась  
из горячей материи, извергнутой солнцем.

Как видно, атмосфера и особенно стратосфера для объяснения  
целого ряда фактов заставляют повидимому прибегать к космологическому  
толкованию происхождения земли, причем толкованию в классическом  
духе.<sup>1</sup> Конечно, сейчас мы не имеем определенных указаний и цифровых  
данных, характеризующих космогоническое обстоятельство рождения  
Земли, но изучение состава и эволюции состава атмосферы других планет  
могут пролить некоторый свет на интересующий нас вопрос эволюции  
солнечной системы.

Настоящий состав планетных атмосфер, отчасти доступный спектро-  
графическим исследованиям астронома, определяется первоначальным

---

<sup>1</sup> Такие механические характеристики планет, как сжатие, также указывают, вероятно,  
на некогда расплавленное состояние.

химическим составом планеты и определенной эволюцией этого состава. Другими словами, состав планетной атмосферы и ее спектр зависят от стадии эволюции планеты.

Однако химические реакции протекают так или иначе в зависимости от температуры и количества света, поглощаемого атмосферой. И то и другое зависит от удаления планеты от Солнца. Следовательно, путь, по которому идет эволюция планетной атмосферы, определяется расстоянием планеты до Солнца.

Как упоминалось, планеты постепенно теряют свои атмосферы, и скорость этого рассеяния зависит от притяжения на поверхности. Кроме того, степень охлаждения планетной атмосферы на начальных стадиях эволюции зависит от массы. Итак, скорость эволюции планетной атмосферы определяется гравитационными характеристиками планеты.

Эти соображения побудили меня формулировать следующую рабочую гипотезу: состав планетных атмосфер на одинаковых стадиях эволюции одинаков, но степень диссоциации и спектр определяются расстоянием планеты до Солнца.

Таким образом, состав планетной атмосферы рассматривается как функции двух переменных.

$$K = f(M, r), \quad [1]$$

где  $M$  масса планеты и  $r$  — расстояние ее от Солнца. Если  $t$  есть стадия эволюции планеты, то  $t = \varphi(M)$ , и мы можем рассматривать

$$K = F(t, r). \quad [2]$$

Изменение  $K$  в зависимости от первой переменной мы получили, пользуясь указаниями геохимии; изучая фотохимические и термохимические реакции образования и диссоциации молекул, мы определим  $K$  в зависимости от второй.

Разумеется, такая постановка вопроса весьма схематична, но только дальнейшее развитие этой пробной рабочей гипотезы и новые наблюдения покажут, какие поправки (неодинаковый возраст, космогонические причины) будут иметь существенное значение.

Зависимость состава планетных атмосфер от переменных может быть представлена графически. На прилагаемой диаграмме по оси абсцисс отложен  $\log^2 r$  и по оси ординат  $\log^2 M$ . Согласно нашей гипотезе каждой точке на плоскости соответствует определенный химический состав. Если мы переходим от некоторой точки к другим по направлению ординаты, мы изменяем условия диссипации атмосферы. Если мы двигаемся параллельно оси абсцисс, то меняются термохимические и фотохимические условия образования и диссоциации молекул. Каждая планета имеет определенный состав атмосферы в зависимости от ее места на этой плоскости. Юпитер и Сатурн занимают наиболее высокое положение. Планеты, которые благодаря своей незначительной массе не могут удерживать значительных атмосфер, попадают в нижний ряд.

В нижнем правом углу диаграммы (фиг. 1) диссипация идет настолько быстро (связывание атомов в молекулы, препятствующие диссипации, затруднено сильной радиацией Солнца), что если предположить выделение газов из трещин Меркурия, то во время такого выделения у Меркурия был бы хвост (значительно превосходящий земной зодиакальный свет). Это может быть проверено систематическими наблюдениями Меркурия во время полных солнечных затмений.

Представляет исключительный интерес вопрос об образовании метана в атмосферах внешних планет.

Были высказаны два взгляда относительно процесса образования метана в планетных атмосферах. Мною была высказана гипотеза, что образование метана во внешних планетах связано с корой. Выделяющийся метан поднимается в верхние слои, где разрушается ультрафиолетовым светом солнца.

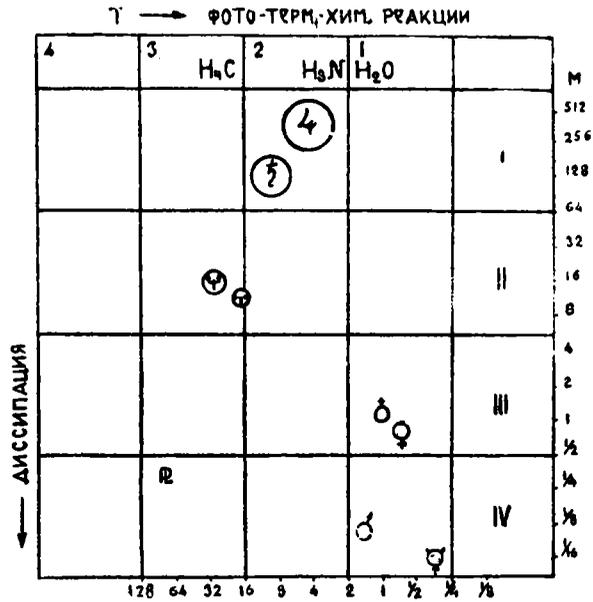
Другая гипотеза, высказанная Вильдтом, утверждает, что образование метана идет в верхних слоях атмосферы аналогично фотохимическому образованию озона в земной атмосфере.

С целью исследования этого вопроса мною были профотометрированы контуры полосы 6191 А в спектрах Юпитера, Сатурна и Урана по спектрограммам, полученным в Симеизе.

Интегральные интенсивности этой полосы на Юпитере, Сатурне и Уране относятся как 1:2:3.3 при отношении расстояний 1:1.9:3.7.

Если принять, что и в случае молекулярной полосы интегральная интенсивность пропорциональна  $\sqrt{N}$ , где  $N$  число молекул, то мы получим, что число молекул метана меняется обратно пропорционально квадрату расстояния или прямо пропорционально интенсивности солнечного света. Этот результат говорит в пользу образования метана путем выделения его из коры и разрушения ультрафиолетовым светом, т. е. подтверждает мой взгляд.

Гипотеза Вильдта тем более представляется неправдоподобной, что при большой энергии диссоциации молекулы метана крайне маловероятно образование этой молекулы из атомов углерода и водорода путем столк-



Фиг. 1.

новений. Во всяком случае, для этого мы должны были бы допустить, казалось бы, фантастические условия в атмосферах внешних планет.

Рассмотрение состава планетных атмосфер показывает, что в эволюции нашей стратосферы такие газы, как метан и аммиак, играли несомненно большую роль. Каково их происхождение?

Я отвечу словами Банко (Макбет, сцена с ведьмами):

Земля, как и вода, содержит газы —  
и это пузыри земли.

Только сейчас, в связи с прогрессом спектроскопии молекул и фотохимии, для науки о планетах, об эволюции солнечной системы забрезжил рассвет; и хотя крупные пробелы в области наших знаний еще долго будут оставлять место для индивидуальных разногласий, тем не менее уже настало время для построения пробных теорий состава и эволюции планетных атмосфер и нашей стратосферы. Выказанный мною взгляд относительно идентичности состава планетных атмосфер на одинаковых стадиях эволюции и при одинаковом расстоянии от Солнца есть наиболее простая из возможных гипотез, охватывающих астрохимию солнечной системы. И эта гипотеза ждет подтверждения, опровержения или исправления от будущих исследований.

---

С. Г. НАТАНСОН и Н. Н. СЫТИНСКАЯ

## МЕТЕОРЫ И СТРАТОСФЕРА

В 1933 г. метеорная астрономия отметила две замечательные даты: 12 ноября исполнилось столетие со дня знаменитого звездного дождя 1833 года (1), а 9 октября 1933 г. богатейший метеорный дождь (2, 3 и 4) привлек к себе внимание не только специалистов астрономов, но и самых широких кругов населения. Сто лет тому назад наблюдения Ольмстедта, обнаружившего явление радиации (5) и указание Пальмера, обратившего внимание на периодичность явления, так как 12 ноября 1799 г. также наблюдался звездный дождь, положили начало отчетливому представлению о природе и происхождении метеорных потоков. Звездный дождь 9 октября позволил как бы подытожить наши познания и на ярком примере замечательного потока Драконид проверить выводы современных метеорных теорий.

Эволюция наших взглядов на природу метеоров очень поучительна. Хотя Хладни уже в 1794 г. (6) придерживался совершенно здравых воззрений, защищая космическое происхождение метеоритов и падающих звезд, влетающих в нашу атмосферу из мирового пространства, хотя явление радиации — перспективного расхождения параллельных лучей метеоров одного и того же потока — уже в 1833 г. с несомненной убедительностью говорило в пользу астрономической теории, наряду с последней еще в 1866 году господствовала метеорологическая теория происхождения падающих звезд (7, 8 и 9). Ноябрьский метеорный дождь 1866 года, предсказанный Ольберсом, и работы А. Гершеля (10), Причарда (11) и Г. Ньютона (12), объяснившие на основе космической теории многие закономерности метеорных явлений, решили спор бесспорно в пользу астрономов. Классические работы Скиапарелли (13) и Бредихина (14) дали прекрасно развитые механические теории метеоров и объяснили их происхождение распадом комет. Твердо установленная связь Лирид с кометой 1861 I, Персеид с кометой 1862 III, Леонид с кометой 1866 I и Андромедид с кометой Биэла не оставляет никаких сомнений в космическом происхождении этих метеоров (13 и 15). Список связанных с кометами потоков все пополняется (16—19), достигая уже многих десятков; последнее появление Драконид, связь которых с кометой Джакобини несомненна (3), блестяще подтверждает правильность современных астрономических воззрений.

В настоящее время нам известно свыше десятка тысяч определенных радиантов (20—27). Каждый радиант дает направление движения метеоров относительно Земли (направление геоцентрической скорости). Зная по величине и направлению скорость Земли в орбите и делая известные предположения о величине гелиоцентрической скорости метеоров,<sup>1</sup> из параллелограмма скоростей получают направление гелиоцентрической скорости. Задача определения орбиты метеорного потока по его эпохе и положению радианта, таким образом, сводится к простой задаче об определении орбиты небесного тела по заданному положению и скорости его в определенный момент. Все способы определения орбит основаны на этом и отличаются друг от друга лишь техническими приемами, максимальная простота которых при большом числе радиантов приобретает первостепенное значение (13, 15, 28 и 29). Наибольшие хлопоты вызывает учет притяжения метеоров Землею (так называемое зенитное притяжение) и отчасти вращательного движения Земли. В настоящее время мы имеем несколько каталогов, обнимающих около 2000 орбит (13, 15, 24—26 и 30). Их изучение дает нам интересную картину распределения и движения метеорных потоков в пространстве.

Мы с несомненностью знаем теперь, что метеорные потоки представляют собой продукты распада комет, этих „видимых ничто“ (*rien visibles*) вселенной. При своих громадных размерах (до сотни тысяч километров диаметром), при ничтожной массе (значительно меньшей массы Луны), кометы обладают исключительно малой плотностью. Еще меньшей плотностью должен обладать метеорный рой. И действительно, по нашим предварительным подсчетам в наиболее густой части богатого роя Драконид, пронизанной Землею 9 октября 1933 г., отдельные частицы (видимые невооруженным глазом) отстояли друг от друга на 60 км (31), что дает 1 метеор на четверть миллиона кубических километров. Надо при этом помнить, что по весьма правдоподобным соображениям Эпика (32) масса каждого метеора измеряется миллиграммами, а диаметр миллиметрами. Яркие болиды обладают размерами в несколько сантиметров в поперечнике и соответствующей массой. Достигающие поверхности Земли метеориты, как каменные, так и железные, обладают, как это можно видеть хотя бы по образцам метеоритного отдела Минералогического музея Академии Наук, внушительными размерами и массой. Гиганты, подобные Аризонскому метеориту, вырывшему целый кратер, или Сибирскому метеориту 30 июня 1908 года, падение которого вызвало сейсмические и воздушные волны, за тысячи километров отмеченные на ряде сейсмограмм и микробарограмм (33), представляют, конечно, исключительно редкое явление, и приходится лишь пожалеть, что выяснение

---

<sup>1</sup> Статистика метеоров дает для гелиоцентрической скорости значение, близкое к параболической и несколько большее последней. Обычно принимают для метеоров параболическую скорость.

всех обстоятельств, связанных с полетом Сибирского метеорита, до сего времени остается незаконченным.

Однако, несмотря на то, что в небогатых роях метеорное вещество значительно более разрежено, чем в потоке 9 октября 1933 года, несмотря на то, что масса отдельных телескопических метеоров, едва ли превышает десятую долю миллиграмма, роль метеоров этого „строительного мусора“ Вселенной, этих многочисленных мелких частиц, влетающих с космическими скоростями в нашу атмосферу, огромна. Живая сила  $E = \frac{mv^2}{2}$  такой частицы, несмотря на малое  $m$  порядка  $10^{-3}$  грамма, благодаря значительным скоростям  $v$  порядка  $1.2 \times 10^6$  —  $7 \times 10^6$  см/сек. и более — весьма велика.  $E$  равна от  $0.7 \times 10^9$  до  $25 \times 10^9$  эргов или от 70 до 2500 кг./м. Отдавая всю энергию в течение краткого времени полета, каждый метеор развивает мощность десятка лошадиных сил.<sup>1</sup>

Учитывая значительное число метеоров, выпадающих даже не в дни потоков, становится понятной роль этого явления в жизни атмосферы Земли — вопрос, который является в данный момент для нас наиболее актуальным и представляет для настоящей Конференции наибольший интерес.

Прежде чем перейти к изложению основных работ в области физики метеоров, необходимо сделать краткий обзор методики метеорных наблюдений.

Преобладают в метеорной астрономии наблюдения невооруженным глазом. Простой счет числа метеоров, пролетающих в определенный промежуток времени, позволил Кувье-Гравье и Сеже (7—9) установить суточную и годовую периодичности, легшие в основу метеорных теорий.

Нанесение путей метеоров на карту позволило определить радианты, а по ним и орбиты метеорных потоков. По параллактическому смещению относительно звезд таких путей какого-нибудь метеора, нанесенных двумя или несколькими наблюдателями, удаленными друг от друга на несколько десятков километров (корреспондирующие наблюдения), удается получить высоты загорания и потухания метеора, а также расстояние метеора от наблюдателей (34—36). Мы имеем в настоящее время ряд каталогов (37—40), содержащих около 2000 высот. Одновременно с этими наблюдениями обычно отмечается с точностью до 0.5 звездной величины яркость, что при наличии расстояния до метеора дает возможность вычислить абсолютную яркость его. Цвет является одной из существенных характеристик метеора, зависящих от нескольких физических факторов (характер излучения, температура, состав и т. п.). Не меньшее значение имеет изменение яркости вдоль пути и положение вспышки. Отмечая продолжительность полета и зная длину пути, получают среднюю скорость метеора

<sup>1</sup> 40 л. с. согласно Линдеману и Добсону.

в атмосфере Земли (41). В примечаниях указывают особенности пути (искривление), изменение скорости, образование следа, его перемещение, продолжительность видимости следа, взрывы и звуки (у болидов).

Так называемый „квалифицированный счет“ (32) требует записи следующих данных: 1) номер, 2) момент, 3) яркость, 4) положение, 5) направление движения, 6) длина пути, 7) продолжительность полета, 8) цвет, 9) примечания.

В силу самого характера метеорных явлений (неожиданность и кратковременность) все эти наблюдения не могут отличаться особой точностью и обременены рядом систематических ошибок, исследование которых представляет весьма актуальную и благодарную задачу (42).

Для увеличения точности нанесений путей метеоров в Аризонской экспедиции были предложены специальные павильоны с решетками проектирующимися на небо (43).

Небольшие светосильные телескопы с большим полем зрения типа (кометоискателей) весьма удобны для наблюдений метеоров.

Квалифицированный счет телескопических метеоров, корреспондирующие наблюдения их (44) и особенно наблюдение следов (45), весьма долго заметных в трубу, после того как они уже исчезают для невооруженного глаза, дают весьма важный для изучения стратосферы материал.

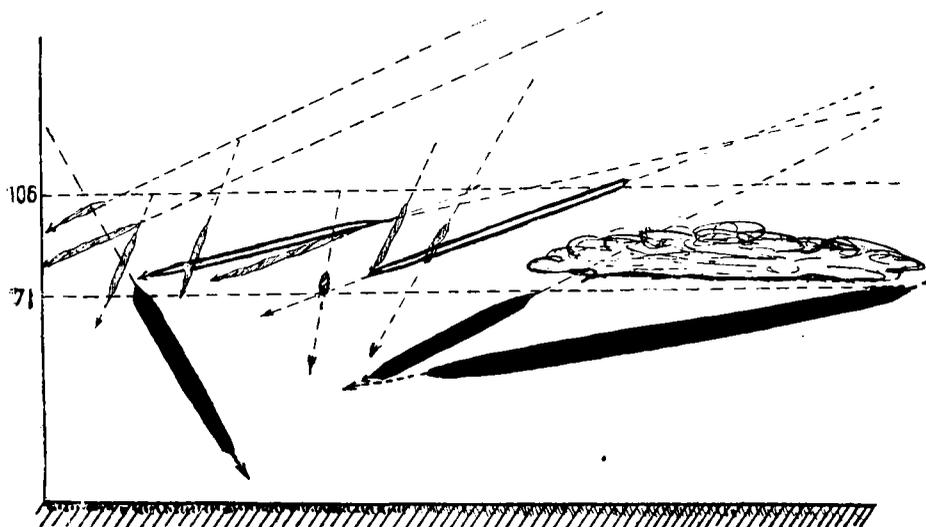
При определении скоростей делались попытки применения хронографа (46), употреблялись вращающиеся с определенной скоростью зеркала, в которых отражается метеор (43). Отмечая число петель описанных метеором и зная число оборотов зеркала в секунду, легко получить продолжительность полета. Попытки визуальных наблюдений спектров существенных результатов за отдельными исключениями не принесли (47).

Но особенно замечательных успехов, притом в области изучения физической стороны явления, добились мы от применения фотографии.

Каждая фотография метеора представляет собой документ, по которому с большой точностью в спокойной лабораторной обстановке могут быть получены: 1) положение видимого пути, 2) его длина (если он целиком помещается на снимке), 3) яркость метеора, 4) изменение ее вдоль пути (с помощью микрофотометра) и положение и характер отдельных вспышек. Фотографии нескольких метеоров одного и того же потока дают возможность точно определить радиант, а корреспондирующие фотографии при базисе в пять километров являются незаменимым средством для вывода действительных путей, высот загорания и потухания и абсолютных скоростей метеоров. Применяя вращающийся с определенной скоростью обтюратор, получают на пластинке прерывистое изображение пути (омегаграмму), позволяющее определить угловую скорость метеора, торможение, испытываемое им при движении в атмосфере, а при знании высот — и его абсолютную скорость.

При помощи объективной призмы удалось получить двадцать фотографий спектров метеоров, из них три в СССР (48, 49 и 50).

Светосильная оптика [Астро, Биотар, Плазмат (51)], сверхчувствительные эмульсии Ilford Panchromatic Hypersensitiv, Фульгур, сенсibilизатор Шмишека (52) обеспечивают метеорной фотографии большое будущее. Недаром Кенисе (53) 9 октября 1933 г. за 20 минут экспозиции получил на пластинке „Фульгур“ 24 метеора.



Фиг. 1.

Более подробные сведения о фотографировании метеоров и соответствующая литература указаны в печатаемом ниже докладе Н. Н. Сытинской (54).

Физика метеоров является одной из самых молодых отраслей метеорной астрономии, особенно быстро развивающейся последние 10—12 лет (55). Своеобразие методики метеорных наблюдений и особенно взаимная неосведомленность геофизиков и астрономов сильно задерживали развитие этой важной, но малоисследованной области.

Со времени Скиапарелли, разобравшего условия движения метеоров в атмосфере Земли (13, гл. I) и премириванной работы Клейбера, появившейся в 1884 г. (1), в течение около сорока лет не было внесено ничего принципиально нового. Особняком стоит работа Трубриджа о метеорных следах, появившаяся в 1907 г. (45). Ряд установленных им фактов и сделанных заключений представляют для изучения стратосферы существенный интерес. Приведя высоты оставляемых метеорами следов, определенные из корреспондирующих наблюдений, он указывает, что образование следов приурочено к весьма тонкому слою 96—82 км высотой. Пылевые следы дневных болидов расположены всегда ниже этого слоя

(80—30 км) и несомненно представляют собой распыленное метеорное вещество, освещенное лучами Солнца, в то время как следы верхнего слоя — слоя Трубриджа — несомненно обязаны своим происхождением ионизации атмосферы вдоль пути метеора (см. фиг. 1). Трубридж объяснил двойной вид следов их трубчатой формой, определил скорость диффузии одного из следов (1.6 км/сек.) и, считая скорость диффузии обратно пропорциональной давлению и пропорциональной квадрату абсолютной температуры, настаивал на необходимости тщательных телескопических наблюдений следов. Он же обратил внимание на возможность по перемещению метеорных следов, обладающих большой устойчивостью (из 53 следов, видимых свыше одной минуты, 12 оставались видны в течение 5—10 мин., 12 — от 10 до 20 мин., 7 — от 20 до 40 мин. и 6 — от 40 мин. до 1 часа) определять направление воздушных течений.

Почти одновременно с работой Эпика (32) 1922 г., сделавшего подсчет размеров, массы, температуры и быстроты испарения метеоров, появилась интересная работа Линдемана и Добсона (56) — первая современная теория, рассматривающая физическую сторону метеорных явлений.

Влетая в атмосферу, метеор испытывает столкновения с отдельными молекулами воздуха. В самых верхних слоях атмосфера настолько разрежена, что испытывавшая столкновение молекула успеет покинуть пространство впереди метеора до нового столкновения с ним или с другой молекулой, но в более плотных слоях столкновения станут столь часты, что впереди метеора образуется шапка, состоящая из молекул воздуха, частично раздробленных, ионизированных и возбужденных и из продуктов возгонки метеорного вещества. С момента образования шапки свечение метеора столь усиливается, что он становится видимым, метеор „загорается“. Когда все вещество метеора испарится, он „погасает“. Не касаясь математической стороны вопроса, изложенной в печатаемом ниже докладе Н. М. Штауде (57) и отсылая желающих к оригинальным работам Линдемана и Добсона (56 и 60), Радаковича (58) и Оболенского (59), приведем лишь окончательные формулы теории, вторую в том симметричном виде, какой ей придала в своей работе Штауде:

$$Q_a = \frac{16}{3} s T_2 \frac{r_a \rho_m \cos X}{kv^2} \frac{gM}{RT}$$

и

$$Q_d = 8l \frac{r_a \rho_m \cos X}{kv^2} \frac{gM}{RT}$$

Здесь  $Q_a$  и  $Q_d$  — плотности воздуха на высоте загорания и потухания метеора соответственно

$\rho_m$	— плотность метеора
$S$	— теплоемкость метеора
$l$	— скрытая теплота испарения метеора
$T_2$	— абсолютная температура поверхности метеора
$r_a$	— радиус метеора в момент загорания
$V$	— скорость метеора

Здесь $X$	— угол ее $\epsilon$ вертикалью
$k$	— среднее значение отношения энергии, притекающей к метеору в единицу времени в форме тепла к энергии, затрачиваемой им на преодоление сопротивления
$g$	— ускорение силы тяжести
$R$	— газовая постоянная
$M$	— молекулярный вес воздуха
$T$	— абсолютная температура невозмущенной атмосферы, принимаемой изотермической на пути метеора.

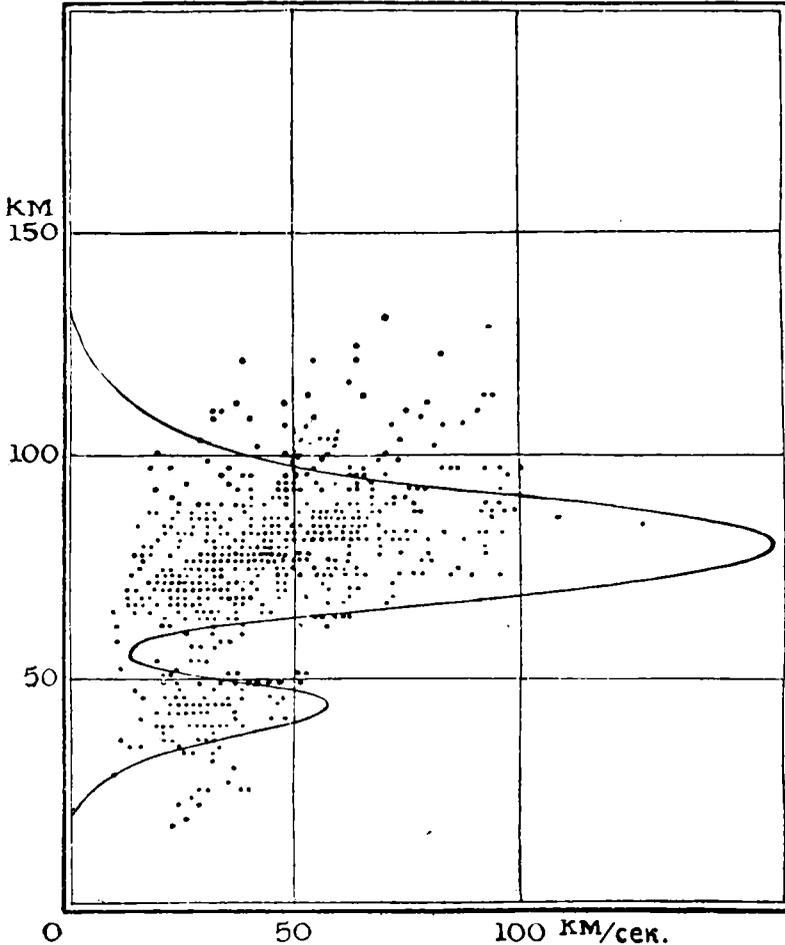
Несмотря на спорность некоторых допущений, сделанных авторами при разработке теории, значение этих формул, позволяющих вычислять плотности атмосферы на высотах загорания и потухания в зависимости от параметров, определяющих физические свойства метеора и его движение, а также от молекулярного веса воздуха и его температуры, бесспорно.

Вот те замечательные выводы, к которым пришли авторы, используя материал каталога высот метеоров Денинга (37). Теоретические плотности, вычисленные для гипотезы изотермической стратосферы с температурой  $220^\circ \text{K}$  (температура, полученная шарами зондами на высоте 20 км) дали невероятно малые плотности на метеорных высотах в сравнении с плотностями  $\rho_a$  и  $\rho_d$ , полученными из высот загорания и потухания метеоров. Только температура не ниже  $300^\circ \text{K}$  способна удовлетворить наблюдениям. Минимальная плотность атмосферы, необходимая для образования шапки, подтверждает тот же результат. При температуре стратосферы в  $220^\circ \text{K}$  минимальная скорость метеора для его „загорания“ была бы 19 км/сек., но метеоры в антиапексе имеют скорость порядка 12 км/сек. и могут загораться лишь в стратосфере с температурой не ниже  $300^\circ \text{K}$ . Заслуживает также большого внимания обстоятельство, что почти все метеоры появляются выше 80 км, гаснут в большинстве на высоте 80 км (см. фиг. 2). Минимум частот погасания метеоров лежит на высоте 60—50 км и вторичный максимум погасания — на высоте 45 км.

Не останавливаясь за недостатком времени на критике Спарроу (61) и замечаниях Мальцева в его интересной обзорной статье (62), укажу на метеорную работу Мариса (63), выступившего с теорией высших слоев атмосферы (64).

Последний занимается природой свечения метеоров. Он показывает, что энергия столкновения одной молекулы атмосферного азота с метеором, движущимся со скоростью 40 км/сек. достаточна для превращения 56 молекул твердого железа в газ при температуре  $3000^\circ \text{K}$ . Такая энергия вызывает подобие миниатюрного взрыва, отрывающего от тела метеора десятки молекул. Он считает, что большая часть энергии метеора превращается в излучение сильно возбужденных молекул, которые отрываются от метеора и передают свою энергию молекулам воздуха. След образуется тогда, когда энергия отрывающихся молекул достаточна для

поддержания излучения следа. На высотах 80—60 км впереди метеора образуется столь плотная воздушная шапка, что непосредственные столкновения метеора с неподвижными молекулами воздуха становятся невозможными.



Фиг. 2.

Подробнее аналогичные вопросы: силы взаимодействия при атомных столкновениях, диссоциацию быстро движущимся атомом, ионизацию быстро движущимся атомом и применение этих физических теорий к случаю свечения метеора рассматривает в своей только что вышедшей работе Эпик (65). Попытка построить теорию свечения метеоритов сделана В. Фишером (66).

Что же дала метеорная астрономия для изучения стратосферы?

I. Метеорная астрономия с несомненностью указала на слоистое строение стратосферы. Слой образования метеорных следов 82—

96 км, на который указал в 1907 г. Трубридж, является несомненно слоем ионизации. К нижней границе этого слоя приурочено образование серебристых облаков, что было указано Stentrel'em в 1919 г., Мальцевым в 1926 г. (67) и блестяще подтверждено корреспондирующими фотографиями Штермера в 1932 г. (68). На этой же высоте (80 км) лежит „граница сумерек“, нижняя граница северных сияний (69), нижняя граница слоя Хевисайда, играющего колоссальную роль в деле радиосвязи. Преимущественно в слое Трубриджа наблюдаются телескопические метеоры. Работа Линдемана и Добсона для метеоров Denning'a и работа Вегенера (70) для ярких метеоров и болидов каталога Нисля-Гофмейстера (40) согласно указали на существование особого слоя на высоте 85 км летом и 75 км зимою, где приходится максимальная частота погасания метеоров. Вторичный максимум погасания метеоров лежит по Линдеману и Добсону на высоте 45 км. По Вегенеру главный максимум погасания ярких метеоров и болидов приходится на высоте 35 км. На высоте 47 км расположен слой, где происходит погасание болидов с небольшими скоростями (10—50 км/сек.). Интересные указания получены на зависимость высоты изобарических слоев от времени года и от индекса солнечной деятельности.

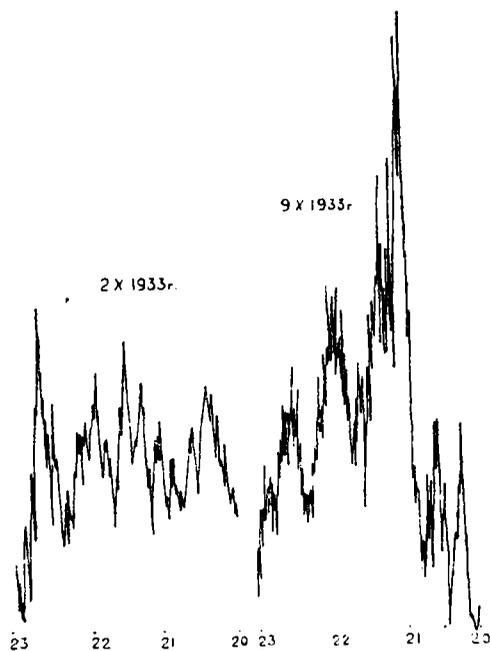
II. Плотность и температура стратосферы на высотах 150—30 км определяется согласно Линдеману и Добсону, впервые указавшим на температурную инверсию и высокую температуру — факт, впоследствии подтвержденный Штауде (71) на основании фотометрического анализа сумерек, Уипплем (72) из акустических работ и Гоуэном (73) из теории фото-термохимического равновесия. Скорость диффузии метеорных следов, согласно Трубриджу, дает нам также критерий для суждения о температуре и давлении в слое Трубриджа. Интересно отметить, что температурная инверсия стратосферы неизбежно вытекает и из соображений об очень высоких температурах внешних областей атмосферы, высказанных в докладе Н. А. Козырева (74), и из записей шаров-зондов, проникших в стратосферу в высоких широтах достаточно глубоко.

Метеорная астрономия дает для высоты 100 км плотности порядка  $10^{-8}$  и температуры не ниже  $300^{\circ}$  К.

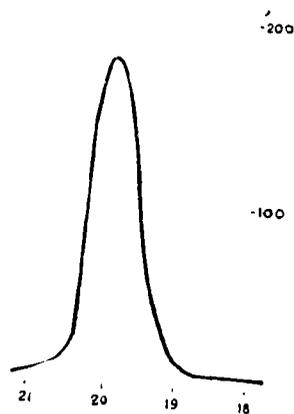
III. Молекулярный вес, а следовательно и состав стратосферы, также может быть исследован методами метеорной астрономии. Как следствие теории Линдемана и Добсона, Штауде (57) получает отношение молекулярного веса к температуре стратосферы в функции отношения давлений на высотах погасания и загорания и разности этих высот. Зная эти последние, получаем для отношения  $M/T$  величину 0.073, что дает для водородной и гелиевой стратосферы явно низкие температуры  $27^{\circ}$  К и  $55^{\circ}$  К соответственно. Молекулярный азот ( $T=384^{\circ}$  К) и нормальный воздух ( $T=397^{\circ}$  К) дают согласные с другими исследованиями величины.

Печатаемая ниже работа Северного (75) также хоронит гипотезу водородной стратосферы, и хотя сам автор останавливается на гипотезе гелия, было бы желательно проверить применимость его рассуждений для молекулярного азота. В наличии азота нас убеждают как пробы воздуха, добытые при полете стратостата СССР, так и некоторые теоретические соображения, не исключающие возможности существования в верхних слоях атмосферы молекулярного азота.

Гораздо менее убедительные данные получены от изучения выпавших метеоритов. Правда, в стеклянных метеоритах, так называемых тектитах, обнаружено содержание азота,



Фиг. 3.



Фиг. 4.

кислорода и водорода, но нет никаких оснований утверждать, что эти газы непременно стратосферного происхождения. Спектры метеоров не дали пока прямых указаний на состав стратосферы (48).

IV. Изучение формы и поверхности метеоритов, а также их траекторий и скоростей, дает возможность определить условия движения твердого тела с большими скоростями в стратосфере и физические явления, возникающие при этом. Вопросы эти освещены в докладе Астаповича (76) и имеют большое значение для изучения стратосферы.

V. Совершенно несомненно ионизирующее действие метеоров на атмосферу, а отсюда их влияние на радиосвязь. Это следует из теоретических работ Трубриджа, Спарроу, Бурготти и Мартиноци по  $10^7$  подсчетам которого, плотность ионизации от полета метеора достигает  $10^7$  на  $1 \text{ см}^3$ . Нагоака (77, 78) указал на возможность влияния метеоров на прием, а Скеллет пришел к выводу, что метеор должен заметно влиять на слой Хевисайда (79) и следовательно на коротковолновой прием (80).

Наблюдения подтвердили теорию. Иокаяма (81) говорит об усилении атмосфериков во время метеорных потоков. Пикар (82) наблюдал характерные изменения во время полета метеоров. Скеллет слышал шумы во время Леонид 1931 г. Иванов (83) связал суточный ход радиослышимости с метеорной ионизацией от потока Персеид. Наконец, несомненно можно сопоставить фейдинги 9 октября 1933 г. с кривой интенсивности потока Драконид (фиг. 3 и 4). И если М. А. Бонч-Бруевич говорил о необходимости при следующем полете стратостата учитывать состояние стратосферы по отношению к радиосвязи, то, быть может, прогноз астронома, могущего с большой точностью предсказать метеорные явления, не является излишним.

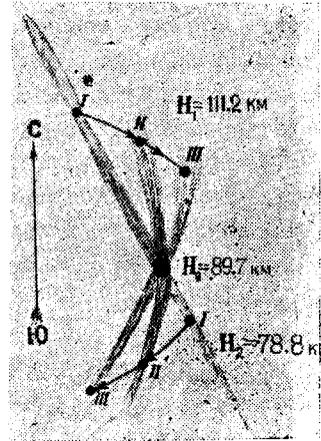
VI. Большие болиды и метеориты, полет которых сопровождается звуками, могут служить не плохим средством зондирования стратосферы при условии тщательно собранных акустических наблюдений.

VII. Совершенно исключительное значение для исследования воздушных течений в стратосфере, как по направлению, так и по величине, имеет наблюдение метеорных следов. Еще в работе Кальке (84) 1921 года собран большой материал, показывающий преобладание воздушных течений на высоте 80—96 км к востоку и югу в Европе, востоку и северу в Америке. Более низкие пылевые следы движутся чаще всего к западу. На чертеже составленном В. А. Мальцевым (фиг. 5), видно смещение проекции на горизонтальную плоскость следа болида 5 сентября 1926 г. Большой интерес представляют последние исследования В. Цесевича, разработавшего специальную методику наблюдений следов.

Мы показали, что метеорная астрономия дает ответ на вопрос о физическом состоянии стратосферы в пределах 30—150 км, позволяя определять высоты характерных слоев ее, плотность, температуру и молекулярный вес. Мы показали, что метеорные следы и серебристые облака являются пока единственным методом определения скорости и направления воздушных течений на больших высотах. Нам осталось лишь набросать план развернутых работ по метеорной астрономии, направленных к исследованию стратосферы.

Необходимо собрать и систематизировать имеющийся наблюдательный материал и построить удовлетворяющую всем современным требованиям физическую теорию метеорных явлений.

Высоты, скорости, яркости, спектры, следы — вот основные элементы, подлежащие наиболее тщательному и систематическому наблюдению и изучению. Для лучшего анализа получаемых результатов весьма жела-



Фиг. 5.

тельно продолжение и развитие работ по установлению теоретических и статистических зависимостей между различными характеристиками метеоров (86—88) (Мальцев, Станюкович и др.). Космические теории метеоров не должны быть при этом забыты, так как знание космических скоростей, с которыми метеоры влетают в нашу атмосферу, помогут нам выяснить вопросы торможения и систематические ошибки непосредственных определений скоростей.

Необходимо поставить тщательное изучение высот изобарических поверхностей, связанных с возгоранием и потуханием метеоров, с помощью массового применения визуальных корреспондирующих наблюдений для выяснения зависимости этих высот от широты, географических условий, времени года (а если возможно, то и суток), фазы солнечного цикла и других причин. К работе желательно привлечь сеть наблюдателей, объединенных и инструктируемых из единого центра. Наблюдения Леонид 1932 года в Америке (85) показали, каких результатов можно добиться при правильной постановке дела.

Необходимо продолжать выяснение корреляций между метеорами и электромагнитными земными явлениями, в частности обращая внимание на уже замеченное по наблюдениям 1922—1923 гг. возрастание магнитных возмущений в эпоху максимума Персеид.

Безусловно необходимо поставить комплексные исследования стратосферы на различных широтах по единому согласованному плану одновременными наблюдениями метеоров, аэрологических элементов, радио-эхо, фейдингов, акустических волн и т. п.

Со времени Бредихина русские „метеорщики“ занимали одно из ведущих мест в метеорной астрономии. В отношении визуальных наблюдений СССР занимает одно из первых мест в мире, но мы сильно отстали от заграницы как количественно, так и особенно качественно в инструментальном оборудовании. Работы Аризонской экспедиции астрономической обсерватории Гарвардского колледжа могли бы служить для нас образцом. И в этой трудной области мы несомненно можем и должны бороться за первое место в мире, тем более, что капиталистический кризис не обошел и астрономов.<sup>1</sup>

Необходимы наблюдения корреспондирующих высот телескопических метеоров и их скоростей с помощью специальных приспособлений. Необходимы телескопические наблюдения метеорных следов.

Необходимо широкое распространение фотографических наблюдений с применением светосильной оптики и чувствительных пластинок. Необходимо одновременное определение высот, яркостей и скоростей метеоров, для чего следует применять корреспондирующие фотонаблюдения из не-

<sup>1</sup> „The serious restriction in the Observatory's operating budget has made it difficult to continue the meteor work through a second year“. H. Shapley-Annual Report, 1933.

„Серьезное сокращение обсерваторского бюджета затруднило продолжение метеорных работ в течение второго года“. X. Шэпли-годовой отчет 1933 г.

скольких точек с базисом не менее 5 км и с вращающимся обтюратором на одной из камер. Желательно разработать применение кино, используя сверхсветосильную оптику, сверхчувствительную пленку и принцип кольцевой ленты.

Необходимы: дальнейшая разработка методов фотометрии метеоров; определение абсолютных значений силы света и ее изменений с направлением (эффект фазы) путем одновременных наблюдений из нескольких точек; определение высот и положения вспышек. Наряду с разработкой фотографических методов желательно развитие и уточнение способов визуальных оценок и постановка физиологических исследований для интерпретации получаемых результатов.

Необходима организация систематического фотографирования спектров метеоров, сопровождаемого измерением длин волн и интенсивности линий.

Необходимы корреспондирующие наблюдения над движением и искривлением метеорных следов и возможные попытки фотографирования их (Woods, 15 XI 1932) (85).

Наконец, необходима организация на ряде обсерваторий СССР фотографической службы метеоров и серебристых облаков.

В заключение я позволю себе вернуться к самому началу нашего доклада и отметить интересный факт, весьма характерный в истории развития науки. Кувье-Гравье, как метеоролог, желая доказать атмосферную природу метеоров, собрал богатый материал о суточной и годичной периодичности метеорных явлений. Эти материалы послужили Скиапарелли исходными данными для построения астрономической теории падающих звезд. Не заботясь о стратосфере, астрономы развили математическую и механическую теорию метеоров, собрали большое количество метеорных наблюдений и подошли к разрешению ряда физических вопросов. При этом оказалось, что собранный и разработанный астрономами в течение десятков лет научный капитал представляет для геофизиков большую ценность. Отдавая его в руки геофизиков, мы лишь выплачиваем им наш старый многолетний долг.

На этой Конференции происходит замечательная встреча геофизиков, зачастую не знающих, что может дать для изучения стратосферы астрономия, и астрономов, часто не отдающих себе отчета, какая сторона метеорных явлений представляет для геофизики наибольший интерес. Эта характерная для нашего времени связь нескольких наук и проведение комплексного метода в разрешении научных проблем, заставившие собраться на эту Конференцию специалистов, казалось бы, весьма различных областей, показывает, что мы находимся на правильном пути. И если мы в своем докладе сумели доказать что в стальной когорте, штурмующей стратосферу успешно борются и астрономы, то мы сочтем свою задачу выполненной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клейбер, И. *Астрономическая теория падающих звезд*. СПб., 1884.
2. Über den Sternschnuppenfall vom 9. Oktober 1933. *Astr. Nachr.* B. 250, № 5984, p. 137.
3. Natanson, S. A Remarkable Meteor Stream on Oktober 9 1933. *ICAR.* Vol. I, 1, p. 2.
4. Сытинская, Н. Н. Звездный дождь 9 октября 1933 г. *Мироведение*, № 3, 1934 г.
5. *Silliman's Journ.* 25, p. 354—411, 26, p. 132—174.
6. Chladni. Über den Ursprung der von Pallas entdeckten und anderer ähnlicher Eisenmassen. Riga, 1794.
7. Coulvier-Gravier. *Recherches sur les météores et sur les lois qui les régissent.* Paris, 1859.
8. ——— *Précis des recherches sur les météores.* Paris, 1866.
9. Chapelas. Sur les étoiles filantes et leurs relations avec l'atmosphère et les oscillations barométriques. C. R., LVII.
10. Herschel, A. S. Shooting Stars in March. M. N., vol. XXIV, p. 189.
11. Pritchard, C. Note on the foregoing paper. *Ibidem.*
12. Newton, H. A. On Shooting Stars. *Am. Journ. of Science.* March, 1865, p. 1933.
13. Schiaparelli, J. V. Entwurf einer Astronomischen Theorie der Sternschnuppen. Stettin, 1871.
14. Brédikhine, Th. Études sur l'origine des météores cosmiques et la formation de leurs courants. St. Pétersbourg, 1903.
15. См. напр. Клейбер. *Определение орбит метеорных потоков*, СПб., 1891.
16. Herschel, A. List of known Accordans between Cometary and Observed Meteor Showers. M. N., 1878, vol. XXXVIII, p. 369.
17. Natanson, S. Über die Ähnlichkeit zwischen einigen Sternschnuppen und Kometenbahnen. A. N., B. 197, № 4717, p. 205.
18. Pokrovsky, K. et Schaïne G. Les radiants cométaires et la connexion entre les comètes et les courants météoriques.
19. Davidson, M. Cometary Radiant Points 1875—1920. M. N., 1920, vol. LXXX, p. 739.
20. Denning, W. F. General Catalogue of the Radiant Points of Meteoric Showers... *Mem. R. A. S.* LIII, 1899.
21. ——— *Catalogue of Radiant Points.* M. N., vol. L, p. 410, 1890.
22. ——— *Stationary Meteors and...* M. N. LXXXIV, 1, 1933.
23. ——— *Radiant Points of S. S. observed at Bristol 1912—1922.* M. N., LXXXIV, 1, 1923.
24. Olivier, Ch. P. 175 Parabolic Orbits... *Trans. of the Am. Ph. S.*, XXII, 1, 1911.
25. ——— 126 Parabolic Orbits... *Publ. Leander McCormic Observatory*, 2, p. 2, 1914.
26. ——— 349 Parabolic Orbits *Publ. Leander McCormic Observatory*, 2, p. 7, 1919.
27. Malzev, V. and Sytinskaja, N. The 406 Radiant-Points of Meteor Streams observed in USSR in the Year 1929. *Бюлл. Ташк. Астр. обсерв.*, № 1, 1933 и др.
28. Lehmann-Filhés. *Die Bestimmung von Meteorbahnen...* Berlin, 1883.
29. Натансон, С. Об определении орбит метеорных потоков (рукопись).
30. Kövesligethy. Orbits of Meteor Streams deduced from... M. N., XLII, p. 310.
31. Натансон, С. *Строение потока Драконид* (не опубликовано).
32. Örik, E. A statistical Method of counting Shooting Stars... *Publ. de O. A. U. Tartu*, XXV, 1, 1922.
33. Whipple. The Great Siberian meteor and... *Quart. Journ. of the R. Meteor S.*, LVI, № 236, 1930, 287.
34. Reimann. *Die Höhenbestimmung der Sternschnuppen.* Breslau, 1870.
35. Newton. *Am. Jour. Sci. (II)* 39, 193, 1865.
36. Newcomb S. *Am. Jour. Sci. (II)* 45, 233, 1868.
37. Denning. *Nature*, 55, 1896.
38. ——— *Nature*, 57, 1898.

39. Broch, P. Denkschr. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien, Abt. IIa, 78.
40. Niessl-Hofmeister. Bahnbestimmungsgrößen für 611 Bahnen... Wien, 1925.
41. Hoffmeister, C. Über die Heliozentrische Geschwindigkeit der Sternschnuppen. A. N. V., 234, № 5606.
42. Федьянский, В. и Машбиц, Б. Экспериментальное изучение ошибок при наблюдениях метеоров. Мирведение, № 5—6, 1930.
43. Shapley, H., Örik E. and Boothrod, S. The Arizona Expedition for the Study of Meteors. Proc. N. A. S., 18, 1, 1932.
44. Örik, E. Telescopic Observations of Meteors at the Tartu Observatory. Publ. O. A. U. Tartu, XXVII, 2, 1930.
- 44а. Астапович, И. Корреспондирующие наблюдения телескопических метеоров в 1930 г. Бюлл. Колнаба ВАГО, 1932 г., № 17.
45. Trowbridge, C. Physical Nature of Meteors Trains... Astroph. Journ., XXVI, 2, 1907, p. 95.
46. Gerasimovič. B. Chromographische Beobachtungen der Perseiden. A. N., 220, № 5268, 1923.
47. — Astr. Reg. 12, 3, 1874.
48. Millman, P. An Analysis of Meteor Spektra. Ann. A. O. Harv. Coll., vol. 82, № 6, 1932.
49. — Note of Meteor Spectrum Photography. Bull. Harv. Coll. Obs., № 891, 1933.
50. Shapley, H. Ann. Rep. Astr. Obs. Harv. Coll., 1933.
51. Бауэр, В. Результаты кинематографических измерений... Электрофизика выс. слоев атмосферы. ГТТИ, 1934.
52. Schmieschek, U. Jahrbuch d. D. V. L., S. 594, 1931.
53. L'Astronomie. Novembre, 1933.
54. Сынтинская, Н. Фотографические методы метеорной астрономии.
55. См. напр. Ch. Olivier, Meteors. Baltimore, 1925.
56. Lindemann, F. and Dobson, G. A Theory of Meteors, and the Density and Temperature of the Outer Atmosphere to which it leads. Proc. R. A. S. (A), vol. 102, № 717, 1923.
57. Штауде, Н. Теория Линдемана и Добсона и некоторые следствия, из нее вытекающие.
58. Radakovič. Meteorol. Ztschr., XLIII, 12, 1926, S. 441 и XLIV, 9, 1927, S. 326.
59. Оболенский. Метеорол. вестник, 1927 г., № 8.
60. Proc. R. A. S., (A), vol. 103, 1923, p. 721.
61. Sparrow, C. Physical Theory of Meteors. Astroph. Journ., LXIII, 2, 1926.
62. Мальцев, В. Метеоры и геофизика. Мирведение, № 5, 1933, стр. 37.
63. Maris, H. A Theory of Meteors. Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, 34, 4, 1929.
64. — The upper Atmosphere. Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, 33, 4, 1928. Ibid. 34, 1, 1929.
65. Örik, E. Atomic collisions and Radiation of Meteors. Tartu, 1933.
66. Fischer, W. Mass and velocity of meteorites and the air density along their luminous paths. Harv. Coll. Obs. Circular, 385, 1934.
67. Malzev, V. Luminous night-clouds. Nature, 118, 14, 1926.
68. Störmer, C. Leuchtende Nachtwolken. Meteorol. Ztschr. B. 49, 359, 1932.
69. Штермер, К. Проблема полярных сияний. ГТТИ 1933, стр. 20—22.
70. Wegener, A. Anfangs- und Endhöhen grosser Meteore. Meteorol. Ztschr., B. 44, H. 8, 1927, S. 281.
71. Штауде, Н. и Ветчинкин В. Атмосфера на больш. высотах. Астр. ж. IV, в. 4.
72. Whipple, F. I. W. The detonating meteor of 1926, ... M. N. Geophys. Suppl. 2, 89—96, 1928, см. также Quart. Journ. Roy. Meteorol. Soc. London, 57, 331—335, 1935; 58, 471—478, 1932.
73. Gowen, E. H. The effect of ozone on the temperature of the upper atmosphere, Proc. Roy. Soc. London, (A) 120, 655—669, 1928; 128, 531—550, 1930.

74. Козырев, Н. О лучевом равновесии земной атмосферы.
75. Северный, А. Метеоры и верхние слои атмосферы.
76. Астапович, И. Скорости метеоритов в атмосфере земли.
77. Nagoaka, H. Possibility of the Radio Transmission being disturbed by Muteoric Showers of the Imperial Academy, Tokyo, vol. V, № 6, 1929, pp. 233—236.
78. — Effect of meteors on radio transmission. Rep. Radio. Res. Japan 2 1932. № 1, pp. 49—53.
79. Skellet, A. The effect of Meteors on Radio transmission through the Kennely Heavyside Layer. Physic. Rev., 37, 1931, № 12, p. 1668.
80. — The effect of Meteors on short wave radio transmission. Publ. of the Amer. Astr. Soc. vol. 7, № 4, p. 101, 1932.
81. Yokoуama, E. Interim Report on Observations of Atmospherics which may be caused by Meteoric showers. Proc. Imp. Academy Tokyo, vol. VI, 1930, pp. 154—157.
82. Pickard, A note on the Relation of Meteors Showers and Radio-reception, Proc. Inst. Radio Eng., 19, 1166—1170, 1931. № 7.
83. Иванов, Н. О влиянии метеорной ионизации на распространение радиоволн. Астр. журн., VIII, 3—4, 1931.
84. Kahlke, S. Meteorschweife und hochatmosphärische Windströmungen. Ann. Hydrogr. und Maritim. Meteorologie. Sept. 1921, S. 294.
85. Olivier, Ch. Heights and Train-drifts of Leonid Meteors of 1932. Proc. A. Ph. S., LXXII, 4, 1933.
86. Maltzev, V. On the Relation between... M. N., vol. XC, № 5.
87. Станюкович Н. Метод одностороннего определения высот и скоростей метеоров. Бюлл. Колл. набл. МОЛА, 1932, № 16.
88. — Применение некоторых эмпирических зависимостей к изучению метеоров. Астр. журн., 1933, X, 4.

Н. М. ШТАУДЕ

## ТЕОРИЯ ЛИНДЕМАНА И ДОБСОНА И НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ, ИЗ НЕЕ ВЫТЕКАЮЩИЕ

(Резюме)

Свою теорию свечения метеоров Линдеман и Добсон ограничили простейшим случаем свечения небольшой падающей звезды, по видимой яркости не превосходящей Венеры. Теория свечения болидов и тем более метеоритов, долетающих до земли, ими не затрагивается. Типичными данными для такой падающей звезды, служащими для проверки порядка величин, получаемых на основании их формул, они считают: высоту загорания  $10^7$  см, потухания  $8 \cdot 10^6$ , длину пути в  $6 \cdot 10^6$  см и скорость  $4 \cdot 10^6$ . Предполагается еще, что на расстоянии в  $1.5 \cdot 10^7$  метеор светится как звезда первой величины, что дает для излучаемой им в секунду энергии величину в  $3.3 \cdot 10^{10}$  эргов, а за все время видимого полета (1.5 сек.) величину порядка  $5 \cdot 10^{10}$  эргов.

Весь путь метеора в земной атмосфере авторы делят на две, существенно различные для теории свечения, части. В первой части своего пути, в крайне разреженных верхних слоях атмосферы, метеор непосредственно подвергается удару отдельных молекул воздуха, энергия которых оказывается еще недостаточной для того, чтобы вызвать заметное нагревание и испарение вещества метеора, так что в этой части своего пути он остается невидимым. Физическая теория этого случая весьма сложна, и авторами детально не рассматривается. Они указывают лишь, что часть энергии метеора тратится на диссоциацию молекул и на ионизацию атомов воздуха; часть энергии переходит в видимую радиацию; некоторая доля идет на нагревание метеора и на местное испарение его вещества. Однако определить точнее соотношение между этими видами энергии затруднительно. Авторы исследуют явление только с того момента, когда средний промежуток времени между столкновениями молекул в воздухе, после их отражения от метеора, делается сравнимым с средним временем, которое требуется молекуле, чтобы покинуть пространство впереди метеора перпендикулярно его движению. Начиная с этого момента, не успевающие покинуть этого пространства молекулы начинают в нем скапливаться, а затем образуют слой газа, прилегающий к метеору, или шапку, которая предо-

храняет его поверхность от непосредственных ударов молекул воздуха в его движении внутри более глубоких и плотных слоев атмосферы. Этот прилегающий к метеору слой подвергается адиабатному сжатию, вследствие чего он нагревается и некоторую долю выделенного тепла возвращает метеору, что и является причиной его нагревания, а затем и бурного испарения. Метеор видимым образом загорается тогда, когда вся его незначительная масса прогревается до некоторой температуры, при которой и наступает бурное испарение. Поэтому высота загорания не может быть больше высоты образования шапки, и последняя дает для высоты загорания верхний предел. Во все время видимого свечения метеора притекающая к нему из шапки тепловая энергия идет на его испарение.

Метеор „гаснет“ в тот момент, когда вся масса его испарилась, а образовавшиеся пары почти мгновенно потеряли свою кинетическую энергию, вследствие увеличившейся во много раз поверхности. Благодаря очень большой скорости метеора можно считать, что вся его кинетическая энергия в конечном счете превращается в видимую радиацию, хотя излучение самой поверхности метеора играет ничтожную роль по сравнению с излучением шапки и окружающего воздуха. Это предположение делает возможным определение массы метеора по его видимой яркости и по наблюдаемым скорости и расстоянию. Предполагаемая шарообразная форма метеора и считаемая известной плотность его дают тогда возможность определить его радиус. Таковы, в самых общих чертах, основные положения теории Линдемана и Добсона.

Обращаясь к выводу главнейших формул этой теории, я буду иметь в виду не только работы Линдемана и Добсона, но и замечания и поправки лиц, критиковавших их работу в ее деталях, не затрагивая ее существенных положений.

Плотность воздуха на высоте образования шапки определяется из условия, что время  $t_1 = \frac{L_1}{2v}$  равно времени  $t_1^1 = \frac{r}{V}$ , откуда для плотности  $\rho_1$  получаем выражение

$$\rho_1 = \frac{\rho_0 L_0 V}{2vr}. \quad [1]$$

Для нахождения температуры и давления в шапке следует принять во внимание, что энергия, получаемая ею от метеора в единицу времени, состоит из двух частей: одна идет на работу адиабатного сжатия, другая — на увеличение кинетической энергии воздуха, так как вся масса его на пути движения приобретает скорость  $v$  метеора. Приравнявая их сумму той энергии, которая тратится метеором на преодоление сопротивления, мы получаем следующее уравнение для определения давления:

$$p_1 = \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{V^2}{3} \frac{\rho}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]. \quad [2]$$

Вторым членом можно пренебречь и приближенно считать, что давление

$$p_1 \cong \frac{1}{2} \rho v^2. \quad [3]$$

Температура  $T_1$  определяется из условия адиабатного сжатия, которое вместе с уравнением состояния дает

$$T_1 = T \left( \frac{Mv^2}{2RT} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}. \quad [4]$$

Температура поверхности метеора  $T_2 < T_1$ . Определяемые этими температурами скорости [газовых молекул, движущихся к метеору или от него, различны, и вследствие этого имеет место относительное движение элемента поверхности метеора и центра тяжести прилежащего к нему слоя шапка со скоростью

$$V' = \frac{V_1 - V_2}{3}, \quad [5]$$

направленной по нормали к поверхности в сторону метеора. На переднюю поверхность метеора производится давление

$$p' = \frac{uN_1V_1}{6} (V_1 + V_2). \quad [6]$$

Линдеман и Добсон приближенно считали  $p'$  таким же, как  $p_1$  и лишь Радакович ввел это различие.

Для величины  $K'$  отношения энергии, притекающей к метеору в единицу времени в форме тепла к затрачиваемой им на преодоление сопротивления, Радакович дает формулу:

$$K' = \frac{V_1 + V_2}{V_1} \cdot \frac{V_1 - V_2}{3v}, \quad [7]$$

которая превращается в более простую формулу Линдемана и Добсона, если положить  $\frac{V_1 + V_2}{V_1} = f$  и считать это  $f = 1$  (на самом деле  $1 < f < 2$ ). Во всяком случае, величина этого множителя  $K'$  очень невелика, порядка  $10^{-3}$ , и не может превзойти величины  $\frac{2V_1}{3v}$ .

Для массы метеора и радиуса его Линдеман и Добсон дают соответственно следующие формулы:

$$m = \frac{2 \int Edt}{v^2} \quad [8]$$

$$r = \left( \frac{3 \int Edt}{2\pi \rho_m v^2} \right)^{1/3}, \quad [9]$$

которые дают для типичного случая метеора, если он состоит из железа, массу порядка  $6.25 \cdot 10^{-3}$  gr, радиус —  $6 \cdot 10^{-2}$  см.

Если пренебречь изменением  $V_1 - V_2$  с изменением  $v$ , то для изменения скорости метеора дается формула:

$$v_0 - v_1 = \frac{9l}{V_1 - V_2} \lg \frac{r_0}{r_1}, \quad [10]$$

из которой вытекает, что при уменьшении скорости на  $1/4$  ее значения (напр. от  $4 \cdot 10^8$  до  $3 \cdot 10^8$ ) объем метеора убывает вдвое. Во многих случаях можно пренебречь изменениями скорости за время видимого полета.

Подсчет показал еще Линдеманду и Добсону, что окисление метеора может играть роль лишь ниже 40 км и для медленных метеоров, для остальных же можно пренебречь теплотой химической реакции, так что единственным источником энергии является живая сила метеора.

Для вывода выражения  $\rho_a$  плотности воздуха в точке загорания Линдеманду и Добсон допускают, что вся энергия, притекающая к метеору, пошла на нагревание всей его массы от 0 до  $T_2$ , так что

$$msT_2 = \int \pi r^2 K' \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \frac{dh}{\cos \chi},$$

где интегрирование распространено от границ атмосферы до высоты загорания. Предполагая стратосферу изотермической, так что

$$\rho = \rho_0 e^{-\frac{gM}{RT}(h-h_0)}$$

и вынося за знак интеграла скорость  $v$  и радиус  $r$ , а для  $K'$  беря его среднее значение  $1/2 K'$ , авторы получают формулу:

$$\rho_a = \frac{16 T_2 s r \rho_m \cos \chi}{3 K v^2} \cdot \frac{gM}{RT}. \quad [11]$$

Что касается плотности  $\rho_d$  на высоте потухания, то она получается из условия, что за время видимого свечения притекающая к метеору тепловая энергия идет исключительно на его испарение. Тогда

$$- \int l dm = \int \pi r^2 \cdot K' \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \frac{dh}{\cos \chi},$$

причем интегрирование ведется в пределах видимого полета. Считая теперь  $K'$  постоянным, сокращая обе части до интегрирования на  $\pi r^2$  ( $dm = 4\pi r^2 \rho_m dr$ ) и вынося за знак интеграла  $v^2$ , Линдеманду и Добсон получают сперва выражение для радиуса  $r_a$  (при  $r_d = 0$ ):

$$r_a = \frac{V_1 - V_2}{24} \cdot \frac{1}{\rho_m} \frac{v}{l} \frac{L}{\Delta h} \frac{RT_2}{Mg} (\rho_d - \rho_a),$$

а затем, пренебрегая величиною  $\rho_a$  по сравнению с  $\rho_d$ , и выражение для последней:

$$\rho_d = \frac{24 r_a l \rho_m \Delta h}{(V_1 - V_2) v L} \cdot \frac{gM}{RT}. \quad [12]$$

При этом, согласно Линдеману и Добсону, следует принять  $K' = \frac{V_1 - V_2}{3v}$ . На основании этих формул авторы получили плотность воздуха на высотах потухания и загорания по данным каталога Деннинга и пришли к известному результату, что плотность воздуха на высоте 100 км должна быть в 100 раз больше теоретической и требует наличия там температур порядка 300° абсолютных. Этот же результат получается на основании плотностей  $\rho_1$  в месте образования шапки и на основании хода изменения плотности с высотой.

Обращаясь к последним двум формулам, мы видим, что их можно представить в более симметричном виде, а именно:

$$\rho_a = \frac{16}{3} s T_2 \frac{r_a \rho_m \cos \chi}{K' v^2} \cdot \frac{gM}{RT} \quad \text{и} \quad \rho_d = 8l \frac{r_a \rho_m \cos \chi}{K' v^2} \cdot \frac{gM}{RT},$$

так что при делении многое сокращается, и мы получаем очень простое соотношение:

$$\frac{\rho_d}{\rho_a} = \frac{3}{2} \frac{l}{s T_2}. \quad [13]$$

На это никем не было обращено внимания, а между тем сюда уже не входит трудноопределяемой величины  $v$ , неизвестных  $M$  и  $T$  и сомнительного  $K'$ . Обозначая постоянную для данного потока величину

$$\frac{3}{2} \frac{l}{s T_2} = e^c,$$

получим для определения средней температуры стратосферы, предполагаемой изотермической, равенство:

$$T = \frac{g(h_a - h_d)}{cR} M. \quad [14]$$

Рассуждения Линдемана и Добсона можно, впрочем, сделать более общими, не внося никаких предположений об изотермичности стратосферы и о виде функции  $\frac{1}{2} \rho f(v)$ , выражающей сопротивление воздуха, и функции  $K'$ , а также не отбрасывая  $\rho_a$  при выводе формулы [12] (из работы Линдемана и Добсона вытекает, что  $\rho_a \cong 0.1 \rho_d$ , т. е. не очень мало). Оставаясь в остальном на почве их теории, придем к выражению:

$$ms T_2 = \frac{1}{2} \int_{h_a}^{\infty} \rho \cdot f(v) \cdot K' \pi r^2 \frac{dh}{\cos \chi}.$$

Вынося  $f(v)$ ,  $r^2$ ,  $\cos \chi$  и полагая опять среднюю величину  $K'$ , равного  $\frac{1}{2} K'$ , получим аналогично прежнему:

$$p_a = \frac{16}{3} r_a \rho_m s T_2 \frac{g \cos \chi}{K' f(v)} \quad [15]$$

причем  $p_a = \int_{h_a}^{\infty} \rho g dh$  при любом законе изменения  $T$  с высотой. В выводе формулы [15] пренебрегаем изменением ускорения силы тяжести с высотой.

Для точки угасания будем соответственно иметь формулу:

$$p_d - p_a = 8 l r_a \rho_m \frac{g \cos \chi}{K^l f(v)} \quad [16]$$

что дает для отношения

$$\frac{p_d}{p_a} = 1 + \frac{3}{2} \frac{l}{s T_2} \quad [17]$$

Для частного случая изотермической атмосферы

$$\frac{p_d}{p_a} = \frac{\rho_d}{\rho_a} = l \cdot e^{-\frac{gM}{RT}(h_d - h_a)}$$

и мы имеем возможность определить  $T$ , вернее отношение  $\frac{M}{T}$ . В общем же случае знание величин  $l, s, T_2$  дает возможность лишь определить отношение давлений на высотах потухания и загорания на основании формулы [17].

Желательно было бы произвести возможно полные лабораторные определения величин  $l$  и  $s$  для метеоритов.

Если произвести численный подсчет, принимая  $T_2 = 2300$  согласно Линдеману и Добсону, полагая далее  $l = 8.7 \cdot 10^{10}$  эрг и  $s = 0.12 \cdot 4.185 \cdot 10^7$  эргов (для железа), то получим:

$$\frac{p_d}{p_a} = 12.3,$$

что дает для изотермической стратосферы и для типичного случая ( $h_d = 8 \cdot 10^6$ ;  $h_a = 10^7$ ) на средней высоте 90 км отношение молекулярного веса воздуха к его температуре

$$\frac{M}{T} = 0.11.$$

При разности высот загорания и потухания в 30 км аналогично получили бы

$$\frac{M}{T} = 0.07.$$

Замечательно, что в точности такое же отношение 0.07 молекулярного веса к температуре получается и на основании предварительной обработки сумеречных наблюдений. Для самой температуры получим следующую табличку в зависимости от молекулярного веса при  $\frac{M}{T} = 0.07$ :

$M$	28.955	25	20	15	10	8	6	4	2
$T$	397°	343	274	206	137	110	82	55	27

Указанное упрощение и обобщение теории Линдемана и Добсона позволит без большой затраты времени произвести подсчеты температур

на средних высотах свечения падающих звезд по имеющимся их наблюдениям и попробовать найти зависимость температуры стратосферы от времени года и других условий.

## Обозначения:

$T_1$	$V_1$	$p_1$	— температура, скорость молекул и давление внутри шапки,	$v$	— скорость метеора,
$p'$	$V'$		— давление прилегающего к метеору слоя шапки и относительная скорость их,	$m$	— масса его,
$L_0$			— средняя длина пробега молекул воздуха при нормальных условиях,	$r, r_a$	— радиус,
$L_1$			— то же внутри шапки,	$\rho_m$	— плотность метеора,
$T_2$	$V_2$		— абсолютная температура поверхности метеора и определяемая ею скорость движения молекул воздуха,	$s$	— теплоемкость,
$N_1$			— число молекул в единице объема внутри шапки,	$l$	— скрытая теплота испарения,
				$E$	— энергия, выделяемая им в единицу времени,
				$\chi$	— угол пути его с вертикалью,
				$L$	— длина видимого пути,
				$\Delta h$	— разность высот загорания и потухания,
				$K'$	— отношение энергии, притекающей к метеору, к затрачиваемой им.

## Постоянные:

$R$	— газовая постоянная,		шапки, на высоте загорания и потухания соответственно,
$\gamma$	— отношение теплоемкостей		
$\mu$	— масса молекулы воздуха,		
$\mu g$	— ускорение силы тяжести,	$p, p_a, p_d$	— давления воздуха,
$h, h_a, h_d$	— высоты вообще, точки загорания и точки потухания,	$T$ и $V$	— абсолютная температура и определяемая ею скорость движения молекул воздуха до пролета метеора,
$\rho, \rho_0, \rho_1, \rho_a, \rho_d$	— плотность воздуха вообще, при нормальных условиях, на высоте образования	$M$	— молекулярный вес воздуха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lindeman and Dobson. Proc. R. Soc. (A), v. 102, 1923, p. 411.
2. — Ibid., v. 103, 1923, p. 721.
3. Radaković. Meteorolog. Zeitschr., Bd. XLIII. H. 12, 1926, S. 441.
4. — Ibid., Bd. XLIV, H. 9, 1927, S. 326.
5. Оболенский. Метеор. вестн., 1927, № 8.



А. Б. СЕВЕРНЫЙ

## АБСОЛЮТНАЯ ЯРКОСТЬ МЕТЕОРОВ И ВЕРХНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Первая попытка оценки состояния атмосферы на больших высотах, основанная на наблюдении над метеорами, была сделана Линдеманом и Добсоном (1) в 1923 г., исходя из развитой ими теории метеоров.

Согласно Линдеману и Добсону, вся кинетическая энергия метеора, которой он обладает до проникновения в атмосферу Земли, расходуется на движение массы воздушной полости, образующейся перед метеором, и на ее адиабатическое сжатие.

Подробная теория этого процесса позволяет оценить плотность и температуру слоев атмосферы до 150 км высоты. В 1926 г. Спарроу (2) привел возражения против теории Линдемана и Добсона и, считая, что нагревание и испарение метеора обусловлено упругими соударениями молекул воздуха с метеором, пришел к слишком высоким значениям плотности верхних слоев атмосферы.

В настоящей работе мы, основываясь на изучении абсолютных яркостей метеоров и теории метеоров Линдемана и Добсона, делаем попытку оценить плотность, температуру и состав атмосферы до 150 км и сравнить полученные таким образом данные с данными, полученными другим путем.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОД ОБРАБОТКИ

Если нам известно расстояние до метеора и его относительная яркость в звездных величинах, то, как показал Астапович (3), видоизменяя известную формулу Погсона, можно получить абсолютную яркость метеора в международных свечах из соотношения:

$$\lg I = 2 \lg r - 0.4 m + 0.327, \quad [1]$$

где  $I$  — абсолютная яркость метеоров в международных свечах,  $r$  — расстояние до метеора,  $m$  — звездная величина метеора.

В этих целях в настоящей работе мы использовали материал, собранный д-ром Ф. Брохом (4) для метеорного потока Персеид, который

наблюдался с 1823 г. по 1858 г. в Средней Европе. В этом материале мы имели для 108 метеоров яркость  $m$ , расстояние от пункта наблюдения до метеора  $r$ , высоты возгорания  $H_1$  и погасания  $H_2$  и длину видимого пути метеора  $L$ .

Исходя из этих данных, по формуле [1] были вычислены средние абсолютные яркости для 108 метеоров. Затем все метеоры были расположены в возрастающем порядке по высоте погасания, и способом группировки была составлена средняя кривая изменения абсолютной яркости  $I$  с высотой погасания  $H_2$ .

Дисперсия отдельных значений оказалась довольно умеренной.

Кроме того, была составлена средняя кривая изменения абсолютной яркости метеоров в зависимости от длины истинного пути  $L$ , которая служила в дальнейшем критерием правильности сделанных заключений, о чем будет указано ниже. Эти данные содержит табл. 1.

Таблица 1

$H_2$	$I$	$L$	$H_2$	$I$	$L$
300 км	$6.31 \times 10^4$ международных свечей	160 км	80 км	$1.62 \times 10^4$ международных свечей	60 км
200	4.90	136	70	1.38	52
150	3.72	114	65	1.26	48
140	3.39	106	60	1.05	40
130	3.16	102	55	0.96	38
120	2.88	96	50	0.79	33
110	2.57	87	45	0.66	30
100	2.29	80	40	0.54	26
90	1.95	70	30	0.33	26

Рассмотрение таблицы показывает, что абсолютная яркость метеоров увеличивается с возрастанием высоты.

#### ДИСКУССИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Значительная часть кинетической энергии метеора превращается в радиацию, поэтому: чем больше масса метеора (а следовательно и его поверхность) и его скорость, тем интенсивнее будет радиация метеора и, следовательно, абсолютная яркость метеора. Но как показали Линдеман и Добсон (1), Эпик (5) и Миллман (10), большая часть видимой радиации относится к излучению газовой полости, образующейся вокруг метеора. Размер этой оболочки зависит по теории Линдемана и Добсона от массы метеора, а температура ее свечения зависит от скорости метеора, температуры невозмущенной атмосферы и ее плотности на данной высоте.

Поэтому изменение абсолютной яркости метеоров с высотой обусловлено в конечном счете различием масс метеоров потока и физическими условиями в верхних слоях нашей атмосферы. Так, метеор с меньшей массой загорится и погаснет на меньшей высоте — порядка 70—80 км (ср. данные, полученные Астаповичем (6) и Эпиком (7), потеряв до этого известную долю своей космической скорости. Поэтому метеоры одного потока с меньшей абсолютной яркостью должны обладать меньшей скоростью в данных пределах высоты. Согласно теории Линдемана и Добсона [см. Радикович (8)], кинетическая энергия метеора расходуется на ускорение массы газовой полости метеора и на ее адиабатическое сжатие. Отсюда [ср. Н. Оболенский (9)] для температуры  $T$  газовой полости получим выражение:

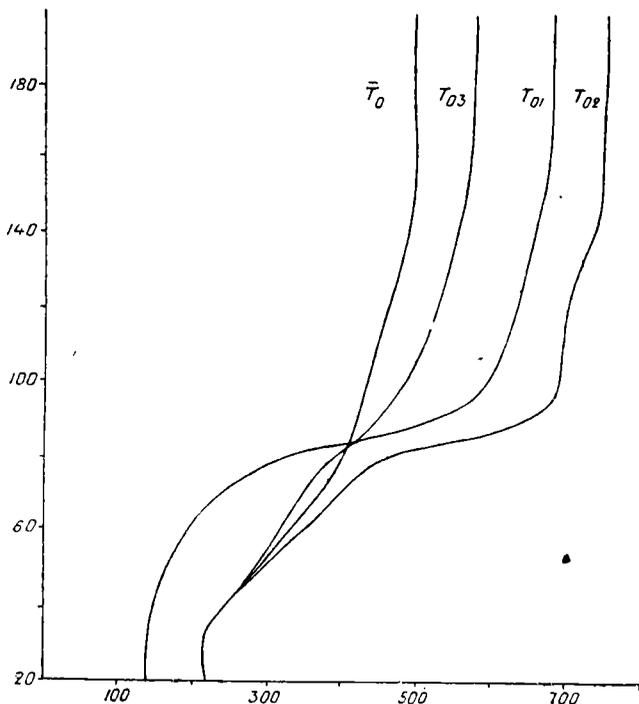
$$T = T_0 \left( \frac{M_0 V^2}{2RT_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \quad [2]$$

где  $T_0$  — температура невозмущенной атмосферы,  $M_0$  — молекулярный вес ее,  $V$  — скорость метеора,  $R$  — абсолютная газовая постоянная ( $8.315 \times 10^7$  эрг. град.<sup>-1</sup> моль<sup>-1</sup>),  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.41$ . Мы допускаем, что всю видимую радиацию метеора мы получаем от газовой полости, а поэтому, зная ее температуру, мы можем из выражения [2] способом последовательных приближений определить температуру невозмущенной атмосферы, при некоторых допущениях о скорости метеоров и составе атмосферы на различных высотах.

Критерием правильности сделанных допущений служили данные о температуре атмосферы на различных высотах, полученные различными авторами другим путем. До 30 км были использованы наблюдения баллонов-зондов (10). Для слоев от 30 до 80 км были использованы исследования над скоростью распространения звуковых волн, произведенные Упплем и др. (11, 12, 13, 14). (Среди них вошли также исследования над взрывом болидов и наблюдения над зоной тишины при детонации метеоров). Для верхних слоев атмосферы были приняты во внимание соображения Э. Гована (15) о влиянии распределения объемного содержания озона и водяных паров на различных высотах и скорости распада озона на изменение температуры атмосферы, а, кроме того, были приняты во внимание наблюдения над сумерками, произведенными В. Г. Фесенковым (16) в 1916 г., дающие по коэффициентам отражения, — при допущении того, что сумеречные явления обусловлены исключительно газовыми составляющими, рассеивающими свет по закону Рэлея, — характер изменения плотности и температуры с высотой. Необходимо отметить, что из рассмотрения были исключены результаты, полученные Н. Штауде и В. Ветчинкиным (17), которые вызывают большое сомнение, так как они дают слишком ничтожные (порядка 40° К) значения температуры для верхних слоев атмосферы, что находится в полном противоречии со всеми дру-

гими авторами.<sup>1</sup> На основании вышеупомянутых данных была составлена средняя кривая изменения температуры  $T_0$  атмосферы с высотой (9-й столбец табл. 2; см. фиг. 1).

Результаты последовательных приближений представлены в таблице 2, где в первом столбце дана высота погасания  $H_2$ , далее  $I$  — яркость в международных свечах,  $T$  — абсолютная температура газовых оболочек,  $T_0$  — температура невозмущенной атмосферы (индекс при  $T_0$  — номер приближения),  $V$  — скорость метеоров,  $M_0$  — молекулярный вес невозмущенной атмосферы,  $\rho_0$  — ее плотность в относительных величинах (см. табл. 2).



Фиг. 1.

Необходимо отметить, что полученные в столбце 3 значения температур газовых оболочек находятся в согласии с определениями температур метеоров, произведенным Вимперисом (18), Эпиком (5), Спарроу (2) и Миллманом (19) ( $1800^\circ$ — $6000^\circ$  K).

В первом приближении мы считали скорость метеоров на различных высотах постоянной и равной космической скорости потока Персеид (56 км/сек.), а молекулярный вес был принят по Гэмфрису (20).

Во втором приближении было сделано допущение об изменении скорости метеоров с высотой. Общий характер изменения скорости метеоров с высотой был определен из соотношения [2] с значениями  $T_0$  и  $M_0$ , взятыми такими же, как в первом приближении. Аналогично для потока Персеид мы составили эту зависимость, предполагая, что скорость метеоров у высот свыше 300 км постоянна и равна космической скорости потока (56 км/сек.). Эти данные, приведенные в столбце 5 табл. 2, не

<sup>1</sup> См. печатаемую здесь же работу Штауде, где выясняется зависимость получаемых значений температуры стратосферы от гипотезы ее состава.

Таблица 2

$H_2$	$I$	$T$	1	2		3		$T_0$	$\rho_0$
			$T_{01}$	$V$	$T_{02}$	$M_0$	$T_{03}$		
300 км	$6.31 \cdot 10^4$ м. св.	4730° K	766° K	$5.6 \cdot 10^8$ см./сек.	766	2.0	766	—	0.02
200	4.90	4540	721	5.3	753	3.0	637	—	0.04
150	3.72	4340	676	4.9	753	4.0	566	500	0.06
140	3.39	4270	661	4.8	750	4.0	564	490	0.06
130	3.16	4220	650	4.9	724	4.0	545	475	0.06
120	2.88	4140	634	4.9	706	4.0	531	465	0.06
110	2.57	4070	619	4.9	690	4.2	509	450	0.07
100	2.29	3990	601	4.6	705	4.7	495	435	0.08
90	1.95	3880	509	4.2	644	6.5	451	425	0.12
80	1.62	3770	311	3.6	446	12.3	378	400	0.25
70	1.38	3670	234	3.0	391	20.1	347	370	0.47
60	1.05	3530	193	2.3	340	25.7	313	320	0.66
50	0.79	3380	166	2.9	284	27.7	278	265	0.80
40	0.54	3230	151	3.1	246	28.2	244	240	0.88
30	0.33	3050	138	3.2	218	28.6	218	220	1.00

противоречат другим результатам Спарроу (2) и Элкина (21, 22) для метеоров и результатам Ниссля (23), Гофмейстера (24) и Вегенера (25), полученным для болидов.

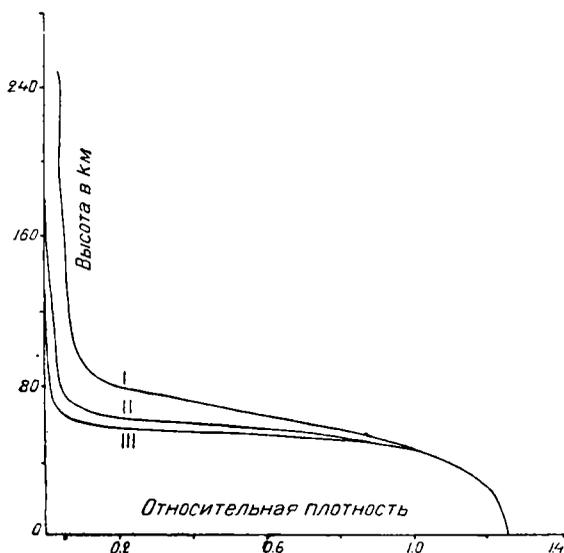
В третьем приближении мы отказались от гипотезы преобладания водорода в верхних слоях атмосферы (для высот больше 70—80 км) и допустили преобладание там гелия в тех же объемных процентах, что и водорода в предыдущих приближениях.

Последнее произвольно и не подтверждено опытом [ср. Бартельс (26)], однако целый ряд соображений говорит в пользу этой возможности: а) соображения Чэпмана и Милна (27), вытекающие из развитой ими теории диффузионного равновесия, согласно которой, при допущении о наличии, начиная с 20 км высоты, диффузионного равновесия, получается, что на высотах порядка 150 км воздух состоит практически из одного гелия; затем б) соображения Джинса (28) о диссипации земной атмосферы, с одной стороны, и расчет Гельге-Петерсена (29), с другой. Наконец в) тот факт, что водород легко соединяется с кислородом, наличие которого установлено при исследовании спектра полярных сияний, также говорит скорее в пользу сделанного нами допущения.

Возможно, что на этих высотах имеются диссоциированные молекулы других газов (как  $O_2$  и  $N_2$ ), однако молекулярный вес слоев воздуха от 100 до 150—200 км должен быть близок к 4.

При этом допущении третье приближение  $T_{03}$  наилучшим образом согласуется с опытными значениями  $T_0$ .

Сравнение зависимости абсолютной яркости и длины истинного пути показало, что данные Броха дают для больших высот погасания слишком большие значения абсолютной яркости. Поэтому абсолютная яркость должна быть несколько уменьшена, что, согласно уравнению [9], приведет к уменьшению значений температуры невозмущенной атмосферы на больших высотах, а тем самым еще более сблизит кривую  $T_{03}$  и  $T_0$ .



Фиг. 2.

силы тяжести у поверхности земли,  $R'$  — характеристическая постоянная, связанная с молекулярным весом соотношением  $R' = \frac{R}{M_0}$ . На фиг. 2 представлены значения  $q_0$ , выраженные в относительных единицах (кривая I), и для сравнения приведены данные Добсона (31) (кривая II) и данные, полученные В. Г. Фесенковым (30) (кривая III) из коэффициентов отражения, при процентном содержании водорода у поверхности земли, равном 0.01%.

Рассмотрение этих данных показывает, что у высот 90—100 км имеется резкое изменение плотности атмосферы, которому соответствует также изменение скорости метеоров, полученное в настоящей работе и в работе Спарроу (2). Интересно отметить то обстоятельство, что на этих высотах появляется большинство метеоров согласно большому статистическому материалу, собранному в работе Линдемана и Добсона (32); к этим же высотам мы относим большинство следов метеоров (дымовые и, главным образом, светящиеся следы, согласно Кальке (35), также слой Трубриджа (34), слой Хевисайда — Кэннели, нижнюю границу полярных сияний по Штермеру (35), первую сумеречную дугу, уровень диффузии по Марису (36), нижний ионизированный слой по Чэпману (37) и т. д.

Предполагая, что к верхним слоям атмосферы применимы законы идеальных газов, и допуская возможность изменения молекулярного веса атмосферы с высотой, мы, зная изменение температуры атмосферы  $T_0$ , можем определить изменение плотности из соотношения

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dh} + \frac{1}{R'} \frac{dR'}{dh} + \frac{1}{T_0} \frac{dT_0}{dh} + \bar{g} = 0, \quad [3]$$

где  $\bar{g}$  — отношение ускорения силы тяжести на высоте  $H$  к ускорению

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сказать, что изучение абсолютных яркостей метеоров приводит нас вплотную к вопросу о физической природе метеоров и физического состояния нашей атмосферы. Однако в настоящее время эта проблема имеет некоторую неопределенность: нам неизвестно процентное содержание легких газов на различных высотах. В состоянии диффузионного равновесия [см. работу Чэпмана и Мильна (27)], а также другие соображения Чэпмана (37), начиная с известной высоты, над поверхностью земли преобладают легкие газы, молекулярный вес которых близок к 4. Из полученных в настоящей работе данных об изменении температуры, плотности и состава атмосферы и изменении массы и скорости метеоров с высотой и сравнения [ср. также данные Мариса (38)] этих данных с результатами, полученными различными авторами другим путем, — можно прийти к заключению, что, начиная с высот в 90—110 км, физическое состояние атмосферы заметно меняется. Не исключена возможность того, что, начиная с высот порядка 90—100 км, мы вступаем в слои атмосферы, где не происходит турбулентного перемешивания газов, составляющих атмосферу, и мы находим слоистость атмосферы, что согласуется с расчетами, произведенными на основании теории разделения, развитой недавно Эпштейном (39), причем в пределах от 100 до 150—200 км молекулярный вес атмосферы — порядка молекулярного веса гелия, а выше — близок к молекулярному весу водорода.

Однако не исключена возможность [Чэпман (37)] наличия в этих слоях атмосферы диссоциированных молекул  $O_2$  и  $N_2$ .

Наличие на этих высотах метеоров с большой абсолютной яркостью приводит к выводу, что, начиная с 100 км высоты, температура атмосферы очень велика, мы можем ее оценить в 400—500° K.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lindeman, F. A. a. Dobson, G. MB. Proc. Roy. Soc. London (A), 102, 411, 1923; 103, 721, 1923.
2. Sparrow, C. M. *Astroph. Journ.*, 63, 90, 1926.
3. Бюлл. Колл. Наблюдат. МОВАГО, № 16, стр. 33, 1932.
4. Broch, Dr. Ph. *Denkschr. d. Kais. Akad. d. Wiss., Wien, Abt. IIa*, B. 78, S. 467.
5. Örik, E. *Publ. de l'obs. astron. de l'univ. de Tartu (Dorpat)*, т. XXV, № 1, 1922.
6. Бюлл. Колл. Наблюдат. МОВАГО, № 17, стр. 40, 1932.
7. *Publ. de l'obs. astron. de l'univ. de Tartu (Dorpat)*, т. 27.
8. Radakovič, M. *Meteor. Zeitschr.*, 43, 441, 1926 и 44, 326, 1927.
9. *Метеролог. вестник*, № 8, Август, 1927.
10. Napier, Sir. *Manual of Meteorology*, p. II.
11. Whipple, F. J. W. *Monthly Not. Roy. Astr. Soc. Lond. Geoph. Suppl.*, 2, 89, 1928.
12. Whipple, F. J. W. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc. London*, 57, 331, 1931; 58, 471, 1932.
13. Бартельс, Ю. *Высшие слои атмосферы. Успехи физ. наук.*, т 9, в. 2, 1929.

14. Internat. Research Council, II<sup>nd</sup> Rep. of Com. of Sol. a. Terr. Relat. (123), 1929.
  15. Gow an, E. Proc. Roy. Soc. L. (A), 120, 655; 128, 531.
  16. Русский Астрон. журнал, т. 1, стр. 53, 1924.
  17. Ibidem, т. IV, в. 4, 1927.
  18. Wimper is, H. Nature (L), 71, 81, 1904.
  19. Millmann. Harv. Ann., 82, № 6, 144.
  20. Humphreys. Physics of Air.
  21. Elkin, E. Publ. Astr. and Astroph. Soc. of America, v. I, 1910.
  22. Elkin, E. Astroph. Journ., 12, 4, 1900,
  23. Niessl. Sitzb. K. A. d. Wiss., 114, 1477, 1905 и 121, 1883, 1912.
  24. Hoffmeister, C. Mitt. Stw. zu Sonneberg, № 2 и № 14.
  25. Wегенер, A. Meteor. Zeitschr., 44, 281, 1927.
  26. Бартельс. Физика высоких слоев атмосферы. Усп. физ. наук, т. XIII, в. 51, стр. 709, 1933.
  27. Chapman, S. a. Milne E. A. Quart. Journ. of R. Met. Soc. L., 46, 357, 1920.
  28. Jeans, J. The dynamical theory of Gases. Washington. 1910.
  29. Helge-Petersen. Phys. Zeitschr., 28, 510, 1927; 29, 232, 492. 1928.
  30. Тр. Гл. росс. астрофиз. обсерв., т. II, стр. 85.
  31. Dobson, G. M. B. Quart. Journ. Roy. Met. Soc. L., 49, 152, 1923.
  32. Lindemann F. a. Dobson. G. Proc. Roy. Soc. Lond. (A), 103, 339, 1923.
  33. Kahlke, S. Annalen d. Hydrographie, 49, 293, 1921.
  34. Trowbridge, C. Astroph. Journ. 26, 95, 1907; — Olivier. Meteors, 1925; — Weyl, Mabel. Pop. Astron., 30, 524, 1922.
  35. Störmer, C. Geofysiske Publik., 5, № 2, Oslo, 1927; 9, № 4, 1932.
  36. Maris, H. B. Terr. Magnet., 33, 233, 1928; 34, 45, 1929.
  37. Chapman, S. Proc. Roy. Soc. L, (A), 132, 353, 1931.
  38. Maris, H. B. Terr. Magnet. 34, 309, 1929.
  39. Epstein, P. S. Phys. Rev. (2), 33, 269, 1929; Gerl. Beitr. z. Geoph., 35, 153, 1932.
-

Н. Н. СЫТИНСКАЯ

## ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МЕТЕОРНОЙ АСТРОНОМИИ

Специфическая особенность фотографии метеоров заключается в том, что здесь съемке подлежит очень коротковременное явление, ни время, ни место которого заранее неизвестно. К тому же экспозиция, получающаяся в результате метеорного явления для появления фотографического изображения, по большей части недостаточна, и потому на снимке удается запечатлеть только метеоры выдающейся яркости.

Все это делает фотографирование метеоров при нынешнем положении вещей количественно мало эффективным. Наблюдателю приходится наугад направлять камеру и делать долгие выдержки, терпеливо выжидая случайного прохождения очень яркого метеора через поле зрения. Как много времени при этом теряется видно из следующих данных. На Гарвардской обсерватории, имеющей громадный фотографический архив снимков, полученных короткофокусными светосильными объективами, была проделана большая работа по розыску метеоров, случайно заснятых при фотографировании звездного неба.

Из 23-летней серии снимков (2) однодюймовым объективом Кука с относительным отверстием  $1:13$  при часовой экспозиции были просмотрены пластинки, соответствующие областям действия больших метеорных потоков в эпоху их максимума, причем было найдено лишь 12 следов, что соответствует одному метеору на 61 час экспозиции. Позднее Фишер и Альмстед (3) опубликовали каталог, содержащий 386 метеоров, найденных на фотографиях разных серий. Эти снимки получались с объективами со светосилой от  $1:2.5$  до  $1:16$  и охватывают промежуток времени около 30 лет. Всего было просмотрено 71 000 пластинок с экспозицией, близкой к одному часу, что дает эффективность 1 метеор на 194 часа. Эти числа показывают, какие ничтожные плоды дает фотография, если, как в данном случае, она не была приспособлена к нашей задаче. Значительно более благоприятные результаты получаются в тех случаях, когда фотографирование производится непосредственно для получения снимков метеоров. Так Элькин (4), работая с 8 камерами, насаженными на одну ось и имевшими светосилу  $1:4$ , за 16 лет работы получил около 100 снимков метеоров. В Гарвардской обсерватории при фотографировании потока Леонид (5) удалось получить за одну ночь 14 XI 1898 г. 34 снимка 11 различных

метеоров. Много снимков метеоров сумел также получить Сикора (6) в Ташкенте.

По данным Милмана в Гарварде (7) за последнее время были получены такие результаты:

Метеорный поток	Число часов экспозиции на 1 след метеора
Леониды 1929 — 1932 гг.	2,8
Персиды 1931 — 1932 гг.	5,9

Рекордом в области метеорной фотографии является снимок, полученный Кэниссэ (8), на котором за 52 мин. экспозиции удалось получить 25 метеоров, и снимок Швассмана (Бергедорф), на котором за 10 мин. запечатлелось 29 метеоров. Оба снимка были получены на чувствительнейших современных пластинках и при очень светосильной оптике. Однако основной причиной такого исключительного успеха было то обстоятельство, что фотографирование производилось во время знаменитого звездного дождя 9 X 1933 г. — одного из самых мощных и замечательных явлений этого рода.

Рассмотрим те технические приемы, с помощью которых можно надеяться получить наибольшую эффективность в смысле количества заснятых метеоров. Повидимому, здесь основную роль играют три элемента:

- 1) применение оптики наиболее выгодной для данной задачи,
- 2) съемка на эмульсии наивысшей чувствительности и

3) выбор области и времени съемки, при которых появление ярких метеоров статистически представляется наиболее вероятным.

Эффективность фотографических объектов в нашей задаче определяется, с одной стороны, светосилой, с возрастанием которой удается получить изображение все более слабых объектов, а с другой, — полем зрения, с расширением которого увеличивается вероятность захвата метеора за данную экспозицию.

Метеор можно считать движущейся по небу светлой точкой, не имеющей заметного углового диаметра, и потому изображение метеора на фотографии равноценно изображению бесконечно тонкой линии. Отсюда следует, что светосила объектива в отношении съемки метеора будет пропорциональна квадрату диаметра отверстия объектива  $D$  и обратно пропорциональна фокусному расстоянию  $F$ . Это дает простейшую формулу для эффективности  $E$  объектива для метеорной съемки, выведенную еще Цанкером в конце прошлого столетия:

$$E = C \frac{D^2}{F}. \quad [1]$$

Здесь  $C$  множитель, определяемый, между прочим, потерями в линзах объектива. Милман и Вилдрай (9) проверяли указанную формулу для светосилы, снимая следы, вычерчиваемые звездами, на пластинке при неподвиж-

ной камере вследствие суточного движения неба и применяя диафрагмы разного диаметра. Формула подтвердилась, причем для предельной величины метеора, которая еще может быть сфотографирована в данных условиях, была найдена численная формула:

$$2.5^m = 26 \frac{D^2}{F\omega} q.$$

Здесь величины  $F$  и  $D$  предполагаются в дюймах, угловая скорость  $\omega$  движения метеора по небесному своду в градусах в секунду, а множитель  $q$ , выражающий действие чувствительности фотоматериала и потери в объективе — равным единице для пластинок Ilford Panchromatic Soft Gradation и объектива, лишенного потерь.

С другой стороны, Эпик (10) считает, что для объективов, фокусное расстояние которых превышает 8 см, диаметр изображения светящейся точки превосходит порог разрешающей способности эмульсии и потому ширина следа будет пропорциональна  $F$ . Это означает, что светосила таких объективов в отношении метеоров должна определяться обычной формулой  $D^3/F^2$  и потому:

$$E = C \frac{D^3}{F^2}. \quad [2]$$

Далее, Эпик указывает, что эффективность объектива следует принимать пропорциональной его полю зрения. Обозначив радиус последнего через  $p$ , получаем формулы эффективности:

$$E = c \frac{p^2 D^3}{F} \quad [3]$$

и

$$E = c \frac{p^2 D^2}{F^2}. \quad [4]$$

Сей час затруднительно решить вопрос о том, которое из указанных четырех равенств ближе всего подходит к практике. Несомненно, что размеры поля зрения здесь играют значительную роль, однако, вероятно, не столь большую, как это вытекало бы из двух последних равенств, поскольку падение освещенности к краям поля зрения у широкоугольных объективов весьма велико и в известной мере парализует выгоды от большого поля зрения.

Далее, число наблюдаемых на данном участке неба метеоров чрезвычайно быстро возрастает с уменьшением яркости, а потому мне кажется, что в отношении эффективности для съемки метеоров светосила имеет несравненно большее значение, чем широкоугольность.

В качестве иллюстрации того, что можно рассчитывать получить с оптикой разного типа, мною была вычислена эффективность  $E_1$  по формуле 1 и  $E_2$  по формуле 2 для ряда объективов. Результаты приводятся в табл. 1. В последней графе этой таблицы указывается предельная

величина метеора, вычисленная с указанными выше данными Милмана и Вильдрайта и при среднем значении угловой скорости 7 гр./сек. Данные относятся к пластинкам чувствительности по  $H$  и  $D$  700 к дневному свету и 2000 к полуватному.

Эффективность для объектива Эрностар принята за 100.

Таблица 1

Камера	Свето-сила	$F$	$E_1$	$E_2$	$m$
Эрбиотар . . . . .	1:0.85	80	138	552	+ 1.6
Астро тахон . . . . .	1:0.95	70	162	496	+ 1.8
Кино плазмаг . . . . .	1:1.5	100	134	180	+ 1.5
” ” . . . . .	1:1.5	42	40	180	+ 0.3
Эрностар . . . . .	1:2	200	100	100	+ 1.2
Астро Тессар . . . . .	1:3.5	150	39	48	+ 0.2
Аэросъемочный „Авиар“ . . . . .	1:4.5	200	72	30	+ 0.9
” . . . . .	1:4.5	100	31	30	+ 0.1
Ортагоз . . . . .	1:4.5	132	16	30	— 0.5

Относительно выбора фотоматериала многого сказать не приходится. Совершенно очевидно, что чем выше чувствительность пластинки, тем больше можно надеяться заснять метеоров. Единственный вопрос, который здесь может возникнуть — это о типе повышения чувствительности: путем ли увеличения чувствительности в нормально воспринимаемой области спектра или же посредством расширения чувствительности в сторону длинноволнового конца спектра. Говоря чисто практически, нас интересует будут ли выгодны пластинки типа „Фульгур“ или же предпочтительны эмульсии типа „Ильфорд гиперсенситив панхроматик“. Так как оба сорта имеют примерно одинаковую чувствительность к дневному свету, порядка 2000  $H$  и  $D$ , но разную к искусственному, то для ответа на поставленный вопрос нужно было бы знать распределение энергии в спектре метеора. В настоящее время этого нет.

Фотографическое исследование падающих звезд, разумеется, не исчерпывается получением снимков. Каждый негатив с изображениями метеоров в дальнейшем подвергается соответствующему измерению и обработке.

Если задачей фотографирования было определение высот, то два одновременных снимка, полученные из двух концов базиса, подвергаются измерению при помощи измерительного микрометрического прибора, и сферические координаты метеора на каждой из пластинок находятся путем привязки к звездам.

Далее по найденному параллактическому смещению и известной длине базиса вычисляется расстояние до метеора от места наблюдения и его высота над земной поверхностью. Если фотографическая камера при съемке следовала за суточным движением неба и если метеор имеет ряд резких вспышек, то все это делается легко и уверенно, если же метеор не имеет вспышек или других приметных образований, то возникают трудности в отождествлении отдельных точек следа метеора на обоих снимках. Трудности еще более возрастают, если при фотографировании камера была неподвижной, вследствие чего звезды на снимке вышли не в виде точек, а в виде дуг. Методика редукции таких снимков нуждается в дальнейшей разработке.

Другим важным приложением фотографического метода наблюдений является определение угловых скоростей, дающее возможность изучать сопротивление воздуха на разных высотах. Для этой цели применяется метод Цанкера-Элькина (11), состоящий в помещении перед объективом вращающегося сектора, который периодически прерывает экспозицию. Благодаря действию такого обтюратора след метеора выйдет прерывистым, причем, зная число оборотов сектора и измерив длину отрезков разорванного метеорного следа, можно точно рассчитать угловую скорость движения, а зная высоту и расстояние от наблюдателя, можно найти и закон изменения линейной скорости с высотой. Указанный метод, несмотря на давность его изобретения, применялся очень мало. После Элькина, использовавшего его впервые в 1893 г., этим вопросом никто не занимался, и только теперь снова был получен удачный снимок в Москве.

Другое применение, которое могут иметь снимки метеоров, — это фотометрия. Не представляет сомнений, что интенсивность света, испускаемого метеором, а также ее вспышки и ослабление на протяжении пути могут дать материал для суждения о физическом состоянии верхних слоев воздуха. Фотометрические измерения метеоров в настоящий момент почти не разработаны. При визуальных наблюдениях, правда, обычно отмечается звездная величина метеора, некоторые отмечают также положение наиболее яркого места или вспышки, а также и другие данные. Однако все это делается чисто глазомерно и потому имеет ничтожную точность. Работа Эпика (12) и других показывает, что случайная ошибка столь примитивных световых оценок достигает  $\pm 0.5$  звездной величины (т. е. свыше 50%). Кроме того, в настоящее время трудно дать физическую интерпретацию световому сравнению быстро пролетающего и производящего в глазу впечатление светлой черты метеора с неподвижными точками — звездами. Повидимому и здесь фотография скорее всего приведет к цели. Автором этих строк разработан соответствующий метод измерений, состоящий в сравнении интенсивности следа метеора со следами от звезд, перемещающихся в фокусе неподвижной камеры вследствие суточного движения. Очевидно, что равенство следов по плотности и ширине указывает на равенство экспозиций, получаемых пластинкой при про-

хождении звезды и метеора. Отсюда, зная скорости движения обоих объектов в фокальной плоскости камеры, можно найти отношение их яркостей. В первом приближении можно принять, что при одинаковой черноте и ширине следов отношение яркостей обратно отношению скоростей. Несоответствие закона почернения пластинки закону Бунзена-Роско является причиной некоторой неуверенности в этом вопросе, однако можно надеяться, что усовершенствованием методики эти затруднения удастся устранить.

Для разработки теории свечения метеоров и познания физической природы соответствующих слоев воздуха крайне важны также спектроскопические данные. Визуальные наблюдения посредством маленьких спектроскопов прямого зрения (13), которые велись когда-то, в настоящее время совершенно оставлены, и теперь единственным рациональным методом спектральных наблюдений метеоров следует считать фотографирование спектров. Однако получение снимка спектра метеора еще более затруднительно, чем обычная фотография. Повидимому наиболее пригодной для работы этого рода является небольшая камера со светосилой 1 : 4.5, снабженная объективной призмой. Трудности получения хорошего спектра усугубляются тем обстоятельством, что направление движения метеора заранее неизвестно, между тем, если оно совпадает с направлением дисперсии, то спектр вообще не получается, а если оно составляет с ним малый угол, то получается спектр, мало пригодный для измерения. До 1933 г. было известно всего 11 фотографий спектров (14) метеоров, из них 3 получены С. М. Блажко (15) в Москве. В 1933 г. Гарвардской обсерваторией (США) были предприняты систематические работы по спектрографированию метеоров, которое, повидимому, имело успех, поскольку в настоящий момент число спектров возросло до 20 (16).

Представление об эффективности метеорной спектрофотографии можно получить из следующих чисел, заимствованных из работы Милмана (17):

Год и название потока	Число часов экспозиции на 1 спектр
Леониды 1931—1932 гг.	9.2
Геминиды 1931 г.	42.4
Систематическая программная работа во Флагстаффе 1932—1933 гг.	270

Мы видим, что наиболее хорошие результаты достигаются при фотографировании больших потоков, в то время как в отношении спорадических метеоров результаты крайне ничтожны.

Измерение спектров метеоров и отождествление их линий обычно представляет большие трудности, особенно если спектр размыт, а направление движения метеора составляет малый угол с направлением дисперсии. Несомненно, что методика обработки спектров нуждается в дальнейшем развитии.

Из сказанного видно, что фотография может дать много ценного для изучения верхних слоев стратосферы по метеорным явлениям, и потому необходимо широко внедрить этот способ наблюдения в практику наших обсерваторий, а также поставить работы по дальнейшему его усовершенствованию.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Weis. Sitz. Wien Akad. 62, Ab. II, 277, 1870.
  - 2 Fisher. Harv. Bull., 852, 1927, 12—14.
  - 3 Fischer and Olmsted. Harv Ann., 87, 3, 1931.
  - 4 Elkin. Astroph. J., 12, 1900, 4.
  - 5 Pickering. Harv. Ann., 41, 1902.
  - 6 Сикора. Труды Ташк. Обс., т. VI, 1910. Astr. Nachr., 189, 111, 1911.
  - 7 Millman. Pop. Astr., 41, 6, 1933:
  - 8 L'astronomie, 47, nov. 1933.
  9. Millman and Wildright. Harv. Bull., 872, 1930.
  10. Öpick. Harv. Bull., 879, 1930.
  11. Zenker. Astr. Nachr., 113, 1887, 228.
  12. Öpick. Publ. Tartu, 25, 1924.
  13. Herschel. Intellectual observ. 10, 38, 1866; 10, 61, 1866; 10, 459, 1867. Konkly. M. N. 33, 575, 1873; 34, 82, 1873; AN, 95, 283, 1879; 84, 337, 1874.
  14. Millman. Harv. Ann., 82, 6, 1932.
  15. Blajko, Astroph. J., 26, 341, 1907.
  16. Millman. Harv. Bull., 891, 1933.
-



И. С. АСТАПОВИЧ

## СКОРОСТИ МЕТЕОРИТОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

### ВВЕДЕНИЕ

Освоение стратосферы неизбежно связано с проблемой движения в ней с теми или иными скоростями в зависимости от применяемых технических средств. Многие актуальные задачи, рассматривающие движение в стратосфере на диапазоне больших скоростей, еще далеки от своего аналитического решения, и с этой точки зрения представляется необходимым обратиться к тем данным, которые дает метеорная астрономия в той своей части, которая изучает движение и скорости метеоритов в земной атмосфере; этот независимый источник дает нужный фактический материал, и при соответствующей постановке работы можно получить ряд ценных указаний на условия движения твердого тела в сопротивляющейся среде, подобной стратосфере в пределах 20—100 км высоты. Движение метеоритов, проникающих извне в атмосферу Земли с большими начальными (геоцентрическими) скоростями, дает ряд сведений о поведении твердого тела в этих условиях и о совокупности тех физических явлений, которые возникают при этом.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В общем случае задача движения метеорита в атмосфере может быть сформулирована так: „Определить траекторию центра массы метеорита в воздухе при а) заданном строении атмосферы (изменение температуры, плотности и среднего молекулярного состава с высотой), б) заданных начальных условиях движения (начальная скорость и угол наклона траектории), с) для метеорита данной массы, формы, плотности и состава“.

Таким образом, задача является более общей, чем, напр., основная задача внешней баллистики; здесь играет роль, напр., состав среды и движущегося тела, что особенно подчеркивается для вполне распыляющихся в воздухе обыкновенных метеоров. Для метеоритов, оплавливающихся только на поверхности на несколько миллиметров, влияние этого фактора незначительно.

Общее решение задачи вряд ли может быть получено аналитическим путем; кроме чисто математических трудностей (неинтегрируемость дифференциальных уравнений движения), здесь большую роль играют различные побочные явления, возникающие при движении метеорита (сжатие, нагревание и ионизация воздуха, плавление и испарение метеорита, влияние изменения формы, уменьшение массы и т. д.). Практически к решению задачи можно приблизиться, используя данные геофизики, физики, отчасти аэродинамики и внешней баллистики, делая допущения относительно вида некоторых функций.

„Ограниченные задачи“, в пренебрежении некоторыми второстепенными факторами и делая упрощения, позволяют получить решение в том или ином виде. Особенно ценным является применение методов численного интегрирования при таблично-заданном материале функциональных зависимостей, что иногда является единственно возможным способом передать результаты опыта.

Одной из ограниченных задач является следующая: „Найти траекторию метеорита в воздухе и его скорость движения при законе убывания плотности атмосферы  $p = p(H)$ , начальной скорости метеорита  $v_0$ , угле наклона  $I$ , его массе  $M$  и плотности  $p_m$ “.

В этом виде задача обычно ставится для сферического метеорита.

Строение атмосферы. Напишем два основных уравнения теории газов:

$$\left. \begin{aligned} p &= R\varrho T \\ \frac{dp}{dH} &= -\varrho g \end{aligned} \right\}, \quad [1]$$

где  $\varrho$  — плотность воздуха, а  $g$  — ускорение силы тяжести; исключив  $\varrho$  и интегрируя в пределах высоты  $h$  и  $h_0$ , найдем:

$$\lg \frac{p}{p_0} = -\frac{g}{R} \int_{h_0}^h \frac{dH}{T}, \quad [2]$$

так как до сих пор нет общепринятого закона распределения  $T$  с высотой, то интеграл взять нельзя. Но, с другой стороны, из наблюдений метеоров значения температуры и плотности в стратосфере на высотах около 40—90 км могут быть получены независимо; эти результаты подтверждаются, как известно, другими геофизическими методами, и потому на основании формулы [2] в первом приближении численные значения функции  $p = p(H)$  могут быть получены (1) по крайней мере до высоты 100 км.

Уравнения движения. Движение метеорита в воздухе определяется системой шести дифференциальных уравнений движений твердого тела: тремя уравнениями движения центра массы и тремя уравнениями движения метеорита около центра массы. Эти шесть уравнений являются совокупными, так как силы, от которых зависит движение центра массы, обусловлены положением метеорита относительно касатель-

ной к траектории, а силы, определяющие положение его относительно касательной, зависят от скорости центра массы. Так как эти силы в настоящее время недостаточно изучены, то одновременное интегрирование всех шести уравнений движения невозможно. Но задачу упрощают, отбрасывая вращение метеорита, как явление второстепенное по сравнению с поступательным движением, и тогда задача сводится к интегрированию трех дифференциальных уравнений; в случае необходимости можно учесть влияние вращения метеорита, как поправку к этому решению.

В общем случае движение метеорита относительно центра инерции Земли является, как известно, движением по одной из кривых конического сечения (2). Действительно, на основании интеграла живой силы

$$v_y^2 = k^2 (M + M') \left( \frac{2}{R} - \frac{1}{a} \right),$$

(где  $a$  — большая полуось орбиты,  $M'$  — масса Земли, а  $R$  есть сумма высоты метеора и радиуса Земли,  $K$  — Гауссова постоянная), по подстановке численных значений получаем, что парабола ( $a = \infty$ ) будет иметь место при  $v_y = 11.05$  км/сек; так как обычно скорости метеоритов больше этой величины, то орбиты огромного большинства метеоритов относительно Земли являются сильно распрявленными гиперболами.

Для скоростей, меньших 11.05 км/сек., орбита является эллиптической, и траектория представляет собою дугу эллипса; если пренебрегать кривизной Земли и считать нормали к земной поверхности параллельными, то получается известное из баллистики движение по параболе. При этом, полагая силу тяготения неизменяющейся с высотой, мы допускаем ошибку, достигающую напр., для высоты, в 150 км около 5%.

Для целого ряда практических случаев вполне бывает достаточно ограничиться следующими допущениями: 1) сила тяжести постоянна, 2) влияние вращения атмосферы и воздушных течений в ней невелико, 3) движение метеорита происходит в неизменной плоскости, проходящей через центр массы Земли, 4) сопротивление воздуха направлено по касательной к траектории но в сторону, обратную движению, 5) вращением и кривизной Земли в первом приближении можно пренебрегать.

Если закон убывания плотности атмосферы с высотой есть  $\rho = \rho(H)$ , закон сопротивления выражается некоторой функцией  $G$  от скорости, массы, формы, плотности метеорита и т. д., то в некоторой прямоугольной системе координат, с началом  $O$  в основании проекции на горизонтальную плоскость точки вступления метеорита в земную атмосферу, где ось  $OX$  направлена горизонтально по направлению движения метеорита, ось  $OY$  направлена в зенит и ось  $OZ$  — по горизонту на угол  $90^\circ$  от направления  $OX$ , — три основные дифференциальные уравнения движения метеорита по инерции и под влиянием силы тяжести будут:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -j \cos l \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = j \sin l - g \quad \frac{d^2 z}{dt^2} = 0. \quad [3]$$

Но так как задача является плоской, то достаточно двух первых уравнений; здесь  $j$  есть ускорение силы сопротивления воздуха,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $I$  — угол наклона траектории к горизонту, обычно положительный. В силу того, что

$$\cos I = \frac{dx}{dt} : v, \quad \sin I = \frac{dy}{dt} : v,$$

имеем:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{j}{v} \cdot \frac{dx}{dt}; \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{j}{v} \cdot \frac{dy}{dt} - g, \quad \text{где } v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}. \quad [4]$$

Обозначим  $\frac{j}{v} = c \cdot p(H) \cdot G(v)$  как некоторую функцию от „баллистического коэффициента“  $c$ , плотности  $p$  на данной высоте  $H$  и вышеупомянутой функции  $G$ , тогда получим:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -cp G \frac{dx}{dt}; \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = cp G \frac{dy}{dt} - g, \quad \text{где } v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}. \quad [5]$$

Начальные условия:

$$t_0 = 0, \quad x_0 = 0, \quad y_0 = H_1, \quad \left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = V_0 \cos I_0, \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = V_0 \sin I_0.$$

Эта система [5] двух дифференциальных уравнений второго порядка эквивалентна системе 4 дифференциальных уравнений первого порядка, так как, подставляя проекции  $u$  и  $w$  скорости  $v$  на оси  $OX$  и  $OY$ , получим:

$$\frac{du}{dt} = -cp G u; \quad \frac{dw}{dt} = cp G w - g; \quad \frac{dx}{dt} = u; \quad \frac{dy}{dt} = w, \quad \text{где } v = \sqrt{u^2 + w^2}. \quad [6]$$

Здесь аргументом является  $t$ ; можно однако, как это делается также в баллистике (3), принять за аргумент  $x$  или  $I$ ; элементарные рассуждения дают:

Аргумент  $x$ :

$$\frac{du}{dx} = -cpG; \quad \frac{dk}{dx} = \frac{g}{u^2}; \quad \frac{dy}{dx} = k; \quad \frac{dt}{dx} = \frac{1}{u}; \quad \text{где } v = u \sqrt{1 + k^2}. \quad [7]$$

Аргумент  $I$ :

$$\frac{du}{dI} = -\frac{c}{g} p G v^2; \quad \frac{dt}{dI} = \frac{u}{g} \cdot \frac{1}{\cos^2 I}; \quad \frac{dx}{dI} = \frac{u^2}{g} \frac{1}{\cos^2 I}; \quad \frac{dy}{dI} = \frac{u^2}{g} \frac{\operatorname{tg} I}{\cos^2 I},$$

где  $u = v \sec I$ . [8]

При аргументах  $t$  и  $x$  приходится интегрировать 3 уравнения, а при  $I$  только 2; система [8] аналитически является наиболее удобной и дает дифференциальное уравнение годографа, так как в результате интегрирование дало бы зависимость вида  $v = v(I)$ , т. е. годограф скоростей в полярных координатах. Но поскольку вид функций неизвестен, то переменные не разделяются, и уравнения, как известно, не интегрируются. В этом случае применяются различные численные методы интегрирования,

и траектория в каждом данном случае может быть определена с достаточной степенью точности.

В двух частных случаях находятся очень простые решения. Если пренебречь величиной  $g$  по сравнению с  $j$ , то для сопротивления, пропорционального 1-й степени скорости, будем иметь:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = -Kv \quad \text{или} \quad M \frac{dv}{dt} = -Kv;$$

так как

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot v,$$

то

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{M}{K} \ln \frac{v_0}{v} \\ x &= \frac{M}{K} (v_0 - v) \end{aligned} \right\} \quad [9]$$

Для квадратичного закона сопротивления:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = -Kv^2$$

и аналогично:

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{M}{K} \left( g \frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right) \\ x &= \frac{M}{K} \ln \frac{v_0}{v} \end{aligned} \right\} \quad [10]$$

В обоих случаях  $K$  есть коэффициент пропорциональности, и ось  $Ox$  совпадает с направлением прямолинейного движения.

Общие свойства траекторий. Нетрудно видеть, что горизонтальная проекция скорости постоянно убывает, и можно показать, что угол наклона траектории в пределе стремится к  $90^\circ$  и что на конечном расстоянии от начала координат существует вертикальная асимптота. В самом деле:

$$\frac{dk}{dx} = \frac{g}{u^2}; \quad \frac{dk}{dt} = \frac{g}{u}; \quad dk = \frac{g}{u} dt;$$

интегрируя по  $t$  в пределах от 0 до  $\infty$ , получим:

$$k_\infty - k_0 = g \int \frac{dt}{u} = \frac{g}{u_{cp}} \cdot \int_0^\infty dt = \infty, \quad k_\infty = (\operatorname{tg} I)_\infty = \infty, \quad I_\infty = \frac{\pi}{2}.$$

Из системы [8]

$$\frac{dx}{dI} = \frac{u^2}{g} \sec^2 I = \frac{v^2}{g}, \quad dx = \frac{v^2}{g} dI,$$

интегрируя по  $I$  в тех же пределах, найдем

$$x_\infty = \int_I^{\frac{\pi}{2}} \frac{v^2}{g} dI = \frac{v_{cp}^2}{g} \left( \frac{\pi}{2} - I \right),$$

т. е. асимптота вертикальна и находится на конечном расстоянии. И действительно, на практике неизвестны случаи падения метеоритов на землю под очень острыми углами.

## СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХА

Для сколько-нибудь значительного диапазона скоростей, как известно, закон сопротивления воздуха не может быть удовлетворительно представлен никаким простым аналитическим выражением. Хотя, напр., теоретические формулы Ньютона, Лоренца (H. Lorenz), Маллока (Mallock) и др. содержат квадратичный член сопротивления, но у нас нет никаких реальных оснований считать, что в случае больших скоростей квадратичный закон действительно имеет место, а тем более при наличии возрастающих вторичных эффектов (5). Аэродинамика и баллистика дают некоторые указания для получения общих представлений, могущих иметь место при движении с большими скоростями, но какая-либо уверенная экстраполяция для космических скоростей является сомнительной, и ряд закономерностей, имеющих место при звуковых и несколько меньших скоростях, здесь теряет всякий смысл, как, напр., явления обтекания и распределения давления; одно предположение идеального несжимаемого газа при скоростях всего 100 м/сек. вносит в уравнение непрерывности ошибку около 4%, и она растет с квадратом скорости; при  $v = 700\text{--}750$  м/сек. позади движущегося тела начинает образовываться пустота и т. д.

Подводя итог нашим количественным знаниям в области изучения движения тел с космическими скоростями в сопротивляющейся среде, мы можем сказать, что они еще далеки от истинного представления явлений, и имеющиеся сведения имеют скорее качественный, описательный характер.

Для баллистических скоростей вид функции  $G$ , как показали опыты после 1917 г., может быть представлен так (3):

$$G = v \cdot K \left( \frac{v}{a} \right),$$

где  $a$  — скорость звука на данной высоте; при этом следует учитывать изменение температуры. Если же представить  $G$  в виде  $G = \frac{F(v)}{v}$ , где  $F = Av^n$ , то в зависимости от скорости  $v$  показатель степени  $n$  сильно изменяется, как показал опыт; эта кривая называется степенью сопротивления (фиг. 1);  $A$  при этом также изменяется.

В настоящее время наиболее целесообразным представляется исследование сопротивления воздуха опытным путем, меняя различным образом параметры; это быстрее всего приводит к цели; получаемый табличный материал при помощи методов численного интегрирования дает решение задачи в каждом конкретном случае, минуя аналитические затруднения, усиливающиеся на практике тем более, что, напр., даже самое незначительное изменение формы или другого параметра часто сильно влияет на конечный результат.

Для решения общей задачи очень удобен метод Стермера (C. Störmer), в особенности с изменениями Крылова, где легко и точно учиты-

вается изменение плотности воздуха; в некоторых случаях с успехом применим метод Адамса и др. В частности, оказывается удобным интегрирование при аргументе  $y$ ; дифференциальные уравнения в этом случае будут:

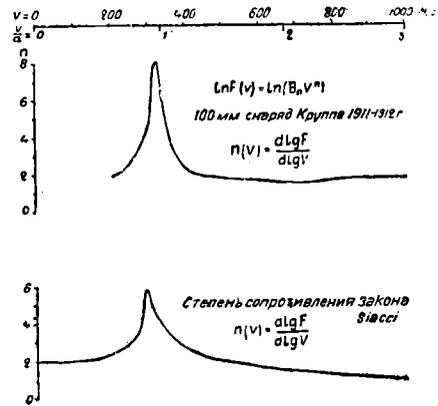
$$\frac{dw}{dy} = +cpG - \frac{g}{w}; \quad \frac{d(\operatorname{ctg} I)}{dy} = -\operatorname{ctg} I \frac{g}{w^2}; \quad \frac{dx}{dy} = \operatorname{ctg} I; \quad \frac{dt}{dy} = \frac{1}{w}; \quad [11]$$

где

$$v = w \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 I} = w \operatorname{csc} I.$$

Из этих уравнений совместному решению подлежат два дифференциальных первых и простое — последнее; по окончании вычислений решаются самостоятельно два других уравнения, определяющие  $x$  и  $t$ .

Вторичные явления. Некоторые явления с несомненностью показывают, что метеорит может обладать вращательным моментом движения при полете в атмосфере. Некоторые траектории, кроме того, по Кроммелину (A. Crommelin) представляют собой проекцию как бы винтового движения, даже зарегистрированного фотографически (I. Westland, 1912, W. Fisher, 1931). Это наводит на мысль об эффекте Магнуса и возникающей дериивации, аналогично имеющей место в движении снарядов. Таким образом, траектория становится линией двойкой кривизны в результате несимметричного распределения давления. Кроме того, вероятно имеет место прецессия; по крайней мере, на это есть указания из акустических явлений при полете метеоритов.



Фиг. 1.

#### ПРОНИКНОВЕНИЕ МЕТЕОРИТОВ В АТМОСФЕРУ

Метеориты (9) проникают в пределы земной атмосферы под различными углами падения (от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ) со скоростями около 10—100 км/сек., имея массу от долей грамма (Hessle 1869 г. — до 0.06 г) до десятков тонн (Hoba, Groetfontein, 50 т) и возможно более (метеориты Вановара, Подкаменная Тунгуска, 30 VI 1908; каньон Дьябло, Аризона и др.). Не менее 90% выпадающих ныне метеоритов являются каменными, с уд. весом около 2.5—3; число известных ныне метеоритов достигает 1000, из них около 40% с наблюдавшимся падением; однако траектории изучены лишь для небольшого числа метеоритов.

Вопросом о движении метеоритов в атмосфере занимался ряд авторов, начиная с Montanari 1676 г., но впервые строго подошел к проблеме Schiaparelli (10); исследуя данные баллистических опытов и формулы Robert'a,

он дал следующее численное выражение для скорости метеорита  $v$  в какой-либо точке траектории, где атмосфера имеет плотность  $p$ :

$$\lg\left(1 + \left(\frac{696}{v}\right)^2\right) - \lg\left(1 + \left(\frac{695}{v_0}\right)^2\right) = 0.00278 \frac{p \text{ csc } l}{r p_m}. \quad [12]$$

где  $v_0$  начальная скорость в м/сек.,  $r$  — радиус в м,  $p_m$  — плотность метеорита. Впоследствии этим же выражением пользовался Wegener (11). Davidson (12) давал следующее выражение:

$$\lg\left(1 + \frac{1}{v}\right) - \lg\left(1 + \frac{1}{v_0}\right) = A \frac{\text{csc } l}{r p_m} e^{-\frac{H}{s}}, \quad [13]$$

здесь  $A$  — некоторый численный коэффициент пропорциональности, а  $H$  — высота, где плотность воздуха равна  $p$  и скорость метеорита  $v$ .

Вопросами уменьшения скорости метеоритов в воздухе занимались несколько авторов, — назовем G. v. Niessl'я и в особенности Moulton'a; расчеты последнего дают наибольшее приближение к тому, что имеет место в действительности.

Сопrotивление воздуха удлинит время видимости метеорита (Turner, 1902; Wimperis, 1904); последний автор, исходя из баллистических соображений, полагал, что железный метеорит, в 75 мм диаметром, через 9 сек. после начала свечения уменьшит скорость до 0.48 км/сек.; по Мультону даже железный метеорит массой в 125 т,двигающийся вертикально со скоростью 16 км/сек., потеряет в атмосфере 62% скорости. Еще Скиапарелли считал, что космическая скорость метеоров теряется очень быстро; последнее, однако, неверно. Во всяком случае сила сопротивления воздуха превосходит значительно вес метеорита даже на больших высотах, и только очень большие метеориты могут достичь земли с остатками космической скорости (Magie), как, напр., метеориты Аризонский (Canyon Diablo, Arizona) и Тунгусский (Вановара, Подкаменная Тунгуска).

Влияние сопротивления воздуха на небольшие метеориты сказывается сильнее, чем на более крупные, при той же продолжительности действия; на это указывают как непосредственные наблюдения полета группы метеоров, когда более крупные из них оказываются впереди, так и расположение метеоритов в выпавших дождях; здесь, очевидно, играет роль „поперечная нагрузка“  $\frac{M}{r^2}$ , где  $M$  — масса, а  $r$  — средний радиус метеора. Поэтому влияние сопротивления воздуха должно особенно сильно сказываться на движении очень маленьких метеоров, напр., телескопических, и возможно, что их малые угловые скорости — следствие незначительной линейной скорости, так как они могут потерять значительную долю своей начальной скорости прежде, чем достигнут тех слоев атмосферы (70—100 км), где плотность воздуха достаточно велика, чтобы их свечение стало заметным. По этой же причине космическая пыль должна задерживаться в верхних слоях атмосферы, как задержалась бы в предельном случае отдельная газовая молекула с подобной скоростью.

Торможение метеоров. Уже непосредственные наблюдения указывают, что обыкновенные метеоры во время полета заметно не изменяют свою угловую скорость движения, может быть в связи с тем, что, вообще говоря, приближение метеора к поверхности земли (и следовательно, к наблюдателю) до некоторой степени компенсирует уменьшение скорости. По расчетам Эпика (14) (1922 г.) скорость метеора потока Персеид уменьшается с 56.0 до 54.4 км/сек., при уменьшении первоначальной массы до 0.01; такое же малое уменьшение скорости получили Линдеман и Добсон (F. Lindemann, G. Dobson, 1923) (15). К подобным же выводам пришли В. Фесенков (16) в 1920 г. и Х. Марис (17) в 1930 г. Во всяком случае трудно было ожидать большого процента потери скорости, и, действительно, уже первые инструментальные определения скоростей метеоров, произведенные Элькиным (E. Elkin) в 1899 г. (Йэльский унив., США) по идее I. Homer Lane'a (1860), Zenker'a, Fitzgerald'a, Штернберга (Москва, неопубликовано) путем периодического закрывания объектива фотокамеры, показали, (18) что известные скорости метеоров некоторых потоков были заметно уменьшены сопротивлением воздуха. Первый отчет появился в 1900 г., второй опубликован не был; однако известно, что были зарегистрированы, напр., скорости метеоров, являвшихся гиперболическими в солнечной системе (Ch. Olivier, *Meteors*, p. 106, 1925).

Таблица 1

Инструментальные определения потери скорости метеоров в атмосфере (Элькин, 1899)

№	Дата 1899 г.	Радикант 1875.0 $\alpha$ $\delta$	Приблж. высота	Теорет. скорость	Наблюд. скорость	Торможение
1	Июль 31	29°50' + 57°40'	88 — 75 км	58.3 км/сек.	50.4 км/сек.	7.9
2	Август 7	28 44 — 27 58	50 — 45	27.1	12.2	14.9
3	„ 8	45 12 + 56 35	101 — 94	60.3	50.3	10.0
4	Ноябрь 24	23 52 + 39 46	93 — 90	19.6	20.2	(-0.6)
5	Декабрь 12	112 22 + 33 02	90 — 96	49.5	36.5	13.0

След метеора 7 VIII 1899 г. был прерван обтюратором 4 раза, и в этих отрезках было получено следующее значение средних скоростей: 12.33; 12.11 и 12.09 км/сек. Позднейшие исследования Элькина (Ch. Olivier, l. c.) показали, что уменьшение скорости не было так велико, как в первых определениях, и наблюденные скорости были близки к теоретическим.

Коллектив наблюдателей Московского отделения Всесоюзного Астрономо-Геодезического общества под руководством В. Федынского получил 14 VIII 1932 г. фотографию метеора потока Персеид по способу Элькина с 6 перерывами; торможение дает возрастающий процент потери скорости от 1 до 9% (19).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Другой метеор 14 VIII 1934 г. дал 14 (!) перерывов.

Следует отметить, что зафотографированные метеоры относятся к ярким и большим, а потому дольше летящим, и влияние сопротивления воздуха на них сказывается заметнее, чем на обыкновенных метеорах; есть все основания полагать, что для последних потеря скорости не превышает 5—15%.

Торможение болидов. Для очень ярких метеоров (болидов) этот вопрос был отчасти разрешен Вегенером (20) (A. Wegener, 1927). Остроумно комбинируя скорость болидов относительно земного апекса и предполагая, что а) все гелиоцентрические скорости болидов, в среднем, одинаковы и в) относительная потеря скорости в атмосфере составляет постоянную величину, он нашел, что потеря скорости болидов из каталога Ниссля-Гофмейстера (Niessl, Hoffmeister, 1925 г.) составляет  $24 \pm 5\%$ .

Эффект торможения неоднократно наблюдался для отдельных болидов. Количественные данные впервые получил Ниссль из многих наблюдений над скоростью болида в различных участках его пути. Его метод применял Гофмейстер, и мы имеем теперь следующие данные (21):

Таблица 2

Определение потери скорости болидов в атмосфере по Ниссля (N) и Гофмейстеру (H)

№	Дата	Длина отрезка пути от точки погасания	Средняя скорость на этом отрезке км/сек.	Примечания	Автор	
1	1876 IV 9	319 км	80	—	N	
		267	76			
		104	29			
2	1889 X 23	243	67.2	—	N	
		155	48.2			
		55	25.5			
		52	17.8			
3	1905 III 14	145	36.3	Высота 87—37 км	N	
		70	21.1			63—37 "
		51	14.6			54—37 "
4	1910 IX 23	—	75.6	—	N	
		—	16.0			
5	1916 IX 3	305.5	57.0	Отсюда автор вывел, что сопротивление пропорционально 8-й степени скорости	H	
		238.9	55.6			
		168.8	49.9			
		123.3	41.5			
6	1921 VIII 17	695.8	36.6	—	H	
		218.2	27.1			
		35.0	13.7			
		17.6	8.8			

Еще Деннинг (F. W. Denning) указывал, что в некоторых случаях метеоры из хорошо известных радиантов при корреспондирующих наблюдениях дают скорость меньшую, чем геоцентрическая скорость потока. Особенно заметно это для долго летящих больших метеоров с малым наклоном траектории к горизонту; напр., один Акварид 3 V 1900 г. дал среднюю скорость 45 вместо 64 км/сек.; то же замечено для некоторых Леонид и т. д. Особенно заметно торможение сказывается при опускании болидов в более плотные низкие слои атмосферы; Ниссля (23) дал замечательную сводку материала, из которой заимствован следующий пример:

Таблица 3

Уменьшение скорости болидов при проникновении  
в плотные слои атмосферы (по Ниссля)

Высота	Ср. высота	Ср. скорость	Число наблюдений
> 100 км	116.8 км	76.2 м/сек.	9
100—80	89.3	72.0	9
80—60	72.5	49.4	16
60—50	58.9	49.1	21
50—30	39.0	42.7	35
< 30	22.1	36.5	21

Кроме того, более медленные метеоры проникают в атмосферу глубже и потому тормозятся сильнее. То же явление наблюдается для обыкновенных метеоров и других болидов; торможение составляет по данным Ниссля 30—70% и тем сильнее, чем ниже объект опустился в атмосферу. Поэтому следует ожидать особенно сильного торможения для неуспевающих расплыться метеоритов, и действительно в „области задержки“ они теряют 95—99% своей космической скорости.

Торможение метеоритов. Еще со времен Гайдингера (A. Haidinger) и Скиапарелли известно, что метеориты теряют свою космическую скорость настолько, что движение по инерции переходит практически в свободное падение в воздухе. На протяжении нескольких километров траектории, обычно на высоте 20—30 км („область задержки“), скорость метеорита в силу сопротивления воздуха уменьшается до нескольких сот метров в секунду. Дальнейшее движение оказывается практически равномерным, и оно, в силу наличия „пневматической подушки“ перед метеоритом, во многом напоминает падение аэропланнх бомб (4); в зависимости от массы, плотности и формы метеорита определяется конечная скорость, с которой он достигает земли; последняя от высоты падения практически не зависит. При бросании авиабомб уже через несколько секунд после начала падения устанавливается почти постоян-

ная скорость. Свинцовая пуля в 10 г имеет предельную скорость около 40 м/сек., дробинка — около 8—10 м/сек. и т. д., а очень мелкие шарики с плотностью = 1 при уменьшении диаметра с 0.17 до 0.01 и 0.001 см соответственно падают со скоростью 740, 78 и 0.1 см/сек. Для авиобомб имеется следующая таблица (23):

Вес бомбы:	8	16	30	74	164 кг
Конечная скорость	151	162	192	231	276 м/сек.

При этом время падения  $t$  связано с высотой  $H$  зависимостью:

$$H = \frac{1}{\lg_{10} e \cdot C} \cdot \lg ch(\sqrt{gC} \cdot t), \quad [13]$$

где  $C$  — некоторый параметр; в него же вводится изменение плотности воздуха. При движении с некоторой начальной скоростью траектория может быть вычислена различно, напр., методом Veithen-Katta или Zeidlitz-Stübler'a. При таких расчетах может быть учтен даже снос, производимый ветром.

Метеориты являются гораздо хуже обтекаемыми и обычно меньшей плотности чем авиобомбы, а потому их скорость должна быть еще меньше, и трудно ожидать скоростей, превышающих 100—200 м/сек. у земной поверхности. И действительно, во всех тех случаях, когда по глубине ямы и плотности грунта удавалось определить конечную скорость падения, она оказывалась лежащей в этих пределах. Многие каменные метеориты, напр., уходят в землю не глубже величины своего поперечника, что дает лишь несколько десятков м/сек. Метеорит Hesse 1 января 1869 г. упал на тонкий лед и не пробил его; метеорит Первомайский 26 XII 1933 г. прошел лишь снеговой покров и т. д., что дает наряду с другими примерами еще меньшие скорости. Конечная скорость падения метеорита Миддльбрау по А. Гершелю (A. S. Herschel, Англия) составляла 126 м/сек., метеорита Hvittis — 177 м/сек. (по Боргстрему, Börgström); для Сен-Михеля она лежала в пределах 170—215 м/сек., для Шелберна — 158 м/сек. и т. д. (9). В некоторых отдельных случаях, как, напр., это сделал Шлихтер для метеорита Algoma или Вегенер в анализе падения метеорита Treysa 3 IV 1916 г., можно было математически исследовать условия движения в атмосфере.

Недавно В. Фишер (24) (W. Fisher, Harvard College Observ., США), пользуясь методом Бергстрема, на основании баллистических данных С. Crantz'a нашел, что для железных метеоритов глубина проникания в почву, как и следовало ожидать, зависит от массы. В системе MKS эта зависимость выражается так:

$$D = 18.6 \sqrt[3]{M},$$

где  $D$  — верхний предел глубины проникания. Для каменных метеоритов какой-либо простой закономерности не наблюдается.

Интересные работы по массовому определению скоростей метеоритов были произведены Аризонской метеорной экспедицией (25) (Э. Эпик, Ж. Шапли и Л. Буфройд) в 1930—1931 г. Кроме того, в 1933 г. массовые статистические определения производились в Сталинабаде, Таджикистан (И. Астапович). Результаты в настоящее время обрабатываются.

Таким образом можно составить следующую таблицу.

Таблица 4

Торможение метеоров в атмосфере земли

№	Объекты	Высота (ориентировочно) км	Потеря косм. скор. %	Примечание
1	Метеориты . . . . .	150—20	95—99	Не считая больших масс
2	Боляды . . . . .	130—40	25—70	Возможная потеря > 70 %
3	Яркие метеоры . . . . .	120—60	10—20	—
4	Слабые метеоры . . . . .	110—80	< 5—15	—

Сопротивление воздуха по абсолютной величине является довольно значительным. Оно в состоянии, в результате неравномерного распределения давления на поверхность движущегося метеорита, раздробить его, даже в случае железных монолитов (напр., гексаэдрит Богуславка 1916 г. разбит в воздухе на части в 199 и 57 кг). На то, что дробление происходит в воздухе, указывают как визуальные наблюдения, так и наличие „вторичной“ коры на месте излома у выпавших осколков [напр., метеорит Саратов 1918 г. (серый хондрит) и др.]. По Фаррингтону (O. Farrington), в других метеоритах наблюдаются сдвиги, смятие, и в случае железных метеоритов — деформации, полученные при движении в атмосфере. Внутри многих каменных метеоритов („жилковатые“ хондриты) встречаются темные „жилки“, представляющие собою трещинки, которые были под влиянием наружного давления заполнены жидкой стекловидной массой оплавленной поверхности метеорита.

Поверхность метеоритов (ныне регмаглипты, прежде пизоглипты) свидетельствует как бы о действии режущих с большой силой потоков встречного воздуха, ведущих себя при космических скоростях практически почти как твердое тело. Даже обыкновенная винтовочная пуля, пролетая близ металлической поверхности и не касаясь ее увлекаемым при полете воздухом, оставляет заметную борозду или зазубрины на металле; далее, давно известно, напр., что вытекающую под очень большим напором струю воды нельзя перерубить топором и т. д. Добрэ (Daubr e) производил опыты со взрывчатыми веществами, стремясь искусственно получить пизоглипты; он считал, что при скорости 60 км/сек. давление на поверхность метео-

рита не менее 50 атм. Для метеорита в 20 см диаметром сила сопротивления по Фабри (Ch. Fabri) должна достигать десятка тонн. По нашим современным представлениям действие сжатого газа перед метеоритом эквивалентно взрыву; возможно этим объясняются часто наблюдаемые и фотографируемые взрывы метеоров; в иных случаях, как это видно на фотографиях Бутлера, Сикори, Неуймина и др., первоначальная траектория метеора изменяется под действием подобного взрыва.

В воздушной подушке, образующейся перед летящим снарядом, давление определено экспериментально; оно составляет обычно 2—3 атм. Формула Рэля (Rayleigh) дает возможность определить давление в вершине снаряда в зависимости от скорости. Приводимая таблица содержит величину динамического давления (т. е. освобожденного от обычного атмосферного) у земной поверхности.

Таблица 5

Динамическое давление  $P$  в функции скорости

$V=0$	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	м/сек.
$P=0$	0.06	0.27	1.35	3.56	6.70	198	1578	24.9	кг/см <sup>2</sup>

При увеличении  $V$  до  $\infty$  отношение  $P: \frac{\rho v^2}{2}$  стремится теоретически к некоторому постоянному пределу.

Формула Рэля имеет следующий вид:

$$P = \left(\frac{x+1}{2}\right)^{\frac{x+1}{x-1}} \left(\frac{2}{x-1}\right)^{\frac{1}{x-1}} \left(\frac{v}{a}\right)^{\frac{2x}{x-1}} \left[\frac{2x}{x-1} \left(\frac{v}{a}\right)^2 - 1\right]^{-\frac{1}{x-1}} - 1. \quad [14]$$

Н. Wimperis, исходя в 1904 г. из баллистических соображений, считал, что при скоростях выше 160 м/сек., тела при движении в воздухе начинают нагреваться. В. Томсон (W. Tomson) рассчитал, что при скоростях, превышающих 15 км/сек., должна развиваться температура, близкая к температуре горения водорода в кислороде. Еще Regnault и Govi, а в наше время Burgatti (1917 г.), полагали, что трение о воздух недостаточно для объяснения высокой температуры метеоров, но Delaunay и Haidinger впервые указали, что повышение температуры происходит за счет сжатия воздуха. Эти, а также другие работы (Kirkwood'a, Galle, Ferrari, Tomson'a, более поздние Davidson'a, Coultre, Rieman'a, R. Emden'a, Véronnet и др.) ныне имеют, главным образом, только исторический интерес.

Из так наз. теории прямого скачка (Релэй) следует, что если какое-либо возмущение распространяется в воздухе со скоростью, превышающей скорость звука, то оно сопровождается скачком плотности  $\Delta \rho$  и температуры  $\Delta T$ . Теория сферического скачка не разработана, а для

плоского скачка при нормальном атмосферном давлении мы получаем следующую таблицу.

Таблица 6

Скачок плотности  $\Delta\rho$  и температуры  $\Delta T$  в функции скорости

$V =$	341	400	700	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000 м/сек.
$\Delta\rho =$	0	0.47	3.9	9.2	40.3	92.3	165	258 кг/см
$\Delta T =$	0	33	212	465	1 925	4 350	7 150	12 100°C

Для больших скоростей данные неточны, так как нельзя пренебрегать излучением воздуха и диссоциацией. Для случая скачка Hugoniot вывел динамический закон, носящий в баллистике его имя и заменяющий обычный адиабатический закон. Скорость распространения скачка у фронта метеорита равна скорости последнего, и потому даже в сильно разреженной атмосфере имеет место повышение давления и температуры. Непосредственные определения температур в оболочках метеоров дают значение от 3000° (P. Millmann по сравнению интенсивностей линий спектра метеоров, 1932) до 6000°—7000° (Э. Эпик, по сравнению с цветом звезд, 1922 и др. данным 1933 г.). Линдеман и Добсон (1922—1923) считают, что при скоростях < 12 км/сек. метеор перестает светиться, — может быть этот предел вдвое меньше.

#### ГАЗОВЫЕ ОБОЛОЧКИ

Газовая масса, движущаяся вместе с метеоритом, сильно усложняет картину его движения, и потому сопротивление воздуха рациональнее всего определить каким-либо путем из наблюдений. Радиус этой оболочки для сферического метеорита  $\frac{3}{2}r$ , где  $r$  — радиус метеора (Epstein, 1931). Исходя из других соображений, Пиккеринг (W. Pickering) оценил ее в 5—6 см. для метеора в 7 мм диаметром. Сперроу (C. Sparrow, 1926) считал, что эффективный диаметр обычно в 4—6 раз более диаметра метеора, и то же принимал Э. Эпик в 1913 г. Имеются указания, что поперечники газовых оболочек больших болидов измеряются сотнями метров, что нельзя объяснить одной иррадиацией (Ниссль, Оливье), несмотря на опыты L. Smith'a с иррадиацией; в данных условиях, вероятно, оболочка принимает наиболее обтекаемую форму. Эта оболочка по Линдеману и Добсону, давшим в 1923 г. наиболее полное теоретическое описание последней, а также по Марису (1930), образуется на высоте 70—80 км.

При движении метеорита, кроме повышения температуры и давления, несомненно имеет место диссоциация воздуха, а также его ионизация; по Сперроу это наступает соответственно при скоростях 16 и 30 км/сек. Образование так наз. „следов“ ионизации метеоров подтверждает это для

больших и быстрых метеоров. Воздушное уплотнение перед метеоритом порождает известные в баллистике „волны Маха“, сфотографированные Е. Mach'ом в Вене в 1887 г. для летящей пули; по мере удаления от головы снаряда их скорость падает и приближается к звуковой, так что фронт волны Маха приблизительно очерчен по гиперболе; эта волна также напоминает коническую, причем раствор в вершине конуса (угол Маха) связан простым соотношением со скоростью звука  $a$  и снаряда  $v$ :

$$\sin \alpha = \frac{a}{v}. \quad [15]$$

Даже при умеренных скоростях эти волны являются одним из источников известных звуковых явлений при падении метеоритов; кроме того, завихрения в тыльной части и замыкание пустоты (при скоростях ниже 700—750 м/сек.) и другие явления возбуждают при полете ряд других звуковых явлений.

Таким образом, схема движения тела, подобного метеориту в атмосфере, в основных чертах сводится к следующему.

При проникновении метеорита в атмосферу Земли извне до высоты 90—100 км не наблюдается заметного уменьшения его скорости, вероятно она значительно ниже 3—5%; свечение начинается выше, на 120—200 км в зависимости от скорости, причем метеорит становится видимым тогда, когда сила света его в лабораторных единицах превышает 100 межд. свечей. На высотах около 80 км, где, повидимому, довольно резко меняются физические свойства стратосферы и, в частности, плотность, — происходит увеличение общей яркости метеорита, и перед ним образуется заметная газовая оболочка, сопровождающая метеорит при дальнейшем движении, когда длина свободного пробега молекул воздуха уже мала по сравнению с размером метеорита. Особенно заметным торможение, в силу возросшего сопротивления воздуха, становится на высотах ниже 40 км. При этом потоки встречного воздуха образуют на поверхности метеорита ремаглипты, часто происходит дробление метеорита в силу неравномерного распределения давления; поверхность каменных метеоритов покрывается корой плавления, железных — магнитной окалиной. Здесь, на отрезке траектории в несколько км космическая скорость метеорита быстро теряется; начиная с высоты 55 км, становятся слышимыми акустические явления, а при уменьшении скорости метеорита ниже 5—10 км/сек. сильно падает эффект оптических явлений; для большинства метеоритов это имеет место на высоте 20—25 км. Испытывая торможение, метеорит продолжает двигаться далее, причем в силу уменьшения начальной скорости его траектория становится более крутой и начинает напоминать нисходящие ветви траекторий артиллерийских снарядов; газовая оболочка перестает светиться. При уменьшении скорости до 0.7—0.75 км/сек. замыкается пустота позади метеорита. При скорости, меньшей звуковой, происходит отделение головной баллистической волны, опережающей метеорит; двигаясь после „области задержки“

в течение нескольких минут со скоростью 0.1—0.2 км/сек. или менее, метеорит выпадает на землю обычно слегка теплым; железные метеориты, в силу большей теплопроводности, оказываются горячими.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение траекторий и скоростей метеоритов и исследование их поверхности — дает целый ряд указаний на условия движения в земной атмосфере с большими скоростями — на высотах 20—100 км. Для более полного исследования этих явлений необходимо:

а) Исследовать поверхность метеоритов с точки зрения физических условий движения в стратосфере.

б) Обработать весь имеющийся материал по наблюдениям движения метеоритов и метеоров в атмосфере.

в) Поставить специальные наблюдения по массовым определениям скоростей метеоров, попутно разрабатывая инструментальные методы этих определений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gutenberg B. Der Aufbau d. Atmosphäre, Hand. d. Geophysik, Bd. 9, L. 1, Berlin, 1932.
2. Субботин М. Курс небесной механики. ГТТИ, 1933 (ч. I).
- 3—4. Вендель Д. А., Окунев Б., Шапиро Я. Внешняя баллистика, ч. I, 1933 и ч. II, 1934.
5. Olivier Ch., Meteors. Baltimore, 1925.
6. Саткевич А. Аэродинамика. Пб., 1923.
7. Крылов А. Лекции о приближенных вычислениях, 2-е изд., Л., 1932.
8. Эсклангон Э. Акустика орудий и снарядов, изд. ВТА, 1929 (литогр.).
9. Farrington O. Meteorites. Chicago, 1915.
10. Schiaparelli G. Entwurf etc. Stettin, 1871; Клейбер, И. Астр. теория падающих звезд, СПб., 1884.
11. Wegener A. Über Luftwiderstand etc., Sitzber. d. Ges. zu Beförd. d. gesamten Naturwiss. zu Marburg, 1919, 2, 4—7 (работы не видел. И. А.).
12. Davidson R. M. The resistance of the atmosphere. JBAA, 23, 321.
13. Астапович И. Физ. явления при полете метеоров. Мирозведение, 23, № 3, 196—215, 1934 (обзор).
14. Öpik E. Publ. Obs. de Tartu. 25, No 1, 1922, Dorpat.
15. Lindemann F., Dobson, G. Proc. R. Met. Soc. (L.) 102, 411, 1923; 103, 339, 1923; Nat. (L.), 118, 195, 1926; I. Satterly J. R. A. S. of Can. 17, 291, 1923; Radakowicz, Met. Ztschr. 43, 441, 1926; 46, 326, 1927; Оболенский, Н. Метеор. вестн., 1927, № 8.
16. Фесенков В. Тр. Гл. Астрофиз. обс., т. 2, 85, 1920.
17. Maris H. B. Terr. Magn., 33, 233, 1929; 34, 309, 1930.
18. Elkin E. Ap. J. 12, 4, 1900; Publ. Astr. and. Astrophys. Soc. of America, I, 1910.
19. Федянский В. Доклад на I Всес. астр.-геод. съезде 21 I 1934 г. Москва; Станюкович К. Сообщение на I Всес. Конф. по изуч. стратосферы 3 IV 1934.
20. Wegener A. Naturwissenschaften, 15, 1927.
21. Niessl G. Sitzber. Wien. Ak. 114, 1477, 1905; 121, 1883, 1912 (math.-nat. Kl.); Hoffmeister, C. Mitt. Stw. Sonneberg, No 2 и No 14.

- 
22. Niessl G. *Smiths. Misc. Coll.*, 66, No 16, 1917 (перев. Cleveland Abbé, I ч.).
  23. В нуков В. *Физика и война*; вып. I, 1931, Москва; кроме того см. № 3 этого списка литературы.
  24. Fisher W. J. *Proc. Nat. Ac. of Sci.*, 19, No 3, 1933, Wash.; то же *Harv. Reprints* 87.
  25. Shapley, H., Öpik E., Boothrood, S. L. *Ibid.*, 18, No 1, 1932; то же *Harv. Reprints*, 4.
  26. Sparrow C. *Ap. J.* 63, No 2, 1926; Lindemann F. *ib.* 65, 1927; Radakowicz. *Met. Zts.* 44, 326, 1927.
  27. Chladni. *Über Feuermeteore*, Wien, 1819; Kirkwood D. *Meteoric Astronomy*, Philadelphia, 1867 (истор.).
  28. Öpik E. *Atomic Collision and Radiation of Meteors. Acta et Comment. Univ. Tartu (Dorpat)*, A 26, 2, 1933; то же *Harv. Reprints*, 100; полемика с C. Hoffmeister'ом A. N., 219, 221, 223, 235, 242.
-

В. В. ШАРОНОВ

## ФОТОМЕТРИЯ ЛУННЫХ ЗАТМЕНИЙ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТРАТОСФЕРЫ

Два явления при лунных затмениях связаны с земной атмосферой: во-первых, появление слабого красного освещения на диске Луны в то время, когда она находится в конусе полной тени, и, во-вторых, увеличение радиуса земной тени по сравнению с тем, что дает геометрический расчет.

Освещение Луны внутри земной тени, как указал еще Кеплер (1), происходит от преломления света в воздушных слоях. Благодаря этому лучи, проходящие близ земной поверхности, загибаются к оси конуса тени; простой расчет показывает, что при горизонтальной рефракции в  $34'$  они сходятся уже на  $\frac{2}{3}$  расстояния до Луны. Проходя толщу атмосферы дважды, эти лучи в сильной степени подвергаются действию атмосферного поглощения, а последнее, как известно, обладает резко избирательным характером. Синие и фиолетовые лучи почти полностью задерживаются, красные проходят, и в результате конус земной тени освещается темнокрасным светом.

Несколько сложнее объяснение увеличения радиуса тени. Прimitивное объяснение, которое нередко выдвигалось в прошлом столетии и которое и сейчас еще нередко можно встретить на страницах популярной литературы, состоящее в том, что сама воздушная оболочка, лежащая поверх твердой земной коры, тоже дает тень, — не может быть удержано: увеличение тени на  $\frac{1}{50}$  радиуса означало бы наличие очень большой мутности в слоях атмосферы на высоте 100 км и выше, что невозможно. Зеелигер (2), Плен (3), Мейер-Бюрер (4) и др. работали над этой проблемой, причем было установлено, что причиной увеличения тени является все та же рефракция.

Весьма обстоятельная, хотя и громоздкая, оптическая теория лунных затмений была разработана Пецольдом (5). Принимая для изменения рефракции с высотой теорию Айвори (Ivory) и для поглощения теорию Зеелигера, Пецольд указал приемы, позволяющие вычислить освещенность в любой точке тени и полутени. Оказывается, что в совершенно прозрачной атмосфере должна происходить некоторая концентрация лучей к оси теневого конуса, вследствие чего центральные части тени окажутся светлее

краевых. Если же принять в расчет и поглощение, то этот эффект исчезает, как это видно из следующих чисел:

	Освещенность (в долях нормальной освещенности от Солнца)	
	Без поглощения	С поглощением
Центр тени . . . . .	0.0545	0.00 000 292
Точка на расстоянии 0.75 земного радиуса от центра тени .	0.00843	0.00216

В работах Пецольда находит свое объяснение также феномен увеличения радиуса тени. То, что мы наблюдаем на лунном диске при затмении, по существу не является геометрической тенью земного шара, но есть рефракционная тень атмосферы. Пучок лучей, проходя через разреженные слои стратосферы, где поглощение ничтожно, в общей интенсивности заметно не ослабляется; но благодаря различию в рефракции на разных уровнях он растягивается на большой телесный угол и потому, попадая на лунную поверхность, производит лишь слабое освещение. Благодаря этому даже сильно разреженные верхние слои атмосферы оказываются как бы мало прозрачными, причем степень ослабления луча зависит от градиента рефракции. Этим объясняется, в частности, тот факт, что внутренние части тени, где собираются лучи, прошедшие низкие слои тропосферы и потому в сильной степени подвергшиеся действию поглощения, имеет резкую красную окраску, в то время как на краях, где ослабление вызывается одной рефракцией, тень представляется сероватой.

Десять лет спустя Ричардсон (6) в Англии, не будучи, повидимому, знаком с работой Пецольда, произвел аналогичные расчеты с помощью упрощенного метода. Именно, он путем графического построения находил угловую площадь искаженного рефракцией солнечного диска при разных фазах затмения. Выяснилось, что для наблюдателя, находящегося на Луне, солнечный диск, по мере его сближения с Землей, сначала сплющивается, а потом растягивается вдоль лимба Земли, обращаясь в яркий серп. При дальнейшем сближении центров обоих светил появляется второй серп, образованный лучами, обогнувшими Землю с противоположной стороны, причем оба серпа удлиняются и наконец смыкаются в сплошное кольцо. Приняв, что при идеально прозрачной атмосфере яркость дисторзированного изображения равна истинной яркости солнечного диска, Ричардсон, как и Пецольд, получил повышение освещенности на оси конуса тени. Далее он ввел в рассмотрение также и поглощение, причем расчеты выполнены с учетом избирательного характера этого явления на основании спектроболометрических наблюдений Смитсоновской астрофизической обсерватории. В результате получены следующие данные (параллакс  $60''.0$ ):

Расстояние от центра тени	Освещенность (в долях нормальной)	Ослабление (в звездных величинах)	Высота эффективного слоя атмосферы в км <sup>1</sup>
44'	0.0044	5.8	18
36	0.0011	7.4	14
28	0.00041	8.4	10
20	0.00017	9.4	8
16	0.00010	10.0	7
12	0.000065	10.4	6
8	0.000044	10.9	6
4	0.000034	11.1	5
0	0.000032	11.2	4

В последней графе таблицы приведена высота того слоя воздуха, через который проходят лучи, играющие наибольшую роль в создании освещенности; эти числа показывают, что с приближением к краю тени мы наблюдаем оптический эффект все более высоких слоев атмосферы.

В новейшее время теорией лунных затмений занимался В. Г. Фесенков (7). Исходя из современных представлений о температурном градиенте в тропосфере и стратосфере, он заново вычислил рефракцию и поглощение в разных слоях и рассчитал освещенность в различных точках сечения земной тени. Для зеленых лучей ( $\lambda = 550 \text{ m}\mu$ ) и параллакса 57'.0 получено:

Расстояние от центра тени	Освещенность (в долях нормальной)	Ослабление (в звездных величинах)
44'	0.004	6.00
25}	0.0000838	10.19
15	0.0000114	12.26
10	0.00000416	13.45
5	0.00000182	14.35
0	0.00000148	14.58

Сравнивая цифровые данные, полученные указанными тремя авторами, мы видим, что они довольно сильно расходятся между собой; однако ни один из этих результатов не противоречит данным наблюдений. Самые расхождения являются закономерным следствием в различии принятых при вычислении данных. Например, данные Фесенкова, вычисленные для зеленых лучей, естественно должны дать меньшую освещенность, чем расчеты Ричардсона, относящиеся к смешанному свету, т. е. практически к красным лучам. Фотографические измерения Кинана дают для крайних красных лучей освещенность в 5—10 раз бóльшую, по сравнению с синезеленой частью спектра. Кроме того, яркость Луны от затмения к затмению колеблется в столь широких пределах, что все три вычисленных кривых несомненно попадут в пределы реально наблюдаемых случаев.

<sup>1</sup> Снято с диаграмм Ричардсона автором статьи.

Таким образом, мы можем констатировать, что фотометрическая теория лунных затмений в настоящее время стоит на достаточной высоте и, несмотря на известную схематичность применяемых при вычислениях данных, дает результаты, удовлетворительно согласующиеся с наблюдениями. Однако в своем современном виде она решает вопрос, так сказать, не с того конца, который нужен нам с точки зрения исследования стратосферы: во всех изложенных работах, на основании заранее выбранной схемы строения атмосферы, рассчитывается ход яркости Луны во время затмения. Нас же интересует обратная задача: на основании анализа фотометрической кривой затмения получить данные о строении и природе верхних слоев атмосферы. Необходимость развития теории в этом направлении будет первым практическим выводом, к которому приводит рассмотрение современного положения дела.

С только что изложенной точки зрения огромный интерес представляет недавно предложенный Д. И. Еропкиным (8) способ определять величину светового потока, задержанного кольцом земной атмосферы. Идея этого способа заключается в следующем. Вообразим себе на расстоянии лунной орбиты некоторый экран, полностью захватывающий полутень и тень земли. Если бы не существовало атмосферы, то распределение освещенности на таком экране легко было бы найти из чисто геометрических соображений; точно так же легко было бы найти и световой поток, попадающий на этот экран. Если мы теперь вообразим себе Землю окруженной преломляющей воздушной оболочкой, которая идеально прозрачна, т. е. совершенно не задерживает проходящих через нее лучей, то мы получим иное распределение освещенности на нашем экране, а именно область геометрической тени тоже будет освещена за счет уменьшения освещенности в полутени. Общая же величина светового потока, попавшего на экран, будет такая же, как и при отсутствии атмосферы (по отношению к шару несколько большего, в сравнении с действительными размерами Земли, радиуса). Тот световой поток, который реально оказался бы на воображаемом экране, был бы, однако, меньше этого вследствие поглощения. Этот реальный поток можно найти из фотометрических наблюдений затмения; для этого надо получить кривую изменения яркости какой-нибудь точки лунного диска за время ее прохождения через полутень и тень и взять от нее интеграл. Разность между тем, что дает несложное вычисление для случая отсутствия атмосферы, и тем, что получается из наблюдений — даст величину светового потока, задержанного атмосферой. Этим путем мы обходим трудности, связанные с расчетами рефракции.

Описанный метод прост и удобен, но он нуждается в дальнейшей теоретической разработке, поскольку было бы интересно по величине задержанного атмосферой светового потока находить коэффициент прозрачности воздушных слоев.

Выше было указано, что яркость погруженного в земную тень лунного диска меняется от затмения к затмению очень сильно, а именно в 2—3 раза. Если ввести надлежащие поправки за влияние параллаксы Луны, то единственной возможной причиной колебаний в освещенности конуса земной тени могут быть изменения в состоянии земной атмосферы. Несомненно, что при центральных затмениях большую роль здесь должны играть колебания прозрачности в тропосфере. Поскольку средние части теневого конуса освещаются лучами, проходящими на высоте всего лишь нескольких километров над земной поверхностью, плотные облачные массы и даже высокие горные хребты могут оказывать значительное экранирующее действие. Но около края тени мы имеем преимущественно лучи, прошедшие высокие слои стратосферы, где не бывает ни облаков ни значительных помутнений и вообще поглощение совершенно ничтожно. По всей вероятности, мы здесь сталкиваемся преимущественно с колебаниями градиента рефракции, и, следовательно, колебания яркости лунных затмений являются показателем изменения структуры высоких слоев нашей воздушной оболочки.

Замечательно, что яркость лунных затмений меняется периодически и при этом в строгом соответствии с 11-летней периодичностью солнечных пятен. Это замечательное явление было выведено Данжоном (9) из глазомерных оценок и словесных описаний большого количества лунных затмений. Оказывается, что после минимума в числе солнечных пятен затмения бывают очень темными. С увеличением числа пятен они из года в год становятся светлее, причем это посветление продолжается и после максимума пятен, так что перед самым минимумом затмения наиболее светлы. Сейчас же после минимума, т. е. с появлением пятен нового 11-летнего цикла, затмения сразу опять становятся очень темными. Отсюда следует, что если считать причиной различий в яркости затмений изменения в земной атмосфере (а не непосредственно на Солнце, как предполагали некоторые), то приходится допустить, что начало нового солнечного цикла сопровождается какими-то серьезными и резкими изменениями в структуре стратосферы.

Работы Данжона в свое время вызвали возражения и критику со стороны американского астронома Фишера (10), однако разбор полемики по этому вопросу показывает, что Фишер был неправ. Тем не менее окончательное решение вопроса об обнаруженной Данжоном периодичности может быть сделано лишь на основании фотометрических измерений. Как же обстоит дело с ними?

Фотометрии лунных затмений до 1920 г., т. е. до появления работ Данжона, уделялось очень мало внимания. За последнее десятилетие этим вопросом стали интересоваться значительно больше, однако то, что в этом направлении сделано настолько несистематично, что лишь с трудом может быть использовано для сравнения яркости отдельных затмений. Методы, которыми работают отдельные наблюдатели, крайне разнообразны, и мы

ограничимся тем, что дадим лишь беглый перечень некоторых из применявшихся приемов.

Самая примитивная форма фотометрии лунных затмений это — определение интегрального блеска всей Луны. Для этой цели с успехом применяются простые глазомерные оценки, доступные широкому кругу наблюдателей-любителей. Посредством той или иной оптической системы получается сильно уменьшенное звездообразное изображение Луны, видимая яркость которого на глаз сравнивается со звездами по способу, применяемому при визуальных наблюдениях переменных звезд. С. М. Селиванов (11), который, повидимому, был первым, применившим такой метод, пользовался биноклями и телескопами, обращенными к глазу объективом. Н. Флоря (12) видоизменил метод тем, что получал уменьшенное изображение Луны посредством отражения в выпуклом зеркале (полированные стальные шары). Шаронов (13) измерял блеск звездообразного отражения в шаре звездным фотометром Граффа. Более точные результаты дает применение фотометров, основанных на принципе Максвелла, дающих возможность непосредственно сравнивать освещенности на объективе трубы, создаваемые затмевающейся Луной и избранными в качестве стандарта звездами. Этим приемом пользовались преимущественно французские астрономы (14). Для частных фаз затмения с успехом могут быть применены также фотометры лабораторного типа, например распространенные у нас люкметры ВООМП, а также фотоэлектрические методы (15).

Измерения интегрального блеска Луны дают возможность сравнивать относительную яркость отдельных затмений, но в качестве материала для теоретических изысканий они мало удобны, так как в них измеряется свет от частей лунного диска, имеющих неодинаковую освещенность. Поэтому более совершенными надо считать измерения яркости отдельных точек лунной поверхности. Для этой цели с успехом применяются методы визуальной поверхностной фотометрии при помощи астрофотометров, установленных на телескопах [работы А. В. Маркова (16), Гопмана (17), Барабашева (18), Линка и Дево (19), Цесевича (20) и др.]. Данжон (9, 21) устроил специальный фотометр без источника сравнения, в котором сравнивалась яркость двух противоположных краев лунного диска, приведенных в соприкосновение двулучепреломляющей системой; из серии таких сравнений можно вывести кривую яркости за время затмения. С большим успехом здесь применяется также фотографический метод, состоящий в измерении оптических плотностей на снимках Луны. Этим способом пользовались Б. Семейкин (22) (Харьков) и Кинан (23) (США). Производились также измерения радиации отдельных участков лунной поверхности посредством термоэлементов [работы Петгита и Никольсона (24), Линка и Дево (19)]; вероятно здесь было бы возможно применять и фотоэлектрические методы.

Наконец, необходимо указать на спектроскопические наблюдения лунных затмений. Как первые фотографические наблюдения Слайфера (25), так и последующие работы Мура и Бридгама (26) показали, что спектр, по-

груженной в тень Луны, отличается от обычного лунного (и солнечного) спектра, во-первых, громадным ослаблением синего конца по отношению к красному и, во-вторых, наличием чрезвычайно резких теллурических линий, вызванным двукратным прохождением лучей через атмосферу. Исследование относительной интенсивности теллурических линий при разных фазах затмения, равно как и изучение их перемен от затмения к затмению, несомненно представляет большой интерес. Точно так же огромное значение имеет спектрофотометрия затмений, т. е. исследование хода освещенности в отдельных участках спектра. Первые попытки в этом направлении уже были сделаны Дюфо (27).

Все изложенное можно резюмировать в виде следующей программы работ по лунным затмениям в связи с проблемами стратосферы:

1. Развитие фотометрической теории лунных затмений в направлении разработки методов и схем вычисления коэффициента поглощения и градиента рефракции из анализа световой кривой затмения.

2. Постановка работ по фотометрической статистике лунных затмений в целях выяснения периодичности в изменениях строения стратосферы и ее связи с пятнообразовательной деятельностью Солнца.

3. Организация в СССР „Службы лунных затмений“, т. е. систематических фотометрических наблюдений, ведущихся на кооперативных началах всеми обсерваториями по единообразной программе. Предметом таких наблюдений должны быть:

а) интегральный блеск Луны в визуальных лучах, определяемый с помощью простейших методов на всех обсерваториях, где ведутся наблюдения переменных звезд, а также силами наблюдателей-любителей, инструктируемых существующими астрономическими организациями (ВАГО и его отделения);

б) поверхностная яркость отдельных точек лунной поверхности как в визуальных лучах, так и через светофильтры, определяемая с помощью поверхностных астрофотометров (Розенберга, Граффа и др.);

в) фотографическая яркость точек лунной поверхности, определяемая по негативам, полученным с помощью длиннофокусных астрографов;

г) спектральное распределение света в тени и полутени, получаемое из спектрофотометрических наблюдений.

4. Составление и публикация в астрономических ежегодниках специальных эфемерид лунных затмений, приспособленных к технике и схемам их фотометрического наблюдения и обработки; включение в число предвычисляемых явлений полутеневых затмений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kepler. *Ad Vitellionem Paralipomena seu Astronomiae pars optica*, 1604.
2. Seeliger. *Abh. d. kgl. Bayr. Akad. Wiss., II Kl., Bd. XIX, 2. Abt.*
3. Plehn. *Prometheus*, VIII, 1897; X, 1898.
4. Meyer-Bühner. *Astr. Nachr.*, 229, 1927, S. 229—236.
5. Petzold. *Arch. für Optik*, I, 1908, SS. 129—146; 161—178; 206—211.
6. Richardson. *Journ. Brit. Astron. Assoc.*, 32, 1921/22, pp. 145—155; 33, 1923, p. 178—195.
7. Фесенков В. Г. *Изв. АН*, 1932, стр. 9—20.
8. Еропкии Д. И. *Бюлл. КИСО*, № 2, 1932, стр. 13—14; *Докл. АН.*, 1929, стр. 483—486; *Zeitschr. f. Astrophys.*, 3, 1931, SS. 163—170.
9. Danjon. *C. R. Acad. Sci.*, 171, 1920, pp. 1127; 1207; 178, 1924, pp. 1266—1267; *L'Astronomie*, 39, 1925, 272—276.
10. Fisher. *Smithson. Miscell. Collect.*, 76, 9, 1924; *Harv. Circ.*, № 284, 1925.
11. Селиванов С. М. *Астр. Бюлл. РОАМ*, № 1, 1925.
12. Флорья Н. *Тр. Ташк. Астр. общерв.*, IV, 2, 1933, стр. 8—18.
13. Шаронов В. *Астрон. журн.*, 11, 1934, стр. 225—231.
14. Dufau et Couder. *L'Astronomie*, 39, 1925, p. 213—216; Gindre, *C. R.*, 193, 1931, pp. 714—715; Link. *C. R.*, 195, 1932, p. 1236—1238.
15. Andruschewski. *Acta Astron.*, C. 2, 1934, стр. 53—58.
16. Марков А. В. *Бюлл. Астрон. инст.*, № 8, 1926.
17. Норман. *Astr. Nachr.*, 215, 1922, SS. 270—272.
18. Барабашев Н. П. *Astr. Nachr.*, 222, 1924, S. 174; 233, 1928, SS. 213—216.
19. Link et Devaux. *C. R.* 193, 1931, pp. 998—1000.
20. Неопубликовано.
21. Danjon, *C. R.*, 193, 1931, pp. 716—718; 178, 1924, 1064—1066.
22. Семейкин Б. *Астрон. журн.*, 11, 1934, стр. 73—76.
23. Кеелан. *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 41, 1929, pp. 297—304; 42, 1930, pp. 58—60.
24. Pettit and Nicholson. *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 39, 1927, pp. 227—228; *Phys. Rev.* (2), 33, 1929, p. 273.
25. Slipher. *Astron. Nachr.*, 199, S. 103.
26. Moore and Brigham. *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 39, 1927, pp. 223—226.
27. Dufau. *C. R.*, 193, 1931, pp. 711—714.
28. Rugier. *Journ. des Observ.*, 17, 1934, 5, pp. 65—70.

Е. Я. ПЕРЕПЕЛКИН

## О ПРИРОДЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЯВЛЕНИЯ В СТРАТОСФЕРЕ

На предшествующем заседании Конференции очень много внимания было посвящено явлениям, происходящим в высших слоях стратосферы, связанным с распространением радиоволн, с магнитными явлениями и полярными сияниями; очень часто упоминалось и влияние солнечной деятельности. В моем сообщении я буду касаться того, как солнечная деятельность может влиять на явления, происходящие в стратосфере, не затрагивая вопросов солнечной физики, так как это слишком далеко отвлекло бы от темы моего доклада, да и неуместно было бы здесь распространяться об этом. Остановлюсь главным образом на вопросах о тех агентах, которые передают энергию солнечных лучей в стратосферу. Здесь могут быть мыслимы два таких агента—ультрафиолетовая радиация Солнца и корпускулярные и другие потоки материальных частиц.

В докладе я буду рассматривать оба агента. Разрешите в нескольких словах перечислить те явления, происходящие в стратосфере, которые могут помочь разобраться в этом вопросе.

В области земного магнетизма мы имеем суточные изменения элементов этого магнетизма, вызываемые солнечной радиацией. Есть целый ряд гипотез, которые согласно приводят к тому, что в верхних слоях стратосферы имеются ионизованные слои; эта ионизованная часть стратосферы при своем движении вызывает токи, которые создают магнитное поле, и в результате получаются магнитные возмущения. Таким образом в общих чертах объясняется суточное изменение элементов земного магнетизма. Оказалось что амплитуда суточных изменений не остается постоянной изо дня в день, но она меняется с 11-летним периодом, с которым происходит изменение активности солнечной деятельности. Кроме этих регулярных явлений наблюдаются от времени до времени магнитные бури, которые протекают довольно быстро и постепенно потухают; в магнитных бурях наблюдается 27-дневная периодичность.

Пикар в 1927 г. впервые обнаружил тесную связь между силой радиоприема и солнечными явлениями, в частности—солнечными пятнами. Для длинных волн эта зависимость прямая, корреляция положительная; для коротких волн намечается обратная корреляция.

Наконец, было найдено, что число и сила атмосфериков зависят от фазы солнечной деятельности, причем связь получается обратная, корреляция получается отрицательная. Коэффициент корреляции доходил до 80%—временами до 90% в 1920 г.

Эти явления, обнаруженные при изучении распространения радиоволн, были сведены Аплетоном к явлениям ионизации верхних слоев стратосферы. Это можно объяснить принимая, что имеем повышение ионизации, примерно от полутора до двух раз, в эпохи максимума солнечной деятельности.

Дальше была найдена тесная зависимость между магнитными бурями и радиоприемом. Я должен упомянуть о полярных сияниях, которые всегда сопровождают магнитные бури, они тоже оказывают известное влияние на радиоприем.

Вот три группы явлений, которые должны быть объяснены.

Было обнаружено, что ионизация стратосферы в так называемых слоях „Е“ и „F“ остается не постоянной, а меняется из года в год, в зависимости от фазы солнечной деятельности.

Мы рассмотрим, какие агенты могут вызвать эту ионизацию. Суточные изменения земного магнетизма в частности можно связать с ионизацией стратосферы.

Я прежде всего рассмотрю вопрос об ультрафиолетовой радиации Солнца. „Солнечная постоянная“, как мы уже слышали, оказалась постоянной с точностью примерно до 1%. В Америке с 1924 г. производятся еще систематические наблюдения над видимой фиолетовой радиацией Солнца. Я не буду останавливаться на технике этих измерений. Эти измерения производятся на обсерватории Моунт Вильсон на высоте 1½ км над у. м. Оказалось (это в последние годы можно считать установленным), что ультрафиолетовая радиация длиной в 0.32  $\mu$  не постоянна, но изменяется примерно на 30%, причем в максимум солнечной деятельности Солнце излучает больше ультрафиолетовых лучей, чем в минимуме. Эта ультрафиолетовая радиация находится на границе видимого нами конца солнечного спектра. Солнечный спектр обрывается на 0.29  $\mu$ , вся энергия более коротковолновой ультрафиолетовой радиации поглощается в стратосфере и превращается в другую энергию. В верхних слоях стратосферы изменения первой энергии будут весьма сильно сказываться на явлениях, происходящих во второй. К сожалению, непосредственные измерения этого ультрафиолетового конца солнечного спектра в области 0.1  $\mu$ , весьма интересные с различных точек зрения, невозможны, поскольку эта энергия до наблюдателя не доходит, а потому приходится говорить о косвенных измерениях, на основании которых можно было бы судить об яркости этого фиолетового конца солнечного спектра и его изменениях.

Имеется ряд астрофизических доказательств, указывающих на аномалии в этой части спектра солнца. Если мы будем внимательно изучать

солнечный спектр и интерпретировать яркость различных спектральных линий, принадлежащих разным химическим элементам, входящим в состав Солнца, то обнаружатся известные аномалии; в частности окажется, что в солнечном спектре наблюдается не только линия гелия, но и линия ионизированного гелия. Чтобы их возбудить, нужна интенсивная коротковолновая радиация порядка нескольких сотых долей микрона. Оказывается, что в солнечном спектре эти линии довольно ярки.

Некоторые вычисления были проделаны несколько лет тому назад Мензелем. Предполагалось, что соблюдается термодинамическое равновесие в солнечной атмосфере, но это предположение не совсем строгое. Получается температура, которая как бы представляет по закону Планка ультрафиолетовый конец солнечного спектра, температура —  $15000^{\circ}$  значительно бóльшая, чем температура в  $6000^{\circ}$ , которую мы знаем для видимой нами части солнечного спектра. Имеются еще другие измерения, в частности я назову измерение распределения энергии между линиями бальмеровской серии в спектре протуберанцев.

Такие исследования были впервые произведены голландскими астрономами во время затмения 1927 г. и недавно повторены в Пулковке — вне солнечного затмения. В Пулковской обсерватории употреблялись инструменты более мощные; результаты получились в полном соответствии с первыми. Оказывается, что распределение энергии между линиями бальмеровской серии может быть объяснено, если предположить, что распределение энергии в конце солнечного спектра с длиной волны около 0.1 м соответствует температуре  $10000^{\circ}$ . Эти косвенные данные можно подтвердить и геофизическими данными, которые приводят к тому же.

Мы видим, что с 11-летним периодом изменяется ионизация стратосферы. Те данные о солнечной деятельности, которые до сих пор получались, в частности всем известное число солнечных пятен и целый ряд других индексов, не могут быть непосредственно применены для изучения влияния этой деятельности на стратосферу, потому что каждый такой индекс характеризует интенсивность определенных солнечных явлений, число солнечных пятен или площадь солнечных факелов или др. До сих пор не существовало такого индекса, который бы говорил, насколько изменяется ультрафиолетовая радиация Солнца или энергия материального потока.

В Пулковской обсерватории была проделана работа с последующей проверкой в Магнитной обсерватории в Слудке, в результате которой был найден новый солнечный индекс.

Протуберанц — это весьма тонкий слой газа, выброшенный из Солнца, который плавает в его атмосфере на большой высоте. Изучая спектр этих образований, мы можем получить представление об изменениях, если таковые существуют, в ультрафиолетовой радиации Солнца.

Излучение атомов, из которых состоят протуберанцы, обусловлено всем воздействием, со стороны всей солнечной поверхности; в результате происходит процесс возбуждения и обратного свечения.

Если мы возьмем две различные линии с различным потенциалом возбуждения, например линию водорода, для возбуждения которой требуется крайняя ультрафиолетовая радиация, линию ионизованного кальция, который излучает те длины волн, которые он сам воспринимает, — для этого требуется радиация  $0.4 \mu$ , и если будем изучать относительную интенсивность этих двух линий, то получим суждение об изменениях яркости ультрафиолетовой радиации по отношению к радиации длинных волн, которые, как мы знаем, достаточно постоянны.

Такие измерения были проделаны; они охватывают материал с 1928 г. Обнаружилось действительно, что эта относительная интенсивность меняется в два раза. Здесь мы должны ожидать полного параллелизма между ионизацией стратосферы и этим числом, которое характеризует ультрафиолетовую радиацию солнца. Действительно, коэффициент корреляции оказался 0.98, т. е. почти полная математическая зависимость.

Таким образом, в результате работ найден, как будто, индекс, который позволяет судить не только об определенных явлениях, происходящих в солнечной атмосфере, но показывающий насколько меняется в результате вся энергия излучения Солнца. Это говорит в пользу ультрафиолетовой радиации Солнца. Как мы увидим дальше из второго моего доклада, специальные наблюдения, которые были поставлены во время полного солнечного затмения 1932 г., показывают, что ионизация слоев стратосферы вызвана именно ультрафиолетовой радиацией Солнца.

Таким образом, изменение ультрафиолетовой части солнечного спектра влечет за собой увеличение ионизации стратосферы. Ионизация стратосферы влечет увеличение амплитуды суточных изменений земного магнетизма — это в области магнитных явлений и, с другой стороны, улучшает слышимость длинноволновых станций и, наоборот, ухудшает слышимость коротковолновых.

Пулковские наблюдения показали, что Солнце излучает не как целое, а, по видимому, существуют небольшие участки солнечной поверхности с аномальной большой ультрафиолетовой радиацией.

Если бы мы начали изучать изменение ультрафиолетовой части солнечного спектра, то мы обнаружили бы, что ультрафиолетовая радиация достаточно быстро меняется, что вполне согласуется с характером изменения амплитуды суточных колебаний земного магнетизма. Здесь солнечную деятельность со стороны ультрафиолетовой радиации можно представить отдельными вспышками, частота и интенсивность которых увеличивается по мере того, как активность солнечной деятельности возрастает.

До сих пор нет теоретического объяснения для существования такой аномалии в солнечном спектре. Правда, это очень трудно было сделать, потому что этот конец спектра небесных светил неизвестен.

Интересно отметить, что даже в эпоху минимума солнечной деятельности ионизация стратосферы наблюдается и существует амплитуда суточных изменений элементов земного магнетизма. Это показывает, что когда на Солнце нет ни одного пятна, ультрафиолетовая радиация существует и, примерно, только вдвое слабее эпохи максимума.

Кроме таких более или менее плавных изменений в солнечной деятельности, наблюдаются отдельные вспышки, которые представляют собой особый интерес. Сначала думали, что эти явления происходят очень редко. Теперь, по мере того как в многих пунктах земного шара начали систематически наблюдать Солнце, обнаружилось, что такие вспышки не так уж редки. Первая вспышка наблюдалась двумя английскими астрономами 1 сентября 1859 г. С этого началось сопоставление между отдельными явлениями на солнечной поверхности и возмущениями, ими вызываемыми на земной поверхности.

Эти наблюдения — совершенно исключительного характера. Дело в том, что как раз 1 сентября оба эти астронома наблюдали в группе солнечных пятен два весьма ярких маленьких облачка в виде как бы ярких звезд. Это явление наблюдалось всего лишь 5 мин., через 5 мин. никаких следов не осталось. Было обнаружено, что в точности в тот же самый момент произошло в течение 5—6 мин. резкое изменение элементов земного магнетизма, которое резко прекратилось. Через несколько часов, примерно через 20 час., произошла сильная магнитная буря, сопровождаемая сильным полярным сиянием. Таких случаев наблюдался целый ряд; детально изучены из них 6 (считая приведенный): в 1892 г., затем в 1908 г., в 1909 г. и два в 1926 г. Каждое из них продолжалось не более нескольких часов; наблюдались они не простым глазом, а специальным инструментом; снимки, полученные при посредстве этого инструмента, можно увидеть на выставке.<sup>1</sup> По снимкам солнца, снятым таким инструментом, можно убедиться, насколько много деталей видно на поверхности Солнца, полученных в монохроматическом свете в сравнении с непосредственными снимками Солнца. Темная линия водорода становится в некоторых местах яркой; на снимках видны белые пятна — флоккулы. Появление особо ярких флоккулов часто сопровождается магнитными бурями.

Интересно проследить, сколько времени проходит между максимумом солнечного извержения и началом магнитной бури. Изучая этот промежуток, мы можем составить представление о природе того агента, который распространяет энергию солнечного извержения в стратосферу. Если бы таким агентом была ультрафиолетовая радиация Солнца, то мы наблюдали бы одновременно как вспышку Солнца, так и вызванное ею возмущение в магнитном поле Земли. Но обнаруживается, что максимум изменений для элементов земного магнетизма — магнитные бури — не наступает одновременно; проходит некоторый промежуток времени. В результате

<sup>1</sup> Выставка по изучению стратосферы, устроенная при Академии Наук СССР.

измерений в шести достоверно установленных случаях, где нет никаких сомнений, где каждое явление продолжалось короткое время и было единично, и магнитные бури были также единичны, оказывается, что в среднем между максимумом солнечного извержения и магнитными бурями проходит 26 час.; это указывает, что мы не имеем дела с ультрафиолетовой радиацией солнца, а с корпускулярным или другим материальным потоком. 26 час. потребовалось, чтобы пройти путь в 150 млн. км, разделяющих Солнце от Земли. Отсюда скорость потока равна 1600 км/сек.

В некоторых случаях, все-таки была обнаружена одновременность появления солнечных извержений и магнитных возмущений.

Значит, солнечное возмущение распространяется к стратосфере двумя путями. Главная часть — поток материальных частиц; вторая часть — вспышка ультрафиолетовой радиации Солнца; они распространяются со скоростью 1600 км/сек. и 300 тыс. км/сек соответственно.

Таким образом, можно было заключить, что мы имеем на лицо оба агента. Обычно более или менее спокойные изменения ионизации слоев стратосферы должны происходить в результате изменения ультрафиолетовой радиации Солнца, а магнитные бури, сопровождающие полярные сияния, несомненно вызываются потоком материальных частиц.

Для того, чтобы изучать подобные явления, нужно постоянно следить за поверхностью Солнца, так как эти явления происходят обычно очень короткое время — иногда только 5 мин., до момента появления вспышки, и после последнего нельзя обнаружить каких-либо следов на поверхности Солнца. Международный астрономический союз уже давно организовал специальную Службу Солнца. В настоящее время на всем земном шаре производится систематическое наблюдение поверхности Солнца. В частности такие наблюдения полтора года тому назад начаты по инициативе астрономов и геофизиков в нашем Союзе. Но мы, обладая недостаточно совершенной аппаратурой, можем охватить только явления, доступные фотографическому наблюдению, но зато полностью их регистрируем.

Эти наблюдения будут опубликовываться ежемесячно Геофизической обсерваторией. За границей пошли значительно дальше: там применяются спектрогелиографы, спектрогелиоскопы. Сейчас имеется около 30 пунктов, которые охватывают весь земной шар более или менее равномерно по долготе и позволяют систематически наблюдать поверхность Солнца. У нас, к сожалению, пока еще нет таких инструментов; принимаются меры к их получению, и, в частности, для Пулковской обсерватории строится большой солнечный телескоп, который позволит начать наблюдения поверхности Солнца. Желательно после получения такого телескопа, постройка которого, к сожалению, затянулась, наладить необходимую регистрацию элементов земного магнетизма в месте установки телескопа. Такое изучение представляет большой интерес как для познания тех процессов, которые происходят в стратосфере, так и для солнечной физики.

Е. Я. ПЕРЕПЕЛКИН

## О НАБЛЮДЕНИЯХ ИОНИЗАЦИИ СТРАТОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ПОЛНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ

Мой доклад будет касаться способов проведения специальных наблюдений во время полного солнечного затмения, которые позволят однозначно решить вопрос: какие агенты — корпускулярные потоки или ультрафиолетовая радиация производят ионизацию стратосферы. Еще в 1927 г. обнаружено, что во время затмения этого года, — кстати сказать, продолжавшегося очень короткое время (в Англии это полное затмение продолжалось полминуты, частичное затмение длилось около полутора часов), — наблюдалось ухудшение слышимости, что возможно было объяснить уменьшением ионизации слоев, в связи с тем, что непрозрачный диск Луны закрыл от нас солнечные лучи, будь то лучи радиации или же материальные лучи.

Эти наблюдения навели Чепмана на мысль разработать вопрос о материальном излучении Солнца как причины ионизации стратосферы. Перейду теперь к изложению теории Чепмана.

Могут быть две гипотезы, которые объясняют ионизацию: ультрафиолетовое излучение, которое будет распространяться со скоростью 300 000 км/сек., и материальное, которое может, например, распространяться со скоростью 1600 км/сек. Последняя скорость выведена из наблюдений интервалов между солнечным извержением и началом магнитных бурь, а также из некоторых теоретических рассуждений и предпосылок.

В случае первой причины минимум будет, примерно, совпадать с максимумом солнечного затмения, т. е. когда солнечный диск больше всего закрыт диском Луны. Благодаря различным явлениям происходит некоторое запоздание порядка 10 мин.

Если возьмем вторую гипотезу, то оказывается, что минимум ионизации должен произойти за два часа до оптического затмения. Дело в следующем: можно принимать, что диск Солнца распространяет неравномерно во все стороны материальные частицы. Это вполне справедливое предположение. Чепман считает, что вместо 30' диаметра солнечного диска имеет место эффективно круг, примерно с диаметром 7', который будет посылать материальные лучи; остальные части диска будут мало участвовать.

Из этих представлений получается, что ширина материальной тени Луны будет примерно 2600 км и полутени 1600 км, всего — 4200 км, тогда как оптическая тень имеет всего 200 км. Луна движется вокруг Земли в пространстве со скоростью — 1750 км/мин., а материальные частицы со скоростью 100 000 км/мин. В результате будут наблюдаться явления, аналогичные аберрации. Ось материальной тени будет наклонна к оси оптической тени на угол около  $1^\circ$ . Для прохождения расстояния от Луны до Земли частицам нужно 4 мин. За это время теневой конус пробежит 7000 км. Но ведь здесь мы рассматриваем движение Луны в пространстве, а на самом деле вместе с Луной движется с несколько большей скоростью земной наблюдатель поскольку Луна движется вокруг Земли, участвуя в движении Земли вокруг Солнца. Во время солнечного затмения, когда Луна находится между Солнцем и Землей, она движется относительно Земли со скоростью 56 км/мин.

Таким образом, Земной шар пройдет ось материальной тени за 2 часа (7000 км : 56), до прохождения через ось оптической тени. Учитывая еще вращение наблюдателя вокруг оси Земного шара, получим, что максимальная продолжительность материального затмения может быть  $2\frac{1}{2}$  часа. Это в том случае, когда наблюдатель находится на экваторе и когда затмение происходит близ полудня. Если от такого идеального случая, редко встречающегося на практике, будет отступление, то продолжительность затмения будет укорачиваться. Чепман указывает, что ионизация должна уменьшиться в 8 раз в самом благоприятном случае. Если наблюдать затмение в средних широтах, около восхода или захода Солнца, то ионизация уменьшится в полтора раза. Измеряя ионизацию слоя так называемым методом наименьшей длины волны, пуская коротковолновые сигналы и наблюдая их возвращение в виде эхо, можно решить вопрос о материальном потоке или ультрафиолетовой радиации Солнца как агентах, вызывающих ионизацию стратосферы.

В 1936 г. во время затмения такие наблюдения надо поставить в СССР.

Первые более или менее уверенные результаты были получены в 1932 г. во время затмения, наблюдавшегося в США. Было обнаружено с достаточной точностью, что минимум ионизации практически совпадает с серединой затмения всего минут на пять. Таким образом, еще раз получено подтверждение теории ультрафиолетового излучения Солнца.

М. С. ЭЙГЕНСОН

## ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ФАКТОРЫ В ЖИЗНИ ЗЕМЛИ

(в порядке постановки вопроса)

Цель этого сообщения — использовать встречу на Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы представителей различных областей геофизики с астрономами, чтобы совместно обсудить вопрос, являющийся темой настоящего доклада.

Новизна вопроса, а также то обстоятельство, что докладчиком выступает астрофизик и не специалист в вопросах геофизики, должны послужить смягчающим обстоятельством в неизбежных недостатках доклада.

§ 1. Земля есть небесное тело. Эта простая истина получает, однако, с ходом развития науки все более глубокое содержание и смысл. В настоящем докладе будут сделаны некоторые конкретные выводы из этого факта и из той тесно связанной с ним и также все более углубляющей свое содержание истины, что Земля и остальная астрономическая Вселенная тесно связаны и взаимно обуславливают друг друга.

Это единство Земли и остальной Вселенной нас будет интересовать здесь не с точки зрения однородности химизма материи этих областей Мира, а также не с точки зрения общих законов происхождения и эволюции, или однотипности современных физических условий.

Мы будем рассматривать здесь это единство Земли и Вселенной в его динамике, т. е. нас будут интересовать те современные связи, которые сейчас фактически реализованы между нашей планетой и окружающим ее астрономическим Миром.

Будучи промежуточными областями, проблемы внеземных по своему происхождению влияний на нашей планете являются, в виду первого обстоятельства, комплексной сферой, в изучении которой заинтересованы, наряду с геофизиками, также и астрофизики, а также иногда и физики (например в случае космических лучей).

Геофизика интересуют в данном случае скорее результаты проявления этих космических связей нашей планеты и механизмы их взаимодействий с материей тех или иных конкретных ее оболочек.

Астронома же интересуют в первую очередь скорее механизмы возникновения этих космических связей в небесных телах, являющихся

их космическими источниками, а также обстоятельства путей этих связей на Землю и трансформаций, испытываемых ими в течение этих путей.

Именно это обстоятельство комплексного характера рассматриваемой сейчас научной области является некоторым основанием того, что этот доклад делается лицом, являющимся специалистом в одной только из заинтересованных дисциплин.

Стратосфера, т. е. верхние слои земной атмосферы, являются крайней оболочкой нашей планеты, непосредственно граничащей с межпланетным пространством. Эта промежуточность стратосферы и ее полукосмический характер имеют не только вышеуказанную геометрическую природу соседства с вне-земной Вселенной.

Хорошо известно, что физика стратосферы есть уже, по существу, нечто отличное от физики остальной планеты и что физические условия стратосферы, вероятно, более или менее непрерывно переходят в условия пустого межпланетного пространства. Именно, плотность материи в стратосфере весьма мала и быстро и непрерывно стремится к нулевой плотности, астрономически характеризующей межпланетное пространство в отличие от обычных небесных тел, характеризующихся в общем большой средней плотностью материи.

Как известно, в основном именно этим обстоятельством, а также геометрической отдаленностью стратосферы от поверхности планеты, играющей основную роль в вопросах, например, теплового режима тропосферы, объясняется известного рода независимость физики стратосферы от наземных условий. Абсолютное ослабление роли земных, в тесном смысле слова, факторов, обуславливающих физику стратосферы, приводит и уже привело в нескольких случаях к тому, что в ней, вероятно, легче, чем в других оболочках нашей планеты, может быть обнаружена роль факторов вне-земного космического генезиса.

Атмосфера и особенно стратосфера в ее высших слоях есть, таким образом, не только место входа и первая, возможно важнейшая, часть пути космических агентов геофизических феноменов, но и, что важнее, вероятно, главная арена их проявления. Поэтому исследование физики процессов в стратосфере представляет особый интерес для астрономов, которые в праве ожидать здесь открытия новых неизвестных форм связи Земли с внешним миром. Эти эвентуальные связи, стало быть, могут быть использованы как новые методы исследования небесных тел.

§ 2. С точки зрения структурной астрономии тремя системами последовательно повышающегося порядка сложности, в каждую из которых входит наша планета, являются: а) Солнечная система, в которую наша Земля входит как одно из значительнейших ее тел, б) Звездная система Млечного пути, в которую одной из нескольких десятков миллиардов звезд входит наше Солнце и в) Большая Вселенная вне-галактических туманностей, одной из областей которых сейчас считается наша Звездная система.

Мы разберем сейчас характер связей нашей планеты с отдельными телами первой из только что рассмотренных космических систем — с телами Солнечной системы.

Ближайшим к нам небесным телом является Луна, среднее расстояние которой всего лишь около десяти раз больше длины земного экватора. Однако, несмотря на эту чрезвычайную ее близость и относительную значительность ее массы, составляющей около 1.25% земной, влияния Луны на Землю сводятся, в основном, к гравитационным эффектам. Луна играет выдающуюся роль в последних, в частности — в земных приливах и в нутационном движении земной оси.

Кроме этих механических воздействий, с некоторой достоверностью известно лишь влияние Луны на геомагнитизм.

Отсутствие других видов физических воздействий Луны на жизнь Земли, повидимому, стоит в непосредственной связи с физикой этого небесного тела. Луна, как известно, лишена атмосферы и, повидимому, ее эндогенные силы теперь скорее неактивны. Во всяком случае, не были обнаружены никакие достоверные изменения лунных форм. Физика поверхности этого холодного небесного тела, повидимому, детерминирована, в основном, солнечной инсоляцией. Этим должно быть и объясняется физическая пассивность Луны, как возможного локуса космических воздействий на Землю.

Планеты и другие более мелкие тела Солнечной системы, как, напр., планетные спутники, малые планеты и т. п., воздействуют на Землю в основном такими же способами, как и Луна, т. е. теми или иными гравитационными механизмами (приливы, возмущения, прецессия от планет и т. п.). Колоссальная отдаленность от Земли таких, повидимому, активных центров среди возможных локусов космических влияний, как, вероятно, внутренне-горячие большие планеты типа Юпитера, приводит к тому, что до сих пор не было открыто с какой бы то ни было достоверностью никаких корреляций между какими бы то ни было земными явлениями и этими членами Солнечной системы.

Переходим к центральному телу Солнечной системы — Солнцу. Его гравитационные воздействия на Землю имеют преобладающий характер, что обусловлено его массой, в 700 раз превышающей массу всех остальных тел Солнечной системы, вместе взятых. Солнце, помимо того, имеет исключительное значение для Земли как источник почти всей энергии, попадающей на нашу планету, поток которой на поверхность Земли составляет  $1.5 \cdot 10^{24}$  эрг/сек. Колоссальная отдаленность звезд и галактик сравнительно с Солнцем является причиной того, что возможные внесолнечные факторы, связанные с этими небесными телами, в физической жизни нашей планеты играют совершенно второстепенную роль. Так, гравитационные воздействия от звезд сводятся в основном к так наз. галактическому вращению Солнечной системы, т. е. к орбитальному движению Солнца вокруг динамического центра Галактической Звездной

системы, находящемуся в созвездии Стрельца на расстоянии порядка 33 тыс. световых лет. Период этого обращения — около 224 млн. лет. Последняя цифра до некоторой степени характеризует величину интенсивности общей галактической гравитации. Последняя действительно весьма мала сравнительно с гравитацией солнечной, стимулирующей периоды обращения планет Солнечной Системы всего лишь примерно от  $\frac{1}{4}$  года до 250 лет. Эта колоссальность различия в гравитации солнечного и вне-солнечного происхождения имеет, как следствие, отсутствие, сомнительность или ничтожность таких возможных вне-солнечных гравитационных влияний, как эффекты пертурбационные, приливные, прецессионные и т. п.

Поток лучистой энергии от звезд, воспринимаемых астрономическими приборами, также составляет лишь ничтожную часть потока лучистой энергии, падающего на Землю от Солнца.<sup>1</sup> Это обстоятельство является объяснением относительной ничтожности двух этих главнейших прямых воздействий тел внесолнечной Вселенной по сравнению с такими же воздействиями Солнца.

Мы видим, таким образом, что физика нашей планеты в основном снаружи детерминирована Солнцем, и эта солярная обусловленность земных явлений, как известно, была доказана геофизиками в огромном числе геофизических феноменов. Однако нельзя ограничиваться одним потоком лучистой энергии от Солнца. Как хорошо известно, возможны, например, и некоторые корпускулярные механизмы связей между Солнцем и Землей (например в случае полярных сияний по Биркеланду-Штермеру). Однако, как в случае имеющего явно место потока лучистой энергии Солнца, так и в случае косвенно выводимых другого рода механизмов его воздействий на Землю, почти всегда есть налицо одна характерная для солнечно обусловленных явлений черта, присутствие которой позволяет заключить о их солнечном генезисе.

Это — некоторые характерные периодичности, которым подлежат все солнечные явления и которые распадаются на:

1) периодичности внешнего характера, связанные с изменениями относительного расположения пункта наблюдения и Солнца в виду пространственных изменений первого: а) в силу осевого суточного вращения Земли и б) в силу ее орбитального годичного обращения;

2) периодичности внутреннего характера, например: а) периодичности, вызываемые осевым (неравномерным — зональным) вращением Солнца, с длиной периода в 25—27<sup>d</sup>;

б) периодичности или циклы солнечной активности, из которых наиболее известен и наилучше установлен длинный, так наз. 11-летний цикл солнечной активности.

<sup>1</sup> Нетрудно показать (см. напр. А. В. Марков, *Astron. Nachr.*, № 5609, 1929), что поток лучистой энергии от ночного неба равен потоку таковой от 140 звезд нулевой величины, т. е. будет порядка  $3.5 \cdot 10^{-9}$  потока таковой от Солнца.

До сих пор общераспространенным методом в Службе Солнца, т. е. комплексной астрофизическо-геофизической области, занимающейся проблемой солярно обусловленных земных феноменов, и является метод нахождения и изучения статистических корреляций между теми или иными земными явлениями и некоторыми, обычно периодически изменяющимися, индексами солнечных явлений.

Эта Служба Солнца в ее явном виде есть детище самых последних лет, и к ней справедливо отвлечена преимущественная часть внимания геофизиков, интересующихся космическими причинами земных явлений. Однако прогресс науки и рафинирование физических методов исследования стихийно поставили уже перед геофизикой некоторые еще более тонкие проблемы — проблемы внесолнечных факторов в жизни Земли.

§ 3. К числу такого рода факторов космического, и притом внесолнечного происхождения, относятся, прежде всего, космические лучи, космичность и внесолнечность генезиса которых была, в частности, подробно аргументирована в другом моем докладе на этой Конференции.<sup>1</sup> Как самое явление космических лучей, так и космический и внесолнечный генезис их хорошо установлены. Гораздо менее изучено другое явление, о котором, в виду его большого интереса, я должен сказать несколько слов.

В 1932—1933 гг. американский радио-инженер телефонной лаборатории Bell'я Янский (Jansky) показал наличие в высоко частотных атмосфериках периодического члена явно космического происхождения. Именно, на его космичность указывал открытый Янским суточный ход горизонтальной составляющей направления приема вышеуказанного типа атмосфериков.

При этом характерно, что в первой своей работе Янский, исходя из этого факта суточной периодичности, счел последний свидетельством именно солнечного генезиса этого новооткрытого радио-феномена. Однако систематические наблюдения, произведенные им затем в течение года, показали, что эпоха максимума этой периодической суточной волны систематически смещается с течением времени средних солнечных суток, совершая полное колебание в 24 часа в течение 1 звездного года. Последнее обстоятельство показало Янскому внесолнечный генезис исследуемого им явления, так как явление, связанное с Солнцем, должно было бы иметь, конечно, солнечносуточный, а не звездносуточный характер периодичности. Янскому было нетрудно, и притом весьма точно, вывести одну из сферических небесных координат того космического локуса, в направлении от которого, повидимому, идет эта новая таинственная электромагнитная пертурбация.

Прямое восхождение этого космического локуса оказалось равным  $18^h \pm 0^h 5$ . Значительно хуже удалось определить другую сферическую

<sup>1</sup> М. С. Эйгенсон. Космические лучи и астрономия.

небесную координату — склонение этого локуса, которое оказалось равным  $-10^\circ \pm 30^\circ$ .

Заинтересованный работой Янского, я обратил внимание на только что приведенные цифры.<sup>1</sup> При этом, как специалисту по структурной астрономии, мне стало ясным, что данные Янским координаты в пределах ошибок измерения совпадают с направлением на галактический центр, т. е. динамический центр Галактической Звездной системы, вокруг которого происходит ее вращение и вблизи которого сосредоточена почти вся ее масса.<sup>2</sup> На это мною и было обращено внимание в журнале „Природа“. Недавно о том же сообщил и сам автор этого нового радио-феномена в *Pop. Astr.* Неслучайность такого совпадения цифр космического локуса радиоволн Янского и галактического центра высоко вероятна. А это делает самое радио-явление, прежде всего, более вероятным и астрономически неожиданно-интересным, так как, при всей неясности его астрофизического механизма и значения его корреляция с имеющим, повидимому, исключительно большое значение для нашей Галактической системы и мало изученным галактическим центром, оно может сыграть большую роль раньше всего в смысле открытия новой методики изучения этого особого района нашей Звездной системы.

Связь обоих только что указанных и, повидимому, внесолнечных космических явлений с физическими процессами стратосферы — очевидна, хотя и мало исследована. Проблема космических лучей и стратосферы явилась темой специальной дискуссии на этой Конференции. Роль их в ней ясна хотя бы из того факта, что по вычислениям геофизиков (отчасти подтвержденными, например, также и результатами наблюдений над силой радио-приема во время полного солнечного затмения 31 VIII 1932 г.) ионизация ионосферы имеет космический и притом, по крайней мере в высших ее слоях ( $\approx h = 220$  км), внесолнечный генезис.<sup>3</sup>

Атмосферики, как и все радио-явления, опять-таки тесно связаны с ионосферой, и одним из основных методов изучения их являются проходящие в последней радиоволны.

§ 4. Стихийное вторжение в современную геофизику сперва внесолнечных, а теперь, как мы видели, также и внесолнечных факторов и заставляет сознательно сформулировать проблему внесолнечных факторов в жизни Земли, имеющую большое научное значение, а также возможно и некоторые не слишком отдаленные конкретные перспективы.

В частности, в настоящее время было бы уместно вновь рассмотреть несколько, хотя и основных, однако до сего времени почти совершенно невыясненных, проблем современной геофизики. К числу таких нерешенных основных геофизических проблем, как известно, принадлежат:

<sup>1</sup> См. *Природа*, 1933, № 10, стр. 49.

<sup>2</sup> Его экваториальные координаты:  $\alpha = -18^h$ ,  $\delta = -30^\circ$ .

<sup>3</sup> См. напр. Norton, „*Science*“, № 2036, p. 5, 1934.

- а) проблема природы и происхождения атмосферного противотока,
- в) проблема токов Бауэра,
- с) проблема вертикальных земных токов,
- д) некоторые проблемы геомагнетизма и т. п.

Дадим вкратце характеристику каждой из только что перечисленных проблем.

а) Известно, что наша Земля заряжена отрицательным электричеством, а также — что вблизи земной поверхности градиент геоэлектрического потенциала положителен и составляет величину порядка 130 вольт на метр. Так как земная атмосфера обладает значительной нормальной ионизацией (в 1 см<sup>3</sup> у земной поверхности нормально содержится около 600—700 легких ионов обоого знака), то ориентирующее действие геоэлектрического поля вызывает вертикальный ток проводимости, т. е. вертикальный свободный ток (+) ионов атмосферы к отрицательно заряженной земной поверхности и ток (—) ионов вертикально вверх от последней. Величина этого вертикального тока проводимости есть функция вышеуказанного градиента геоэлектрического потенциала и так наз. подвижности ионов — суммы произведений числа ионов на их скорость и на заряд иона, — взятых для каждого типа ионов. В среднем, вертикальный ток проводимости является довольно постоянной величиной, и также мало изменяется и с увеличением высоты над земной поверхностью. Его величина составляет цифру порядка  $3010^{-18} \frac{\text{ампер}}{\text{см}}$  или около  $2000 \frac{\text{элемент. зар.}}{\text{см сек}}$ . В силу этого тока земная поверхность должна была бы очень скоро потерять свой отрицательный заряд (нетрудно вывести, что при нормальной величине ионной проводимости поверхностная плотность заряда Земли уменьшилась бы до 3% своей настоящей, считающейся за постоянную величину, за время всего лишь около 16 мин).

Отсюда приходится предположить о существовании некоего анти-тока компенсирующего вышеописанный ток проводимости. Направление этого электрического анти-тока, точнее тока его результирующей, должно идти от земной поверхности вверх, т. е. результирующий электронный антиток должен быть направлен вниз. Величина его должна быть порядка очевидно  $10^3 \frac{\text{электронов}}{\text{см}}$ . Никакого объяснения это явление пока не имеет. Неизвестна ни природа этого анти-тока, ни механизм взаимодействия его и нашей планеты; своеобразие его очевидно из того факта, что, несмотря на необходимость наличия анти-тока, его присутствие в атмосфере до сих пор не было обнаружено.

в) Рядом геомагнитологов было найдено, что циркуляция земного магнитного поля (т. е. интеграл по замкнутому контуру от напряжения геомагнитного поля) не равна 0. Ограничиваясь исследованием только горизонтальной составляющей земного магнитного поля, можно вывести необходимость существования некоего вертикального электрического тока. Этот ток — так наз. ток Вауэра — до сего времени также не

был обнаружен наблюдениями. Из геомагнитных данных характер его должен быть следующий: электронный ток Вагера направлен вниз в полярных зонах и вверх в экваториальной области. Плотность его порядка  $2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{ампер}}{\text{см}}$  в полярных зонах и  $1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{ампер}}{\text{см}}$  в экваториальной зоне. Иными словами это — плотность порядка  $10^7 \frac{\text{электронов}}{\text{см}}$ , т. е. цифра в  $10^4$  раз большая чем плотность вышеописанного и гипотетического, также как и ток Вагера, противотока.

с) Наконец, в связи с этим необходимо отметить открытые около 10 лет тому назад вертикальные земные токи. При этом земной вертикальный электронный ток направлен вниз. Происхождение и природа этих земных вертикальных токов также выяснены.

§ 5. Хотя каждый из трех перечисленных видов вертикальных электрических токов имеет совершенно различный характер проявления, а также и сильное различие в плотности и в величине и достоверности самого явления, тем не менее, если самые факты, для объяснения которых их были вынуждены ввести, остаются, то остаются в силе и необходимость существования этих токов, а также та общая для всех них черта, что все эти токи направлены вертикально и притом, повидимому, во всех случаях так, что направление электронного тока идет вниз. Но если самые явления остаются, то мы будем вынуждены искать им объяснение. Те соображения, которые сейчас будут высказаны, будут носить, в виду неясности самих явлений, конечно, совершенно общий и провизорный характер. Космический характер этих токов вероятен, так как известные или мыслимые земные процессы вряд ли могут создать такой систематический перенос результирующих токов отрицательных зарядов к земной поверхности. Вместе с тем солнечное происхождение этих токов весьма сомнительно, так как эффекты ночи и солнечносуточной периодичности вообще здесь, повидимому, отсутствуют.

Но, если это так, тогда приходится сделать вывод о внесолнечном генезисе этих таинственных (т. е. отчасти не обнаруженных, но долженствующих иметь место) вертикальных электрических токов в земной атмосфере.

Представляется чрезвычайно интересным попытаться построить теорию этого явления, исходя либо из старой гипотезы Swann'a о неионизирующем действии сверх-быстрых заряженных корпускул, либо строя новые концепции, в которых получили бы надлежащее место новые факты из области ядерной физики (возможность асимметрии в продуцировании элементарных электрических зарядов разного знака, на которую, повидимому, указывают последние работы Anderson'a и Д. В. Скобельцына), возможность большой роли неионизирующих агентов в первичных космических лучах — опыты с „дождями“ (Blackett & Ochiellini, Anderson, Millican'a и др.) и возможность тяжелых частиц в космических лучах (Locher, Л. В. Мысовский и М. С. Эйгенсон).

Так как электрическую корпускулярную природу космических лучей, по крайней мере в их проявлениях на нашей планете, в настоящее время можно считать доказанной, то возникает общий вопрос о том, нельзя ли считать эти различные вертикальные электрические токи особыми видами космических лучей, каким-то образом связанных с предыдущими более изученными видами последних.

Конечно, сейчас мы еще очень далеки от какого бы то ни было научного ответа на поставленные только что вопросы. Однако постановка или, точнее, возобновление их в свете новых фактов ядерной физики представляется актуальным.

§ 6. Вековой ход геомагнетизма, также как и вековые изменения других геофизических элементов, могут иметь либо чисто земной, либо внесолнечный генезис. Действительно, солнечный генезис здесь вряд ли может иметь место, так как 1) по всей совокупности наших данных о Солнце его эволюция крайне медленна и 2), как мы уже говорили, явления, связанные с жизнью Солнца, имеют характерные периодичности. Вообще говоря, геофизическое явление данного типа можно мыслить так, что, помимо имеющих относительно большее значение и, в общем, короткопериодических эффектов земного и солнечного происхождения, имеется космический внесолнечный фон явления с вековым ходом или с ходом весьма долгого периода. Поступательное движение Солнечной Системы в мировом пространстве, возможно, слишком медленно,<sup>1</sup> чтобы это изменение относительного расположений Земли и звезд могло непосредственно сказаться в виде вековых членов в элементах земного магнетизма и т. п.

Однако вековые или долгопериодические изменения мыслимы в Галактической Звездной Системе в целом или в наиболее важных и эффективных ее частях, таких, например, как упоминавшийся уже здесь галактический центр.

§ 7. Геофизические явления, связанные с пространственно определенными локусами вне-солнечной Вселенной, вообще говоря, могут быть обнаружены, при их достаточной интенсивности, благодаря наличию звездно-суточной периодичности в данном геофизическом явлении. Пример такого рода мы имели в явлении Янского. Однако, как мы указывали в другом докладе на Конференции, например, безусловно вне-солнечное явление космических лучей до сих пор не позволяло экспериментаторам обнаружить эту свою вне-солнечную природу путем установления такой простой звездносуточной периодичности. Причины этого факта были проанализированы в только что цитированном докладе. Здесь мне хотелось бы еще раз привлечь внимание к направленным методам, позволяющим изучить тот или иной эффект, связанный с влиянием тех или иных локально ограниченных небесных тел. Мне кажется, что, не входя в детали, можно

<sup>1</sup> За год солнечная система проходит около  $6.10^{13}$  см.

с уверенностью заявить, что такого рода направленные методы осуществимы и, в частности, они действительно могут уже быть реализованы в наблюдениях космических лучей. Однако, как я указывал, целью настоящего доклада являлось скорее привлечь внимание геофизиков, специалистов в разных ее областях, к проблеме вне-солнечных стимуляций, некоторых из объектов их научного изучения, и я думаю, что геофизики смогут, если сочтут нужным, предложить такого рода направленные специальные методы.

§ 8. Из сказанного до сих пор, возможно, сделались ясны большая актуальность и возможность перспектив проблемы вне-солнечных факторов в жизни Земли. Особенно интересно это явление для астрофизики. Если верно, что всякое небесное тело есть своего рода гигантская, космическая физическая лаборатория, то, в отличие от других светил, наше небесное тело Земля — обитаемо нами, уже научившимися и все более научающимися производить в своих научных целях эксперименты в той великой небесной лаборатории, которой является сама наша планета. Астрофизика должна полностью использовать это счастливое преимущество, которое предоставляет ей наше обитание на одном из небесных тел и полностью использовать геофизику, как исключительно многообещающий метод астрофизического исследования. Если притом физическими условиями таких оболочек, как лито-, гидро-, и отчасти тропосфера наша планета мало напоминает физические условия большинства небесных тел, то разреженная и далекая от земной поверхности стратосфера физически скорее является довольно типичным небесным, астрофизическим объектом.

Перефразируя сказанное несколько иначе, можно резюмировать так: Земля, и в особенности земная стратосфера, является своеобразной Probe-Masse в силовых полях Вселенной. Задачей геофизиков и астрофизиков является всестороннее исследование имеющихся здесь место связей.

§ 9. В заключение я позволил бы себе наметить следующие, представляющиеся в этом смысле актуальными, конкретные исследовательские темы, вытекающие из доклада, к разрешению которых представляется необходимым подойти скорее в порядке именно научной кооперации:

1) теория сверх-быстрых заряженных корпускул и их взаимодействий с материей — задача равно важная и интересная как для квантовой механики, так и для астро- и геофизики;

2) теоретическая интерпретация трех вышерассмотренных видов вертикальных токов;

3) экспериментальная проверка и астрофизическая интерпретация радио-феномена Янского;

4) проблема новых направленных методов изучения космических явлений.

## **ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ**



Акад. Г. А. НАДСОН

## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Заседание Конференции по изучению стратосферы, посвященное проблемам биологии и медицины, объявляю открытым. Разрешите мне сказать несколько слов.

Положение биолога в отношении проблемы стратосферы не такое, как у физика, химика, аэролога, астронома. Для биологов собирание фактического материала должно еще начаться, а поэтому сегодня в их докладах будут высказаны большею частью только общие соображения, показывающие, насколько глубокий интерес представляет изучение стратосферы для биологии; но будут также и конкретные предложения, касающиеся нашей будущей работы. В несколько ином положении находятся медики, так как они в прошлом имеют уже довольно значительный проработанный материал, который также будет сегодня представлен вашему вниманию. В докладах микробиологов будет затронута, между прочим, весьма известная и интересная гипотеза знаменитого шведского физика Сванте Аррениуса относительно возникновения жизни на нашей планете.

Сванте Аррениус отвергает или, правильнее, скептически относится к возможности самозарождения жизни на нашей планете. Он считает более вероятным, что жизнь занесена на землю с далеких мировых пространств, с других планет. На пути этой жизни, которая издавна идет к нам, находится стратосфера.

Теперь само собой понятно, что влияние условий стратосферы на живые существа и, в частности, на бактерии чрезвычайно интересует микробиологов. Особенно интересно изучение влияния радиации на жизненные процессы. Правда, этот вопрос уже значительно разработан, поскольку можно было сделать на земле эксперименты, но о биологическом действии радиации в условиях стратосферы и на пути от нее к земле мы еще в области предположений. Мы теперь довольно много знаем о невидимых лучах, но еще больше остается неведомого для нас, и еще Леонардо да Винчи говорил, что природа полна лучей, которые не были ни в одном эксперименте. Нужно думать, что и для биологов изучение стратосферы откроет новые горизонты, новое поле для работ.

Особо выделяется вопрос о влиянии лучистой энергии в условиях стратосферы, как фактора изменения наследственных свойств организмов,

как фактора, вызывающего появление новых форм. Этот вопрос для генетики и для общей биологии представляет первоклассный интерес и должен быть увязан с изучением стратосферы.

Наконец, будут еще биолого-медицинские доклады. Их можно объединить под заглавием: влияние условий стратосферы на человека. Вы услышите интересные теоретические данные — результаты лабораторных исследований, но кроме того и некоторые практические выводы, имеющие конечной целью охрану здоровья летчиков.

Позвольте после этого краткого введения сказать несколько слов о порядке нашей работы. У нас имеется довольно много докладов — около 11. Мы их можем все заслушать и обсудить, если будем строго соблюдать регламент.

Позволю себе предложить собранию утвердить такой порядок докладов: первый доклад — Г. М. Франка о биологическом значении ультрафиолетовой радиации и о влиянии этой радиации на организм; затем идут доклады микробиологов — проф. Б. Л. Исаченко и проф. Л. Г. Перетца, они стоят, между прочим, в связи с гипотезой Аррениуса, о которой я говорил раньше; затем позвольте и мне сказать несколько слов. Следующие доклады касаются проблем генетики, — это доклады Н. К. Кольцова и проф. Меллера (Muller); затем небольшое выступление проф. Данчо Костова. После всего этого целесообразно будет предоставить слово акад. В. И. Вернадскому для доклада на тему „Биосфера и стратосфера“. Проф. Л. А. Орбели скажет несколько вступительных слов к той группе докладов, которые объединяет тема: влияние условий стратосферы и полетов на стратостатах на человека. Первым идет доклад проф. А. А. Лихачева о влиянии на организм больших ускорений движения, а затем два отчетных доклада — московской и ленинградской бригад по санитарно-гигиеническому обеспечению полетов в стратосферу. Заключительное *résumé* по этим докладам сделает проф. Л. А. Орбели.

---

Г. М. ФРАНК

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО СВЕТА

Биологическое действие света, как известно, определяется, во-первых, интенсивностью света, во-вторых, его спектральным, т. е. качественным составом. Солнечный свет, фильтруясь земной атмосферой, претерпевает изменения в обоих отношениях. Если общая энергия солнечной радиации уменьшается в результате этой фильтрации меньше чем 2 раза, то ультрафиолетовая часть спектра страдает более существенно. Слой озона в верхних слоях атмосферы весьма круто срезается солнечный спектр около 290  $m\mu$ .

Потери благодаря рассеянию также, главным образом, происходят за счет ультрафиолетовых лучей, близких к коротковолновому концу солнечного спектра.

В результате всего этого только около одного процента излучения в области спектра 300  $m\mu$  доходит до нас. В области 310  $m\mu$  — 10%, тогда как в видимом свете прозрачность атмосферы достигает 70%. В то же время именно та часть спектра солнца, интенсивность света в которой доходит до поверхности земли в таком ослабленном виде, является особенно важной в биологическом отношении.

Укажу, например, что бактерицидное действие солнечных лучей (бактерицидным действием называется стерилизующее, уничтожающее бактерий) в значительной мере обуславливается лучами солнца с наиболее короткой длиной волны. Антирахитическое действие солнечных лучей, т. е. фотохимический процесс образования витамина „D“ из его провитамина, идет также в лучах с длиной волны, которую обычно принимают короче 310  $m\mu$ . И, наконец, кожная реакция у человека, лежащая в основе тех многообразных физиологических изменений, которые оказывает солнечный свет на человека, также в значительной мере обуславливается этой частью спектра, участком Дорно — как его называют — с длиной волны короче 315  $m\mu$ .

Как само собой вытекает из факта меньшей прозрачности атмосферы для коротковолновой части излучения солнца, она должна быть и наименее постоянной — наиболее чувствительной к изменению состояния атмосферы и к толщине атмосферного слоя. Так, высота солнца, влияющая в известной мере на интенсивность общей радиации на поверх-

ности земли, особенно сильно сказывается на интенсивности коротковолновой — биологически активной радиации. А отсюда значительные флуктуации, прежде всего, в зависимости от широты местности, времени дня и года.

Так, по американским данным для широты Кливлэнда в полдень получают следующие цифры:

	21 июня В калориях на см <sup>2</sup> мин.	15 февраля В % к интенсив- ности радиации 21 июня	21 декабря В % к радиации 21 июня
Общая радиация . . . . .	1.5	92	77
Видимый свет . . . . .	0.66	87	67
Короче 325 <i>mμ</i> . . . . .	$0.32 \cdot 10^{-2}$	50	10
Короче 310 <i>mμ</i> . . . . .	$0.29 \cdot 10^{-2}$	30	2

Таким образом, мы видим, что в то время, когда общая радиация испытывает сравнительно небольшие колебания, наиболее биологически важная часть в зимнее время, при низком положении солнца, исчезает почти нацело, а параллельно уменьшается и биологическое действие солнечных лучей.

Кроме того интенсивность коротковолновых лучей зависит и от различных других причин — влажности нижних слоев атмосферы, колебаний количества озона в стратосфере, колебаний как географических, так и временных. Поэтому совершенно прав Н. Н. Калитин, подчеркивая на заседании оптической секции, что оптические свойства верхних слоев атмосферы есть проблема не только геофизическая, но одновременно с этим и проблема биологическая. В самом деле, именно слой озона в стратосфере, обрезая солнечный спектр, и явления рассеяния света во всей толще атмосферы определяют ультрафиолетовый режим на поверхности земли, т. е. один из существенных климатических факторов, от которого зависят условия жизни на земле.

Здесь, для того, чтобы меня потом не упрекали в слишком узком подходе к проблеме биологического действия света, следует сделать оговорку, что в нашу задачу отнюдь не входит какой бы то ни было общий обзор. Я намеренно касаюсь нескольких, правда, весьма важных фактов, относящихся к действию ультрафиолетового света и, в частности, области спектра „Дорно“ и то не так подробно, как она этого заслуживает. Этим самым нисколько не снимается громадное биологическое значение тепловых лучей и видимого света. В частности, значение видимого света, при общем действии на организм — несомненно, не говоря уже о тех специализированных случаях, где, благодаря своего рода сенсibiliзирующим

агентам (в глазу пурпур, а в зеленых листьях растений — хлорофилла), видимый свет в акте зрения и при фотосинтетическом расщеплении углекислоты используется с большим коэффициентом полезного действия.

Первым этапом в цепи сложных процессов, разыгрывающихся при действии ультрафиолетового света на организм, являются химические и физико-химические изменения живого вещества, непосредственно поглощающего свет. Я не могу на этом вопросе останавливаться подробно — укажу только, что нам известна громадная химическая активность ультрафиолетовых лучей. Не говоря уже о каталитическом действии, которое они оказывают на ряд процессов — могут быть получены непосредственно и разнообразнейшие превращения — стереохимические перестановки, полимеризации, фотооксидации и, наоборот, фоторедукционные процессы, а часто связанные с последними и фотосинтетические процессы.

Но безусловно важнейшее место занимает фотолиз, т. е. расщепление под действием света. Особенно сильное расщепляющее действие оказывают коротковолновые лучи 250  $m\mu$  и короче, т. е. лежащие за пределами солнечного спектра на поверхности земли. В этих длинах волн практически может быть получено полное расщепление всех сложных органических молекул до большего или меньшего предела, в зависимости от интенсивности воздействия.

Из физико-химических изменений следует отметить изменение дисперсности коллоидных систем в сторону, главным образом, агрегации, т. е. появления тенденции к свертыванию, что может происходить как первичный процесс, так и вторичным образом в результате химических изменений — сдвига рН и т. д.

Эти первичные химические и физико-химические процессы не только не исчерпывают всех многообразных изменений, происходящих в организме, но и не дают часто основания для их истолкования. В то же время рассмотрение их является важным в том отношении, что спектральная чувствительность той или иной светобиологической реакции определяется прежде всего спектром поглощения светочувствительных веществ, участвующих в первичных процессах, вызванных светом.

Бактерицидное действие света (убивающее бактерий), о котором упоминались выше, теснейшим образом связано с процессом разрушения живого вещества, прежде всего белковых молекул, т. е. фотолизом.

Правда, смерть наступает далеко не при полном разрушении всех составных частей тела микроорганизмов. Действительный процесс убивания гораздо более сложен. Частичное, иногда очень незначительное нарушение вызывает вторичные явления, связанные, главным образом, с изменением равновесия коллоидной системы, что и служит, повидимому, непосредственной причиной гибели. Тем не менее, бактерицидное и фотолитическое свойства света изменяются параллельно в зависимости от длины волны действующего света.

Действие это относительно невелико в видимой части спектра и начинает резко возрастать в ультрафиолетовой части с уменьшением длины волны. Особенно сильным бактерицидным свойством обладают лучи с длиной волны короче 260—250  $m\mu$ , т. е. полностью отсегаемые атмосферой и отсутствующие в солнечном спектре на поверхности земли. Считается, что ультрафиолетовый свет с длиной волны около 300  $m\mu$  в несколько десятков раз, а ультрафиолетовый свет 250—200  $m\mu$  в несколько сот или даже тысяч раз, действует сильнее, чем видимый свет. Этим обстоятельством объясняется, что ртутно-кварцевая лампа, богатая коротковолновыми лучами, которую часто еще и сейчас называют „горным солнцем“, обладает таким исключительным бактерицидным действием. Из всего сказанного ясно, что если ртутную лампу и сравнивать с солнцем (что вообще принципиально неправильно), то уже никак не с „горным“, а только со „стратосферным солнцем“. Коблену, который установил в последнее время ряд количественных закономерностей при бактерицидном действии света, нашел, что суммарная энергия излучения ртутно-кварцевой лампы с длиной волны менее 270  $m\mu$ , необходимая для того, чтобы убить культуру бактерий коли (*bact. coli*) соответствует  $10^4$  эргов на 1  $cm^2$  (или  $10^{-4}$  эрга на одну бактерию), т. е. всего только около  $2.5 \cdot 10^{-4}$  малых калорий.

Хотя длинноволновые ультрафиолетовые лучи, которые доходят до нас, значительно уступают по своей активности коротковолновой части спектра, все же убивающее действие солнечных лучей обязано в значительной мере ультрафиолетовой компоненте солнечной радиации. Прикрывая культуру микроорганизмов, выставленную на солнце, стеклом, можно показать, что время, необходимое для того, чтобы убить культуру, возрастает в несколько раз. Это показывает также и факт значительного увеличения бактерицидного действия солнечных лучей при подъеме на высоту 3000—4000 м над уровнем моря, например в горах. Благодаря уменьшению слоя атмосферы и отсутствию пыли, возрастает интенсивность коротковолновой части солнечной радиации, ослабляемой путем многократного рассеяния, во много раз больше, чем видимый свет. Интенсивность же общей радиации и, в частности, видимого и непосредственно прилегающего к нему ультрафиолетового участка спектра возрастает незначительно. По мере дальнейшего подъема над уровнем земли бактерицидное действие солнечной радиации должно возрастать, а в особенности после перехода за пределы слоя озона, благодаря дополнительному появлению коротковолнового излучения солнца. Этим отнюдь не доказывается, что за пределами атмосферы характер солнечной радиации исключает возможность существования живых микроорганизмов. У нас нет достаточных количественных данных об устойчивости спор микроорганизмов по отношению к ультрафиолетовому свету и потому невозможно сделать даже ориентировочные подсчеты.

Однако, если бактерицидное действие света однозначно возрастает при удалении от поверхности земли — что следует из экспериментально

найденного на достигнутых высотах из теоретических соображений в отношении больших высот, далеко не у всех других светобиологических явлений можно ожидать таких же закономерностей. Это связано, прежде всего, с тем обстоятельством, что существуют совершенно иные и более сложные зависимости хода процесса от длины волны действующего света, чем при простом разрушающем действии, лежащем в основе бактерицидности. Так, появление антирахитического витамина „D“—витамина роста— из его провитамина происходит при действии ультрафиолетового света с длиной волны, укладывающейся в интервале между 315  $m\mu$  и 275  $m\mu$ . Более короткие лучи не только не ускоряют появления витамина, но, наоборот, тормозят процесс накопления, разрушая образовавшийся витамин. Здесь и в подобного рода процессах появление коротковолновых лучей, например в случае внезапного исчезновения атмосферы, не только не усилило бы ход фотохимической реакции, но качественно изменило бы ее благодаря возникновению дополнительной реакции и появлению в результате совершенно иных конечных продуктов превращения.

На практике, правда, очень редко имеет место воздействие света на провитамины в чистом виде. В случае, особенно, витаминизации непосредственно при воздействии на целый живой организм, поверхностные покровы—роговой слой кожи, сильно поглощая коротковолновые лучи, тем самым ослабляют их и защищают от возникновения дополнительных процессов. При воздействии ультрафиолетовым светом на целый организм и, в частности, на организм человека, нам приходится иметь дело со специфической реакцией кожи—так называемой эритемной реакцией. Все многообразное действие ультрафиолетового света на организм человека возникает вторичным путем, как конечный этап целой цепи процессов, вызванных непосредственным воздействием света на кожу. Эритема напоминает местное воспалительное явление, внешне выражаясь в покраснении кожи и повышении ее чувствительности. На месте эритемы в дальнейшем часто возникает пигментация, т. е. то, что в общежитии называется загаром. Хотя общее действие света наблюдается и при дозах, еще не дающих эритемной реакции, все же последняя может служить показателем как активности действующего света, так и чувствительности данного организма.

Как показал ряд исследований последнего времени, кривая эритемной реакции в зависимости от длины волны имеет весьма своеобразный вид. Действие света начинается при длинах волн около 320  $m\mu$ —увеличиваясь в сторону к 300  $m\mu$ . Около 295  $m\mu$  имеется весьма резкий максимум, затем ослабление действия и второй меньший максимум около 260  $m\mu$ . Если сопоставить кривую распределения интенсивности в конце солнечного спектра и кривую эритемной чувствительности, оказывается, что в тех длинах волн, где интенсивность солнечного света резко падает, кожная чувствительность, наоборот, резко возрастает. Максимум чувствительности кожи 295  $m\mu$  лежит практически уже совершенно за пределами солнечного спектра на поверхности земли. Больше того, если

подсчитать, какое фактически участие при действии на кожу человека имеют различные длины волн солнечного спектра, оказывается, что главное участие падает на долю лучей более длинноволновых, чем можно было бы ожидать, около 315—310  $m\mu$ . Лучи с длиной волны более короткой, хотя и являются более активными, но, присутствуя в неизмеримо меньшей интенсивности, играют второстепенную роль.

Отсюда понятно, что, при подъеме над поверхностью земли вместе с изменением распределения интенсивности в коротковолновой области спектра солнца, будет резко возрастать эритемная активность света непропорционально увеличению интенсивности света, даже если брать только так наз. участок Дорно, т. е. длины волн короче 320  $m\mu$ . В самом деле, увеличение интенсивности света при 300  $m\mu$ , т. е. почти у максимума чувствительности кожи, совершенно неоднозначно с увеличением интенсивности при 310  $m\mu$ . Изменение границы солнечного спектра на несколько миллимикрон, при совершенно ничтожных изменениях общей интенсивности или даже вовсе без этого, может повести к изменению в скорости наступления кожной реакции весьма заметным образом. Но если здесь речь шла только о специфически действующих коротковолновых ультрафиолетовых лучах, то следует все-таки заметить, что видимый свет и инфракрасные лучи, сами по себе значительно менее активные, тем не менее влияют на результат светового воздействия. В значительной мере это влияние проявляется косвенным путем в изменении действия ультрафиолетовых лучей. Поэтому изменение интенсивности ультрафиолетовых лучей важно не только как изменение абсолютной величины действующего фактора, но и как сдвиг в соотношении между различными частями спектра, что уже, само по себе, может иметь некоторое значение.

При подъеме на сравнительно незначительные высоты порядка 3500—4000 метров над уровнем моря, а в особенности при наличии снежного покрова, сколько-нибудь длительное пребывание на солнце без особо принятых мер не проходит даром. Получаются довольно серьезные ожоги. Солнечный свет из благотворно действующего фактора, фактора, полезного для кожи человека — превращается в фактор, разрушающий кожу. Это показывает нам, что количественный и качественный состав света на поверхности земли очень близок к тому верхнему пределу, за которым он начинает действовать неблагоприятно.

В то же время как соответствующее состояние атмосферы, так и положение солнца (широта, время года) легко могут понизить количество ультрафиолетовых лучей, снижая до минимума биологическую активность света, падающего на поверхность земли. Поэтому изучение вопросов атмосферной оптики, вопросов изменения количественного и качественного состава радиации солнца, при фильтрации через атмосферу, есть проблема, теснейшим образом затрагивающая условия существования живых организмов на поверхности земли.

Б. Л. ИСАЧЕНКО

## К ИЗУЧЕНИЮ МИКРООРГАНИЗМОВ СТРАТОСФЕРЫ

У нас нет пока никаких фактических данных о существовании в стратосфере микроорганизмов, занесенных туда с поверхности земли или из мирового пространства, и как ни увлекательна гипотеза Аррениуса о переносимых с планеты на планету зародышах организмов, она не имеет еще за собой реальных данных.

Но даже и то, что нам известно о микроорганизмах воздуха, в его ближайших к поверхности земли слоях, весьма незначительно и очень нуждается в более детальном изучении.

Пастеру мы обязаны первыми правильно поставленными исследованиями бактерий воздуха. Метод, примененный им, состоял в протягивании определенного объема воздуха аспиратором через слой пироксилиновой ваты, растворенной затем в смеси спирта и эфира так, что все задержанное ватой оседало на дно сосуда и могло быть потом исследовано под микроскопом. В осадке оказались минеральные частицы, обрывки растительного и животного происхождения, споры грибов и бактерий. Определение бактерий было особенно трудно, и, конечно, нельзя было после воздействия спирта и эфира судить о их жизнеспособности. Другой прием, который использовал Пастер, заключался в том, что стеклянные баллоны наполнялись питательной для микроорганизмов средой, прогревались, чтобы убить могущих находиться в них зародышей, и затем запаивались. При надламывании оттянутого горлышка баллонов внутрь врывался воздух с взвешенными в нем зародышами бактерий и грибов, которые и начинали потом развиваться в наполняющей баллоны среде. С такими баллонами Пастер исследовал воздух в горах на высоте 850 м над уровнем моря (Le mont Roupet) и на высоте 2000 м на Монтанвер вблизи глетчера. В этом последнем опыте из 20 открытых баллонов только в одном появились зародыши, что свидетельствовало о сравнительной чистоте воздуха на этой высоте, несмотря на дувший из ущелья ветер. Рядом подобных исследований Пастер установил, что по составу микроорганизмов воздух не везде одинаков и чем он выше над уровнем моря, тем он чище.

После Пастера ряд исследователей анализировал воздух в горах на различных высотах. Все эти исследования чрезвычайно ценны, но

останавливаться на них я не буду, так как все они производились, хотя и на различной высоте, но над самой поверхностью земли. Микроорганизмы, попадавшие в баллоны и затем развивавшиеся в питательных средах, были определенно наземного происхождения из районов, близких к исследователю.

Нельзя не упомянуть все же многолетние работы Микеля (Miquel), который на обсерватории Монсури в Париже систематически проводил исследование воздуха, определяя колебание содержания в нем бактерий. Это был период, когда вопросом о переносе бактерий воздушными течениями и заносом болезнетворных организмов особенно интересовались.

В этот период были предложены различные методы бактериологического анализа воздуха; назовем здесь некоторые.

Микель (Miquel) применял пропускание струи воздуха через бульон, в котором должны были развиваться попавшие в него зародыши.

Кох (Koch) рекомендовал чашки с твердой питательной средой (агаровой или желатиновой). Чашки открывались на определенное время, и осевшие в них зародыши развивались, образуя колонии, которые легко можно сосчитать.

Гессе (Hesse) применил сосуды, внутренние стенки которых были покрыты застывшей желатиной; пропуская через них определенный объем воздуха, он подсчитывал число развившихся на стенках сосуда колоний.

Петри (Petri) фильтровал воздух через стерилизованный песок.

Штраусс (Straus) пропускал воздух через желатину.

Оригинален метод Микеля, состоявший в пропускании струи воздуха через приборчик (аэроскоп), причем струя направлялась на лист бумаги, покрытый желатинообразной массой, приготовленной из лишайников. Бумага была разграфлена и передвигалась периодически по часам, что давало возможность определять количество зародышей в различные часы дня. Исследования Микеля дали любопытные цифры, рисующие постоянные колебания в числе микроорганизмов в воздухе, зависящие и от воздушных течений, и от атмосферных осадков, от времени года и часов дня.

Попытки обнаружить болезнетворные организмы в воздухе не увенчались успехом.

Новый подъем интереса к исследованиям микроорганизмов воздуха появился тогда, когда исследования можно было перенести на воздухоплавательные аппараты.

Кристиани (Cristiani) исследовал воздух во время поднятия воздушного шара в Женеве с помощью аэроскопа с желатиной, аналогичного такому же Штрауса и Вюрца, и получил данные, показывающие количество микроорганизмов на различных высотах. Если отбросить цифры, которые получились в результате ошибок при взятии проб воздуха или вследствие невозможности избежать загрязнения воздуха микроорганизмами, падающими, с поверхности шара и сетки, то можно принять, что с высоты 1100 м воздух делается даже над городом настолько чистым, что в нем

не содержится микроорганизмов, развивающихся на мясной желатине. Об остальных организмах автор и не говорит, и в этом, как и в других подобных же исследованиях, заключается пробел, зависящий от метода исследования, связанного с применением питательной среды только одного рода.

Исследование с аэроплана было произведено в Москве Мишустиным, который для полета воспользовался Фарманом старого типа, имеющим преимущество в том, что кабинка в нем находится перед мотором, чем устраняется попадание пыли с пропеллера. Это положительная сторона данного полета. Для улавливания микроорганизмов из воздуха исследователь применил сконструированный им приборчик с чашками Петри с мясным агаром. Приборчик выставлялся из кабинки насколько позволяла вытянутая рука и открывался на 10 мин. Цифры, показывающие количество развившихся на агаре микроорганизмов, указывают на уменьшение их с высотой, причем, однако, они встречаются в единичном числе и на высоте 2000 м. Среди микроорганизмов были констатированы бактерии (микрোকки, сардины, палочкообразные формы, *Bac. mycoides*) актиномицеты и плесневые грибки. Хотя Кристиани и указывал на состав микрофлоры воздуха, но данные Мишустина отличаются большей детализацией и потому интереснее. Но применение только одной среды и здесь не дает, конечно, представления о тех жизнеспособных зародышах, возможно, различных микроорганизмов, которые могут встретиться в атмосфере на различной высоте.

Для исследования стратосферы, особенно если не только иметь в виду те микроорганизмы, которые могут быть занесены с поверхности земли даже в очень высокие слои, но ставить задачей улавливание зародышей, носящихся в мировом пространстве и происходящих, может быть, с другой планеты, — необходим, как мне кажется, несколько иной подход. И так как неоспоримо то, что мясная питательная среда, обычно применявшаяся при исследованиях зародышей воздуха, не может дать сколько-нибудь ясное представление о характере зародышей атмосферы, а более совершенным методом исследования мы пока еще не располагаем, приходится попытаться применить какой-либо другой метод. Мне лично думается, что фильтрование воздуха через вату (особенно типа пироксилиновых) имеет некоторые преимущества, позволяя, с одной стороны, подвергнуть тщательному микроскопическому анализу все взвешенные в стратосфере частицы: безотносительно органические и неорганические, живые и мертвые, принадлежащие к растительному или животному миру, а с другой стороны, не лишает исследователя возможности подвергнуть затем осевшие на вате частицы самому тщательному бактериологическому анализу, используя разнообразные питательные среды для изучения физиологических групп организмов, занесенных в удаленные от земной поверхности воздушные слои стратосферы. При таком комбинированном микроскопическом и бактериологическом исследовании в воздушной пыли смогут быть обнаружены и скорлупки диатомовых, если они туда зане-

сятся, и споры грибов, вызывающих заболевание растений, и цисты простейших, одним словом многое из того, что при одном бактериологическом исследовании не попадет на глаза исследователю, не развиваясь на питательной среде.

Наряду с исследованиями, которые были произведены, как я говорил, над воздухом с точки зрения содержания в нем известного количества микроорганизмов, нельзя не упомянуть, что исследовались и атмосферные осадки на содержание в них микроорганизмов. Среди исследований, заслуживающих известного внимания, нужно упомянуть работы французского исследователя Рафаэля Дюбуа, который исследовал град и нашел внутри градин живые микроорганизмы. Этот ученый высказал, может быть, смелую гипотезу о том, что градины образуются иногда вокруг бактериальных тел. Та проверка, которая была поставлена в Ленинграде А. Егоровой, показала, что действительно, при самом тщательном исследовании выпадающего града, внутри градин всегда можно обнаружить довольно значительное количество микроорганизмов. Таким образом, и эти исследования, стоящие как бы особняком, показывают, что в атмосфере, на различной высоте, имеются микроорганизмы. Количество их может быть весьма различно. Зависит оно от воздушных течений. Правда, те микроорганизмы, которые до сих пор были найдены, являются еще мало изученными и мало исследованными, так как исследовались те микроорганизмы, которые развиваются на одних совершенно однородных ограничивающих рост различных микроорганизмов, средах.

Чего же можно ожидать, если мы приступим когда-нибудь к исследованию микрофлоры стратосферы? Возможно, что мы здесь, согласно с гипотезой Аррениуса, найдем микроорганизмы или вообще организмы, которые носятся в мировом пространстве и происходят с других планет. Может быть да, а может быть и нет. Но во всяком случае нужно учитывать, что те микроорганизмы, которые здесь встретятся, должны обладать некоторыми определенными свойствами и прежде всего отличаться известной устойчивостью по отношению к температурам (высоким и низким) и затем резко выраженной устойчивостью по отношению к лучистой энергии; они могут оказаться микроорганизмами, которые требуют для изучения и для получения их культуры особых подходов — таких подходов, которые нам не приходилось применять при изучении микроорганизмов, с которыми до сих пор имели дело.

Вот то небольшое, что можно сказать о микроорганизмах атмосферы, и нельзя пока привести данных относительно изучения микроорганизмов стратосферы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pasteur. Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère, 1861.
2. Miquel. Annales de l'observatoire de Montsouris, 1880—1887.
3. Cristiani H. Ann. de l'Inst. Pasteur, t. VII, 1893.
4. Mischustin E. Centr. f. Bacteriol., II, 67, 1926.
5. Macé E. Traité pratique de bactériologie, 1901.
6. Dubois R. Ann. de la Soc. Linn. de Lyon, 1918.
7. Егорова А. Архив биол. наук, XXXI, 1931.

Л. Г. ПЕРЕТЦ

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СТРАТОСФЕРЫ НА БАКТЕРИОФАГИ И НАИБОЛЕЕ УСТОЙЧИВЫЕ ФОРМЫ БАКТЕРИЙ (ПО ПОВОДУ ГИПОТЕЗЫ АРРЕНИУСА)

Против гипотезы Аррениуса о занесении жизни на землю из других миров можно выставить ряд методологических соображений. Желательно найти соответствующие доводы, основанные также и на непосредственном эксперименте.

С этой точки зрения представляет интерес использовать полеты стратостата для выяснения вопроса жизнеспособности микробов в условиях стратосферы.

Естественно, что при этом в качестве объекта исследования следует избрать микроорганизмы, которые были бы, с одной стороны, наиболее просто организованы и обладали бы наименьшими размерами, и, с другой стороны, — наиболее устойчивые по отношению к воздействию лучистой энергии, низким температурам, давлению и высыханию. С этой точки зрения следует остановиться на спорах бактерий и на бактериофагах. Последние представляют в этом отношении совершенно исключительный интерес. Ибо по д'Эреллю (D'Herelle) это первичное живое существо „Le Protobe Bacteriophage“. Другие авторы отрицают живую природу бактериофага, считают его не существом, а веществом. Несмотря на то, что с момента открытия феномена д'Эрелля прошло уже 17 лет и вопросу о природе бактериофага посвящены многие сотни работ, вопрос этот и до сих пор не является решенным, и на все доводы одних авторов о живой природе бактериофага — другие делают не менее обоснованные выводы о том, что бактериофаг не существо, а вещество. Обладая всеми свойствами живых существ (ассимиляция, размножение, изменчивость, приспособляемость к внешним условиям), бактериофаги несравненно мельче их всех. Размеры бактериофагов меньше, чем частицы коллоидного золота и серебра, по различным авторам — 30, 20 и даже 7 миллимикрон, а может быть и еще менее. Устойчивость бактериофагов по отношению к различным физическим и химическим факторам значительно больше, чем вегетативных форм бактерий. В частности, бактериофаги относительно очень резистентны по отношению к ультрафиолетовым лучам и  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучам радия. Благодаря перечисленным особенностям, бак-

териофаг является наиболее подходящим объектом для проверки гипотезы Аррениуса.

Постановка первых опытов должна сводиться примерно к следующему: споры бактерий и бактериофаги в высушенном и максимально размельченном состоянии заключаются в сосуды и помещаются снаружи стратостата. Сосуды делаются из различных материалов, пропускающих различные лучи: одни сосуды из кварца, в расчете на действие ультрафиолетовых (и космических) лучей; другие из свинца, в расчете только на космические лучи; третьи, с окошечком из слюдяной пластинки — для прохождения корпускулярных лучей большой проникающей способности (типа  $\alpha$ -лучей). Другая серия сосудов конструируется из этих же материалов, но таким образом, чтобы, благодаря системе клапанов, давление в них соответствовало бы окружающему и, наконец, третья серия, контрольная, — так, чтобы при помощи, например, двойных стенок можно было бы исключить влияние низких температур.

Положительный результат таких опытов, т. е. уменьшение количества бактерий и бактериофагов (не говоря уже о полном убивании их, на которое трудно рассчитывать), дал бы экспериментальные доводы для отклонения гипотезы Аррениуса. Отрицательные же результаты не явятся доводом в пользу ее, вследствие кратковременности воздействия, неполного разряжения и охлаждения и несоблюдения ряда других условий.

---

Н. К. КОЛЬЦОВ

## ПРОБЛЕМА БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ОРГАНИЗМ

Впервые в истории человечества биологическая наука сталкивается с новым фактором, который, может быть, оказывает могучее влияние на организм, — с космическими лучами. На нашей памяти история недавнего подобного же столкновения биологии с рентгеновскими лучами. Из этой истории мы обязаны извлечь урок. Биология не была подготовлена к изучению воздействия рентгеновских лучей на организм, и вследствие этого многие из первых исследователей поплатились за свои смелые опыты здоровьем и даже жизнью. Изучение стратосферы само по себе сопряжено с огромным риском для отважных пионеров-исследователей.

Биологическая опасность, конечно, лишь немногим усиливает риск. Но все же необходимо использовать первые смелые опыты для выяснения размеров этого риска и либо освободиться от этих опасений, если они окажутся необоснованными, или — если они в той или иной мере оправдываются — принять меры к их устранению.

Назвать космические лучи совершенно новым фактором в биологии нельзя, так как в известном количестве они проникают и до биосферы. Но ведь и гамма-лучи радиоактивных веществ существуют в биосфере и, повидимому, в самих организмах. Все дело в количестве. Биология вообще не знает абсолютно ядовитых химических веществ и абсолютно вредных физических факторов: вредное действие этих агентов начинает сказываться только с известной степени интенсивности, а при меньшей интенсивности каждый яд оказывает нередко даже благотворное воздействие на организм.

До сих пор нам ничего неизвестно относительно какого бы то ни было биологического воздействия космических лучей в том количестве, которое достигает до земной поверхности. Они действуют на все живые организмы, входя в нормальные условия их существования. Чтобы изучать их нормальное воздействие в условиях земной поверхности, следовало бы сравнить те или иные биологические явления в обычной среде и под защитой достаточно мощных свинцовых оболочек, предохраняющих от проникновения космических лучей. Такие попытки делались, но свинцовые оболочки были, насколько мне известно, недостаточно мощными для того, чтобы считать действие космических лучей совершенно устраненным.

Наилучшим объектом для исследований такого рода является знаменитая муха дрозофила. Проф. Меллер показал, что под влиянием рентгеновских лучей значительно усиливается мутационный процесс у этой мухи, и, подсчитывая процент возникающих здесь летальных — смертельных — генов, можно очень точно определить эффективность X-лучей или гамма-излучений радиоактивных веществ. В настоящее время учет летальных мутаций у дрозофилы является едва ли не самым точным методом количественного определения биологической активности рентгеновских и гамма-лучей.

Однако в природе и в лабораторных условиях новые и в частности летальные мутации возникают у дрозофилы и без воздействия рентгена или радия, только процент их гораздо ниже. Конечно, возможно приписать их действию других физических факторов (напр. температуры) или же химическим влияниям. Но многие генетики отстаивают ту точку зрения, что причина возникновения новых мутаций должна была быть одна и та же, т. е. лучистая энергия. Выдвигается гипотеза, что в природе основным источником возникновения мутаций являются космические лучи, достигающие поверхности земли. Если бы это оказалось правильным, то космические лучи, только недавно открытые физиками, встали бы в центр внимания биологов как ответственные факторы наследственной изменчивости организмов, а стало быть и всей эволюции.

Отсюда понятно, что биологи-теоретики не могут не относиться с величайшим вниманием ко всем успехам физического изучения космических лучей. Дальнейшая работа биологов в этом направлении возможна только при самом тесном сотрудничестве с физиками.

Прежде всего необходимо проверить, действительно ли нормальная мутабельность дрозофилы целиком или частично объясняется действием космических лучей. Для проверки необходимо иметь свинцовую камеру с мощными стенками, совершенно не пропускающими космических лучей, и провести в ней несколько поколений дрозофил, учитывая возникающие здесь, и прежде всего, летальные мутации. Параллельно с теми же мутациями дрозофил проводится контрольный опыт без свинцовой защиты. Отношение числа возникающих мутаций в опыте и в контроле покажет, какую роль играют в мутационном процессе космические лучи, доходящие до земной поверхности.

Наблюдения, произведенные в стратосфере, и, прежде всего, опубликованные результаты знаменитого рекордного советского полета в стратосферу показывают, что здесь интенсивность космических лучей значительно выше, чем на земной поверхности. Может быть интенсивность космических лучей и здесь невелика в сравнении с тем количеством энергии, которым мы пользуемся в наших лабораторных опытах с получением мутаций у дрозофилы рентгеновскими лучами. Но современные физики полагают, что состав космических излучений в стратосфере и качественно отличается от уже знакомых нам естественных и искусственных излучений на земной

поверхности. Мы еще ничего не знаем о роли нейтронов, протонов и позитронов как возможных факторов, влияющих на мутационный процесс. Мы надеемся, что уже в ближайшее время советские физики сумеют помочь нам в постановке соответствующих опытов в искусственных условиях с потоками протонов, нейтронов и позитронов. Но практическое задание — обеспечение смелым летчикам безопасности пребывания в стратосфере — настоятельно требует изучения биологического действия именно тех количественно и качественно излучений, которые имеют место в стратосфере. Необходимо при каждом полете в стратосферу посылать несколько пробирок с подготовленными культурами дрозофил. Вес их настолько мал — около 100, что с этой стороны препятствий быть не может. Колебания температуры в кабине, где сидят пилоты, вероятно, не понизят существенно точности опыта. Если опыт покажет, что пребывание дрозофил в стратосфере в течение нескольких часов не повысит значительно мутабельности дрозофил по сравнению с контролем, оставшимся на земной поверхности, то можно будет с большей долей вероятности заключить, что и на организм летчиков космические лучи в стратосфере не оказывают вредного влияния.

Еще перед первым советским полетом в стратосферу Институт экспериментальной биологии послал на аэродром культуры дрозофил.

Но случайно эти культуры попали не на тот стратостат, который поднялся на следующий день, а на стратостат Осоавиахима, полет которого был отложен. Таким образом, осуществить этот опыт не удалось. Было бы желательно, чтобы перед следующим полетом в стратосферу были своевременно уведомлены соответствующие генетические институты: если полет состоится из Москвы — Московский Институт экспериментальной биологии Наркомздрава, если из Ленинграда — Генетический институт Академии Наук. В этом отношении я и желал бы использования Конференции.

---



Г. МЕЛЛЕР

## ПОДЪЕМ СТРАТОСТАТА В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМАМИ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИМИ ИНТЕРЕС ДЛЯ ГЕНЕТИКОВ

Вопрос о возможном генетическом действии излучения, наблюдающегося в стратосфере, представляет интерес, главным образом, в трех отношениях. Во-первых, должно быть выяснено, может ли генетическое действие такого рода иметь значение для эволюции. Во-вторых, если имеется поддающееся учету генетическое действие, достаточно ли оно для того, чтобы иметь значение в связи с теорией, выдвинутой Аррениусом, о том, что микроскопические живые организмы могут быть переносимы через пространство с одного астрономического тела на другие? В третьих, надо ли принимать в соображение важное генетическое действие излучения на лиц, находящихся в стратосфере?

Этот последний вопрос имеет, может быть, более практический характер, чем это кажется, в виду вероятия, что не в слишком отдаленном будущем передвижение по стратосфере может стать, с физической точки зрения, много более осуществимым видом транспорта, чем в настоящее время.

В связи с этими вопросами первостепенное значение приобретают космические лучи, поскольку высокомощное излучение с большей длиной волн имеется даже в большем количестве у земной поверхности, и ультрафиолетовые лучи так легко поглощаются, что они могут оказывать непосредственное действие только на микроорганизмы и на поверхностные слои более крупных организмов. Рассматривая в свете современных данных вопрос о возможном генетическом значении космических лучей, мы приходим к заключению, что очень мало шансов на возможность достаточно сильного действия, чтобы играть роль в эволюции. Лучше признать это с самого начала, чтобы не быть разочарованным в случае получения отрицательных результатов.

В 1927 г., установив положительное действие рентгеновых лучей в образовании мутаций и хромозомных аномалий в лучах, я поднял вопрос о том, не вызываются ли те мутации, которые имеют место в природе и которые доставляют материал для процесса эволюции, гамма-лучами и космическими лучами, имеющимися в природе. Вычисления и опыты, предпринятые в сотрудничестве с Мотт-Смитом, показали,

однако, что если частота вызываемых мутаций просто пропорциональна количеству полученного излучения, выраженного его ионизирующей силой, то количество лучей с высокой энергией у поверхности земли меньше тысячной доли того количества, которое потребовалось бы, чтобы вызвать естественные мутации в частотах, в которых они действительно имеют место в излучаемом материале. Поэтому, естественные мутации у поверхности земли (если эта пропорциональная зависимость остается в силе) должны иметь какую-нибудь другую причину, чем излучение, наблюдающееся у поверхности земли. Точно также, если излучение в стратосфере могло бы вызывать мутации в значительном количестве, т. е. в количестве, сравнимом с количеством мутаций, являющихся в результате действия других естественных процессов, то они должны были бы быть сильнее более чем в тысячу раз имеющихся у поверхности земли лучей и космических лучей вместе.

Рядом очень тщательных опытов Оливера, Хэнсона и в последнее время Тимофеева-Ресовского было показано, что правило пропорциональности остается в силе для мутаций в случае рентгеновых лучей. Подобные же результаты были получены в некоторых недавних опытах Кёрнера и автора настоящей статьи в отношении образования хромозомных аномалий. Относительно рентгеновых лучей было также показано, что изменение качества излучения (изменение длины волн) не влияет на результат, который зависит исключительно от количества излучения, выраженного количеством вызванной ионизации. Бóльшая разница в длине волны, как, например, между рентгеновыми лучами и гамма-лучами радия, представляла бóльшие трудности для точного измерения, но мы знаем, по меньшей мере, что даже в случае двух последних излучений, таких различных по длине волны, генетическое действие имеет величину того же порядка, когда употребляются количества излучения, имеющие ту же ионизирующую силу. Поэтому вероятно, что тот же принцип остается в силе и для космических лучей. Если это так, то, поскольку отнюдь нельзя утверждать, что космические лучи в тысячу раз сильнее в стратосфере, чем у поверхности земли, генетическое действие в стратосфере, с точки зрения эволюции, незначительно, точно так же, как незначительны любые, кроме самых исключительных, колебания в силе космических лучей в различных областях пространства и времени.

Хотя я указал выше возможности, которыми мы должны руководиться в наших предположениях, мы, тем не менее, находимся в области, где неизвестные настолько велики и последствия неправильного суждения могут быть настолько значительны, что желательны непосредственные эмпирические данные. Такие данные могут быть легко получены при посредстве *Drosophila* в качестве генетического материала. Два сосуда (весящие, вместе с содержимым, около 30 г каждый) с живыми *Drosophila* должны быть взяты в стратостат, будучи защищены от падения температуры ниже 5° С и, конечно, от подъема температуры выше

30°С и хорошо проветриваемы; в то же время две такие же партии *Drosophila* должны быть, конечно, оставлены на поверхности земли в качестве контроля. Одна из них будет служить для улавливания мутаций, которые принадлежат главным образом к типу, известному как летали. Для их улавливания имеется простой метод, известный как *CIB* метод.

Другая партия будет служить для улавливания разрывов хромозом посредством другого специального метода, который я недавно испытал в случае рентгеновых лучей (для генетиков можно пояснить здесь, что в этом скрещивании самки типа *scute E* и содержащие гены *apricot* and *Bar* скрещиваются с самками, имеющими прикрепленные X-хромозомы с генами для желтых, белых и разветвленных). Эти насекомые, около двух сот в каждой партии, должны быть в свежем состоянии во время опыта, и культуры их должны быть приготовляемы очень скоро после спуска. Для того, чтобы эта работа была выполнена своевременно и как следует, желательно, чтобы лаборатория, которая ее выполняет, была бы расположена в местности, где происходит подъем стратостата. Поэтому, если подъем будет происходить около Москвы, желательно, чтобы приготовление материала и генетическая работа были бы выполнены в Институте экспериментальной биологии; если он будет происходить около Ленинграда — то в Институте Академии Наук. Аналитическая работа, необходимая для того, чтобы проследить возможное действие лучей, потребует приготовления и исследования многих тысяч культур *Drosophila*.

Если бы при помощи вышеуказанного метода не обнаружилось никакого действия лучей, мы бы заключили, что значение космических лучей для эволюции незначительно. Однако, все же возможно, что имеется некоторый небольшой генетический эффект, который достаточно велик для того, чтобы иметь значение в связи с теорией о перенесении живых организмов, выдвинутой Аррениусом, в виду того, что для такого перенесения, вероятно, потребовался бы большой промежуток времени.

Вычисляя возможный генетический эффект и исходя из предположения, что он был бы пропорционален по частоте ионизирующей силе лучей, мы находим, что в случае *Drosophila* период порядка сотен тысяч лет был бы достаточен для того, чтобы наверно вызвать летальные мутации во всех клетках одним действием космических лучей, если бы мутации, вызванные другими причинами (обычно вызывающими их в гораздо большей мере), не имели бы места в этот промежуток времени. Менее сложные организмы, зависящие от меньшего числа ген, потребовали бы соответственно большего времени, чтобы стать генетически бессильными, но даже для них периоды порядка миллионов лет были бы генетически летальными, если бы они не были скрыты глубоко в телах громадных метеоритов.

Что касается более практического вопроса о генетической опасности, угрожающей людям при полетах в стратосферу, указанные опыты

должны ясно наметить ответ на него, так как в случае рентгеновых лучей, по меньшей мере, было показано, что мутации вызываются в млекопитающих не легче, чем в *Drosophila*.

Если это верно также и относительно космических лучей, то предложенный метод, в котором используются *Drosophila* должен в конце концов дать достаточно данных для того, чтобы определить, настолько ли велико действие излучения, чтобы считаться опасным для человека.

В настоящее время более вероятно, что такая опасность ничтожна.

Может быть здесь будет уместно упомянуть об одном, имеющем только косвенное отношение к генетике вопросе, который стоит исследовать в связи с подъемом на стратостате. Иногда высказывались предположения, что отношение роста растений, вызываемое рентгеновыми и другими лучами с высокой энергией, происходит благодаря мутациям в клетках растения. Теперь доказано Скугом (см. Science, vol. 79, p. 956, 1934), что такое действие в действительности объясняется разрушением гормона роста растений рентгеновыми лучами.

Поэтому теперь интересно выяснить, оказывают ли космические лучи какое-либо заметное действие такого рода или нет, и было бы желательно взять с собой необходимый растительный материал для этой цели.

Ультрафиолетовые лучи, как было упомянуто выше, вряд ли могут проникать тела высших организмов. Даже муха (как было доказано Альтенбергом) достаточно защищена для того, чтобы предотвратить возникновение мутаций таким путем в большом количестве.

Однако, две независимые серии экспериментов, из которых одна была проделана Альтенбергом в Техасе, а другая Промптовым в Институте экспериментальной биологии под руководством профессора Кольцова, показали, что когда эти лучи все-таки проникают, как, например, при попадании в генеративные полюсы яиц *Drosophila*, то они вызывают значительный генетический эффект. Кроме того, скорость возникновения этого эффекта настолько велика, что, как вероятно можно вычислить, пребывание в стратосфере, даже в продолжение короткого периода подъема на стратостате, было бы генетически летальным. Что касается высших организмов, то мало вероятно, чтобы они подверглись такому действию лучей в природе. Было бы однако в высокой степени интересно с точки зрения естественного процесса эволюции, точно так же, как с точки зрения теории Аррениуса, провести опыты по возможному действию ультрафиолетовых лучей в стратосфере на микроорганизмы — бактерии и ультрамикроскопические формы (вирус, бактериофаг). Для проведения таких опытов было бы необходимо, чтобы исследуемые организмы были заключены в прозрачные сосуды, предпочтительно из плавленого шпата, прикрепленные снаружи стратостата, предпочтительно под прямыми солнечными лучами.

Однако это является вопросом, в гораздо большей мере входящим в компетенцию бактериологов и в связи с которым у последних несомненно уже имеются планы исследования.

В заключение я хотел бы указать на косвенный интерес, который представляют для генетиков опыты, которые может произвести химик-органик с целью определить роль ультрафиолетовых и других лучей, наблюдающихся на больших высотах, в образовании органических соединений, поскольку эта проблема связана с проблемой возникновения жизни и соединений, которые предшествуют возникновению живой материи и являются для нее подсобными.

Однако, что касается собственно работы генетика, то она была бы сосредоточена на первом из упомянутых исследований, именно: исследовании возможного возникновения мутаций и хромозомных аномалий в *Drosophila*.

Такое исследование потребовало бы немало труда, но труд этот, мне кажется, оправдал бы себя.

---



В. И. ВЕРНАДСКИЙ

## БИОСФЕРА И СТРАТОСФЕРА

Все то время, которое прошло после полета Пикара, ясно показало, что стратосфера, по крайней мере в своей нижней части, до 40 км (до озонового экрана), является частью биосферы. Отсюда вытекает несколько выводов, на которых я кратко хочу здесь остановиться.

Во-первых, биосфера, как это теперь совершенно ясно, не является случайным явлением, а обладает совершенно определенной структурой, которая должна отражаться и на ее части — стратосфере. Вот почему мы не можем упускать из виду при рассмотрении программы работ по стратосфере теснейшую связь ее с биосферой и свойств последней.

Во-вторых, здесь возникает, прежде всего, вопрос о том, что, повидимому, в стратосфере должна проходить верхняя граница биосферы, т. е. области жизни нашей планеты. Я беру понимание биосферы не так, как это понимает биология, а так, как это понимается геологией. Мы должны считаться с тем, что биосфера сама является в значительной части продуктом жизни. Точное определение ее границ имеет, поэтому, особое значение. Изучение стратосферы дает возможность поставить вопрос о верхней границе биосферы. Эта возможность совпадает сейчас с чрезвычайно большим явлением, которое нам приходится переживать в понимании биосферы, ибо сейчас как раз становится вопрос и о нижней границе биосферы. За эти последние годы явления, которые впервые были установлены около 40 лет назад (1879—1891) проф. Ф. Штапфом (F. M. Stauff) при прорытии Сен-Готардского тоннеля и были совершенно забыты, а именно нахождение жизни в очень глубоких частях земной коры, далеко за пределами кислородной поверхности, — получают реальное обоснование.

В 1926 г. одновременно появились чрезвычайно важные работы, определяющие нижнюю границу биосферы: Бастина в Америке и проф. Н. Г. Ушинского и его лаборатории в Баку. Эти работы показывают, что чрезвычайно глубокие пластовые нефтяные воды переполнены жизнью. Мы имеем здесь новое глубокое проявление жизни. Эти воды входят в область биосферы. Связанное с этим открытие бактериальной флоры в нефтях заставляет эту границу проводить еще ниже, на глубину нескольких (до 3?) километров. Приходится думать, что, вероятно, область биосферы огра-

ничивается высокой температурой внизу (около  $100^{\circ}$ ) и ультрафиолетовыми излучениями наверху в стратосфере (озоновый экран).

При таком рассмотрении стратосферы мы должны учитывать, что атмосфера Земли не может ограничиваться тропосферой. Она не оканчивается на поверхности геоида, а идет гораздо глубже. Мы должны считаться с существованием подводной и подземных атмосфер, которые все тесно и закономерно связаны и являются естественной и нормальной частью биосферы. Так, воздух океана при средней мощности (глубине) океана 3,8 км, а в отдельных местах достигая глубин больше 10 км, является прямым и неразрывным продолжением тропосферы. Эта подводная атмосфера изменена в своем химическом составе и подвергается давлениям больше 1000 атмосфер, находясь в связи с тропосферой. Ниже дна океана и ниже поверхности геоида на суше неразрывно связаны друг с другом, с тропосферой и подводной атмосферой, подземные атмосферы. Основным свойством всех этих атмосфер, теснейшим образом друг с другом связанных, и самой тропосферы является то, что они в значительной массе, в главной их массе, как это не странно, являются продуктом жизни.

Это кажется нам несомненным по отношению к кислороду, который составляет около  $\frac{1}{5}$  по объему тропосферы и который, дальше разреджаясь, переходит в стратосферу. Это было давно установлено; можно считать, что непрерывно всякая потеря кислорода, который уходит на различного рода химические и биохимические реакции, немедленно восстанавливается жизнью, главным образом, почти исключительно фотосинтезом зеленых растений. Кислород входит в состав тропосферы и подводной атмосферы и быстро сходит на-нет в подземных атмосферах.

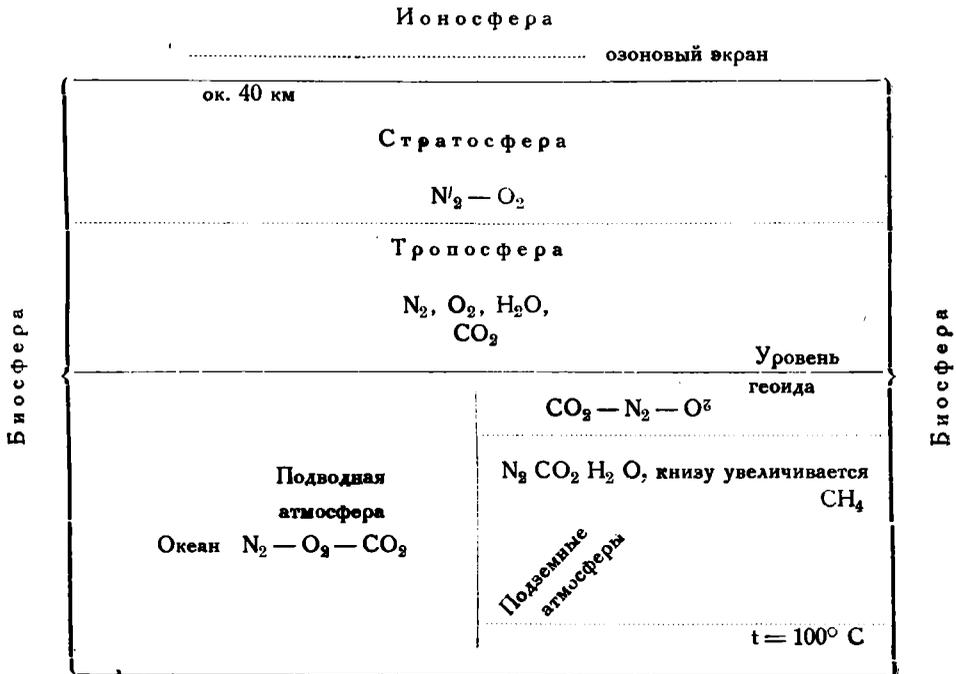
Другой источник его, с которым все же надо считаться, явно не является сравнимым по мощности с жизненным фотосинтезом, который создает в тропосфере громадное большинство молекул свободного кислорода. В тропосфере же, но главным образом может быть в стратосфере, идет другая независимая от жизни реакция его синтеза: действие ультрафиолетовых излучений на молекулы воды. Она несравнима по величине с биогенным процессом. Такой синтез кислорода и есть один из вопросов, который надо выяснить при изучении стратосферы.

Также по массе отходят на второй план и радиохимические разложения, дающие кислород в тропосфере, стратосфере и в подземных атмосферах. Кислород тропосферы и стратосферы — биогенный.

Оказывается, что такой же — биогенный — процесс определяет и генезис азота атмосферы. Большая часть —  $\frac{4}{5}$  примерно — атмосферы, а следовательно, и стратосферы — азот; ему приходится приписывать биохимическое происхождение. В 1912 г., когда я впервые углубился в геохимию азота, я допускал возможность того, что в азоте мы видим газ, который идет в значительной мере из наиболее глубокой части земной коры. Накопившийся в течение 22 лет материал заставляет резко менять

это представление. Сейчас выяснилось, что история азота в глубинах земной коры иная, чем думалось. Характерно, что свободный азот здесь неустойчив. Он дает аммиачные соединения. Это — с одной стороны, а с другой стороны, мы не видим проявлений тех количеств азота, которые бы существовали, если бы в подземные атмосферы проникал свободный азот из земных глубин. Для всех газов, находящихся в растворенном виде в природных водах, существует одно замечательное число, которое выдерживается везде и в водах и на земной поверхности. Это весовое количество растворенных газов. Оно всегда для суммы газов равно  $10^{-8} \%$ , т. е. тысячным долям процента веса воды. Если бы азот шел из глубин, мы бы встретились для глубоких вод с увеличением этого процента, но мы встречаемся с уменьшением содержания азота, который доходит до сотых тысячных долей процента  $10^{-5} \%$  без увеличения количества других газов. Выяснившаяся сейчас необходимость понизить нижнюю границу биосферы заставляет считаться с тем, что часть подземного азота биогенного происхождения, ибо как в глубоких пластовых водах, так и в нефтях найдены выделяющие свободный азот бактерии. Целый ряд фактов, таким образом, заставляет учитывать, что в циркуляции свободного азота мы, прежде всего, должны считаться с биохимическим его генезисом. Свободные кислород и азот стратосферы в известной нам части — биогенного происхождения. Они связаны со сложным газовым строением земной коры, которое выражается следующей схемой:

СХЕМА ГАЗОВОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ



Биосфера

Биосфера

Исходя из этих соображений, желательно, чтобы при выработке программы наблюдений стратосферы было обращено внимание на три явления: 1) чрезвычайно важно выяснить количественный материальный обмен газов между тропосферой и стратосферой, выяснить, насколько и как быстро вещество стратосферы попадает в тропосферу и обратно, 2) выяснить то количество молекул кислорода, ту массу кислорода, которые могут образоваться в стратосфере разложением молекул воды ультрафиолетовыми излучениями, 3) точно количественно изучить нахождение воды в стратосфере. Наконец, было бы желательно, чтобы было обращено внимание, помимо озона, и на нахождение перекиси водорода в стратосфере. Тела эти, несмотря на вероятное их значение, до сих пор не обращают на себя должного внимания в геологических и геофизических исследованиях.

Само собою понятно, что вопрос о нахождении жизни — живых организмов в стратосфере, поставленный на очередь, имеет большое значение и с точки зрения соотношения стратосферы с биосферой.

---

Г. А. НАДСОН

## МИКРОБИОЛОГИЯ И СТРАТОСФЕРА

После обстоятельных докладов моих предшественников на этой кафедре я могу ограничиться немногим. Позвольте и мне привлечь ваше внимание к гипотезе Аррениуса и высказать относительно ее несколько соображений.

Затрагивая старый, но всегда юный и интересный вопрос о возникновении жизни на земле, эта гипотеза привлекла к себе внимание не только специалистов, но и очень широких кругов. Нужно думать, что изучение микрофлоры стратосферы (буде таковая окажется) и особенно влияния условий стратосферы на жизненные процессы окажет значительное влияние на ее судьбу. Нужно заметить, однако, с самого начала, что не всегда надлежаще подходят к этой гипотезе, не всегда правильно трактуют точку зрения ее автора касательно происхождения живых существ. Думаю, что будет небесполезно остановиться на этом несколько дольше.

Большинство считает, что Аррениус против самозарождения жизни и проповедует „вечность“ жизни во вселенной. Это не совсем так. Прежде всего, на этот счет у Аррениуса нет единой определенной позиции. Всего лучше, если я приведу в доказательство цитаты из его сочинения „Представление о строении вселенной в различные времена“ (М., 1914). Между прочим он говорит следующее: „нам едва ли остается иной выход, как только принять гипотезу, что жизнь явилась на землю из пространства, т. е. из миров, на которых уже раньше существовала жизнь и что жизнь подобно материи и энергии — вечна“. Однако несколько дальше, относительно первоначального зарождения жизни читаем следующее: „это явление могло тем не менее произойти где-либо в другом месте мирового пространства при значительно отличающихся физических и химических условиях, которые несомненно существуют или существовали в безграничном пространстве. Из той точки, или из тех точек, где было возможно первоначальное зарождение, жизнь могла затем распространиться на все пригодные для жизни небесные тела“... „с другой стороны, — продолжает Аррениус, — ясно, что так как мир, взятый в целом, существует с бесконечных времен и при тех же самых условиях, какие мы видим и теперь, то и жизнь существовала всегда, как бы далеко ни зашли в своих мыслях“.

Таковы общие рассуждения Аррениуса, неопределенность и неудовлетворительность которых очевидна.

Совершенно ясно из книг и статей знаменитого шведского физика, что его гипотеза в сущности не касается (если отвлечься от только что указанных общих, недостаточно обоснованных рассуждений) проблемы возникновения жизни, а касается другого вопроса — переноса, транспортирования жизни через межпланетные мировые пространства. Сюда именно направлена его остроумная и серьезно, научно проводимая аргументация возможности такого переноса жизни; вот это то и составляет „гипотезу Аррениуса“, и вот об этом гипотетическом биотранспорте позвольте мне представить несколько соображений.

Как представляет себе этот транспорт Аррениус? Ясно, что с планеты на планету могут транспортироваться только мельчайшие и легчайшие живые существа — бактерии, их зародыши — споры или нечто подобное. Аррениус определяет величину годных для транспорта живых телц, „живых пылинок“ в  $0.16 \mu$  ( $\approx 0.00016$  мм) в поперечнике, — это приблизительно. Микробы такой величины существуют на самом деле и даже разнообразные. Движущая (толкающая) сила, переносящая их в мировом пространстве, также имеется, и она хорошо известна: это лучевое давление. Все зависит теперь от того, выдержат ли живые существа путешествие в мировом пространстве, тем более, что путешествие может быть очень продолжительным. Аррениус вычислил, что путь микроба до орбиты Марса займет 20 дней, до орбиты Нептуна 14 месяцев, а до ближайшей к нам солнечной системы  $\alpha$ -Центавра целых 9000 лет.

Какова же обстановка на пути, внешние условия; они таковы: чрезвычайно низкая температура ( $-220^\circ$ ) и полное отсутствие воздуха и влаги. Казалось бы, что при таких условиях совершенно абсурдно допускать возможность для живых существ, хотя бы и микробов, выдержать такую обстановку и не то что днями, месяцами и годами, но даже минутами. А между тем мы имеем достаточно фактических, экспериментальных данных, чтобы вполне допустить такую возможность. Так, известно, что микроорганизмы могут выдерживать чрезвычайный холод, температуру жидкого воздуха ( $-190^\circ$ ) и даже жидкого водорода ( $-250^\circ$ ) (стало быть значительно ниже чем  $-220^\circ$ ) и притом довольно продолжительное время. Они выдерживают также высушивание в безвоздушном пространстве и продолжительное там пребывание. Такая обстановка, повергая организм в покоящееся, летаргическое состояние, тем самым может консервировать его на продолжительное время, столь продолжительное, что этого хватит и на очень длинный путь.

Таким образом, со стороны „среды“ — далеких небесных пространств — путешествующим микробам не грозит безусловная гибель. Насколько мы можем учесть в настоящее время, эта „среда“ преодолима, — и это хорошо и обстоятельно объяснил Аррениус; однако, он не учел еще одну серьезную опасность, опасность от ультрафиолетовых лучей, обильно рас-

сеиваемых солнцем в пространстве. Об этих лучах, об их бактерицидных (убивающих бактерий) свойствах вы уже слышали. При достаточной интенсивности эти лучи убивают бактерии и других микробов или же сильно ослабляют их жизнь. Опыты с ультрафиолетовыми лучами, исходящими от ртутно-кварцевой лампы, показали, что эти лучи могут убить микроорганизмы в несколько минут, если действуют на них на небольшом расстоянии. В наших опытах мы убедились, что даже в несколько секунд они изменяют, нарушают нормальную структуру клетки у микробов. Это было известно. Особое, однако, впечатление произвели опыты французского ботаника Поля Беккереля (Paul Besquerel). Его опыты, по мнению не только самого их автора, но и очень многих специалистов и неспециалистов, окончательно сокрушали гипотезу Аррениуса, показав невозможность сохранения жизни при одновременном действии очень низкой температуры, безвоздушного пространства и ультрафиолетовых лучей, т. е. в условиях межпланетной среды.

Вот как Беккерель ставил свои опыты. Он тщательно высушивал на стеклянной пластинке споры бацилла, вызывающего болезнь — сибирскую язву (*Bacillus Anthracis*), и споры черного плесневого грибка (*Aspergillus niger*). Затем пластинка со спорами помещалась в широкую стерилизованную трубку, на дно которой было налито немного ртути. Сверху трубка была герметически закрыта кварцевой пластинкой. Через боковое отверстие при помощи ртутного насоса воздух полностью выкачивался из трубки. Трубка затем была помещена в резервуар с жидким воздухом ( $t^{\circ} - 190^{\circ}$ ), и над ней подвешивалась на расстоянии 10 см ртутно-кварцевая лампа, испускающая ультрафиолетовые лучи. Лучи проникали через кварцевую пластинку и падали на споры микробов. Опыт длился 6 часов. Результат: все споры погибли. Отсюда вывод — микробы не могут остаться живыми в межпланетном пространстве, освещаемом потоками ультрафиолетовых лучей, и, таким образом, гипотеза Аррениуса подорвана и сдается в архив истории. Это теперь очень распространенное мнение.

Но, так ли это? Обладают ли такой абсолютной, сокрушающей, силой опыты Беккереля? Рассмотрим это ближе. Во-первых, яркий солнечный свет (вср. ультрафиолетовые лучи) не на всякого рода бактерии действуют губительно. Есть и такие микробы, которые не „боятся“ света и даже лучше всего развиваются на прямом солнечном свете, таковы, например, так наз. „пурпурные“ и „зеленые“ бактерии; найдутся и другие. Нельзя, таким образом, говорить, что всякие микробы легко убиваются светом. Особенно те микроорганизмы, у которых споры с темноокрашенной оболочкой, могут очень долго сопротивляться действию даже прямого солнечного света, а также и ультрафиолетовых лучей ртутно-кварцевой лампы. Приведу лишь некоторые наши (Филиппов и Надсон) опыты, в которых темноокрашенные споры головневых грибков или плесеней (они часто носятся в воздухе) хорошо выдерживали час и больше освещение ультра-

фиолетовыми лучами ртутно-кварцевой лампы, и притом на небольшом расстоянии; в то же время как бесцветные формы погибали уже спустя несколько (5—10) минут. Если примешать бесцветные бактерии к темно-окрашенным спорам головневового грибка, то последние их защищают от губительного действия ультрафиолетовых лучей, служа им прикрытием, экраном. Замечу еще здесь, что в мировых пространствах носятся потоки мелкой „космической пыли“, и эти пылинки, надо полагать, также могут служить прикрытием для бактерий, если вообще среди них бактерии найдутся. Наконец, не надо упускать из вида то обстоятельство, что даже бесцветные, легко поддающиеся влиянию света микробы, притом микробы одного и того же вида и даже происшедшие от одного и того же родоначальника (исходной формы), обладают каждый индивидуально различной чувствительностью к лучам; так, иногда под влиянием лучей гибнет огромное большинство микробов, все кругом мертво, а некоторые исключительные индивиды продолжают упорно сопротивляться и сохраняют до конца свою полную жизнеспособность. Какая тому причина, об этом пока мало известно, но самый факт не подлежит сомнению.

Не надо упускать из вида при критике гипотезы Аррениуса также того, что интенсивность ультрафиолетовой радиации сравнительно быстро уменьшается по мере удаления от ее источника, а вместе с тем, конечно, падает и бактерицидный эффект ее. Если все это учесть, то выводы Беккереля из его опытов, правильные, допустим, поскольку они касаются именно этих опытов, отнюдь нельзя толковать распространительно и, между прочим, как бесповоротное решение судьбы гипотезы Аррениуса.

Быть может, однако, существуют еще какие-нибудь факторы в стратосфере или в межпланетных пространствах, которые делают невозможным передвижение микробов? Об этом пока ничего нельзя сказать определенного; хочу только несколько остановиться на космических лучах, этих интереснейших лучах, природа и происхождение которых еще недостаточно выяснены, а о биологическом действии которых мы ничего не знаем. Впрочем, есть одно указание, о котором стоит упомянуть. Я имею в виду опыты итальянского ученого Ривера (Rivera). Он пришел к выводу, что космические лучи неблагоприятно действуют на растения, именно — задерживают их рост. Вот некоторые из его опытов. Он погружал в озеро на значительную глубину (15—95 м) металлические камеры, внутри которых в стеклянных чашках находились семена различных растений (злаков, бобовых). Семена там прорастали, появлялись ростки, и оказалось, что прорастание и рост идут на глубинах лучше, чем в параллельных опытах, которые велись в лаборатории при сходной температуре. Этот благоприятный эффект на глубине Ривера объясняет таким образом: толща воды задерживает космические лучи, и вследствие этого ростки лучше развиваются; точнее он формулирует так: „космические лучи действуют задерживающе на ритм клеточного размножения“. Должно заметить, однако, что критически рассмотрев постановку опытов Ривера и его цифровые данные, при-

ходится усумниться в достаточной обоснованности его выводов. То же следует сказать и об его выводах относительно депрессивного действия на растения космических лучей, — выводах, построенных на основании его лабораторных наблюдений над лучшим прорастанием семян в камерах с очень толстыми (15 см) свинцовыми стенками (предполагается, что такие стенки задерживают космические лучи). Если свинец здесь и играл роль, то, вероятно, не задержкой космических лучей, а путем эмиссии вторичных лучей,<sup>1</sup> т. е. эффект не зависит от космических лучей. Итак, нельзя пока говорить о какой-либо роли в жизни организмов космических лучей. Посмотрим, что дадут дальнейшие исследования.

Как же отнестись, в конце концов, к гипотезе Аррениуса? Что, доказан занос жизни на землю с другой планеты? Нет. Доказана ли невозможность переноса мельчайших живых существ через мировое пространство? По моему — тоже нет. К вопросу о первоначальном происхождении жизни гипотеза Аррениуса не имеет в сущности прямого отношения и нисколько не освещает этого вопроса, — скорее она тормозит его решение. Его рассуждение о „вечности“ жизни не имеет под собой серьезных научных оснований, скорее это отклонение научной постановки вопроса. Все, что мы знаем до сих пор о развитии планет, в том числе и нашей земли, все, что мы знаем об эволюции органического мира, вся наша научно-философская концепция мира заставляет нас сделать один вывод: живые существа должны были и действительно возникли на земле в историческом процессе перехода неживой материи в живую, и специфические закономерности жизни возникли естественным путем эволюции на базе физико-химических процессов. Не буду углубляться здесь в эту трудную проблему, которую, конечно, когда-нибудь решит человеческий ум и даст нам картину всех последовательных стадий этого процесса. Теперь, прежде чем оставить гипотезу Аррениуса, хочу сказать, что она для меня представляет большой интерес, но в особом отношении. Аррениус интересовался импортом жизни с других планет (вообще из мировых пространств) на землю. Меня же больше интересует обратный путь: возможность экспорта жизни с земли на другие планеты, способные жизнь поддерживать. Может быть такой экспорт микроорганизмов происходит теперь, или происходил раньше или будет происходить в далеком будущем. Кто знает? О будущем, как и о прошлом, человечество не может не задумываться. А нам известно, что и планеты свою судьбу имеют, и наша земля, в силу тех или иных неблагоприятных обстоятельств, например угасания солнца (на это часто ссылались), может со временем сильно охладиться, а уменьшение солнечного света и тепла несомненно тяжело отразится на растениях и на животных. Жизнь постепенно будет чахнуть, гаснуть, и тогда, быть может, микроорганизмы-эмигранты перенесут ее через стратосферу

---

<sup>1</sup> Подробнее об этом, как и о других данных и соображениях, приводимых в этой статье, я имею в виду высказаться в другом месте, с указанием соответствующей литературы.

и мировые пространства на другую планету, в „лучший мир“ в точном смысле этого слова. Но оставляю эту область предположений, гаданий о будущем; хочу вернуться к стратосфере, к космическим лучам.

Изучение влияния условий стратосферы на живые существа — от бактерий начиная, и до человека включительно — несомненно может дать интереснейший материал для биолога, и не только для теории, но и в практическом отношении. Не буду касаться тех сторон, которые лучше меня осветят перед вами сегодня другие докладчики — физиологи, генетики. Хочу только одно подчеркнуть — значение лучей короткой волны в изменении наследственных свойств организмов. Как ультрафиолетовые лучи, так и лучи рентгеновы и радия могут оказывать существенное влияние не только на освещаемый ими организм, но и на происходящее от него потомство. Вместе со своими учениками (Филиппов, Рожина, Штерн и др.) я показал на целом ряде микроорганизмов (бактерии, дрожжевые и плесневые грибки), что под влиянием радия, рентгеновых, а иногда и ультрафиолетовых лучей возникают новые расы микроорганизмов, отличающиеся как друг от друга так и от исходной родоначальной формы целым комплексом особенностей — своим строением, развитием, своими физиологическими свойствами.

Как действуют в этом отношении космические лучи, как действует вообще радиация в условиях стратосферы, вот что должен поставить для разрешения микробиолог при работах в области стратосферы. Эти исследования должны быть тесно увязаны с соответствующими экспериментальными работами на земле. Мы только в начале изучения стратосферы, и чем дальше мы будем подвигаться по этому пути, тем больше даст он интересного и важного для науки.

---

Л. А. ОРБЕЛИ

## ПЛАН НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ ПО ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СТРАТОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

В течение нескольких дней мы здесь слушали доклады представителей различных дисциплин, касающиеся вопроса о стратосфере. Мы являемся свидетелями исключительного интереса, который проявляет научный мир нашего Союза к овладению стратосферой. Мы знаем, что безграничный интерес к этой проблеме проявляет и все население нашего Союза. Все, кто имел возможность наблюдать наших граждан в те дни, когда совершались полеты стратостатов, знают, до какой степени все население было охвачено интересом к этому великому делу. Сегодня мы слышали целый ряд интереснейших докладов, в которых выяснялся вопрос о том, что может дать изучение стратосферы, проникновение в стратосферу, для разрешения основных биологических вопросов. После этого во второй половине нашего заседания нам пришлось с высот теоретической науки спуститься на землю — к практической работе, направленной на то, чтобы обеспечить возможность самого проникновения в стратосферу. Из сопоставления доложенного нам фактического материала мы видим, что тут нас разделяет громадная пропасть: мы слишком мало знаем для того, чтобы обеспечить возможность осуществления тех грандиозных научных и практических задач, которые выдвигаются в связи с вопросом освоения стратосферы.

Действительно, все мы, присутствующие сейчас на Конференции, знаем, что проникновение в стратосферу есть переход, хотя бы на короткое время, в совершенно новые условия существования. Мы же оказались в наших физиологических познаниях подготовленными только в отношении некоторых вопросов, правда, вопросов очень важных и существенных, но все-таки только некоторых. В отношении парциальных давлений  $O_2$  и  $CO_2$  мы имеем по крайней мере полувековой опыт и оказались в силах что-то сделать для того, чтобы гарантировать безопасность участников полета в этом отношении. Но сейчас, вслед за этим, встает ряд проблем, относительно которых мы ровно ничего не знаем, не можем дать никаких указаний.

Полеты в стратосферу до настоящего времени совершались на стратостатах в герметически закрытых камерах, гондолах. Тут проблема сводилась только к обеспечению участников полета кислородом и ограждению их от избыточного накопления углекислоты; эта задача была разрешена. Однако нам не удалось разрешить важной задачи, задачи устранения влаги. Таким образом, мы сумели обеспечить участников полетов только в отношении кислорода и устранения углекислоты, дальше мы не пошли.

Теперь, когда оказалось, что такие полеты вполне осуществимы и мы выдвинулись на одно из первых мест в деле освоения стратосферы, перед нами возникает новая задача. Сегодня на вечернем заседании мы услышим доклады о методах освоения стратосферы, узнаем, что стратостат с закрытой гондолой уже отходит в область предания и что сейчас идет речь уже о свободных полетах в открытых гондолах, о стратопланах и т. д. Вы тут уже слышали о том, что предполагаются полеты в скафандрах. Как же перенесет все это человеческий организм? От опытов в баро-камере мы должны будем быстро перейти к опытам в совершенно иных условиях. Встает вопрос, как человеческий организм, самая сложная форма живых существ, будет себя вести в этой обстановке, как он будет себя чувствовать в этих условиях. При этом человек не только пассивно будет занесен, но он должен активно проникать в новые слои, должен проявлять свои умственные способности, работоспособность, сохранять полное самообладание. Перед нами стоит целый ряд вопросов: хорошо, мы наденем в условиях полета скафандры, одолеем проблему кислорода и угольной кислоты. А что мы скажем о влиянии лучистой энергии? Из докладов и прений на Конференции мы убедились, что по этому вопросу пока еще нет положительных данных. Техника идет гигантскими шагами, и не пройдет трех месяцев, как будут осуществлены возможности новых форм полетов. Мы должны быть готовы к тому, чтобы гарантировать жизнь и благополучие участников полетов — дать определенные требования, указать пути защиты. Мы этого сделать не можем, так как ни на один из возникающих вопросов нет определенного ответа. Из этого обстоятельства ясно вытекает необходимость широкой постановки физиологического изучения стратосферы, физиологического изучения тех условий, которые в стратосфере действуют. На это указывал уже сегодня проф. Н. К. Кольцов.

Какие же стоят перед нами вопросы? Прежде всего вопрос ультрафиолетовой радиации. Мы имеем с нею дело и на поверхности земли, и много выполнено работ относительно биологического действия ультрафиолетовых лучей. Изучается их влияние как на высшие, так и на низшие организмы и, наконец, на человека. Но это не то, что будет в стратосфере, особенно в условиях полета вне герметической камеры. Мы не знаем материала, из которого будет сделан скафандр, условий проницаемости его для лучей, а человек проникает в области, где ультрафиолетовая радиация имеет и качественно и количественно другой состав.

Далее, вопрос о космических лучах. Проф. А. Б. Вериго указал, что бактерии надо прожить 150 лет, чтобы иметь один шанс получить импульс космической радиации. Поверхность нашего тела имеет много сотен квадратных сантиметров, и если действительно на каждый см<sup>2</sup> попадает 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> импульса, то определенное воздействие космических лучей мы, естественно, получим, а мы не знаем — каково физиологическое действие этих лучей особенно того состава, который имеет место в высших слоях атмосферы. Требуется регулярное систематическое изучение этого вопроса путем эксперимента как на людях, так и на животных. Мы должны добиться того, чтобы до осуществления сверхвысотных полетов этот вопрос был бы в какой-то мере освещен. Естественно возникает вопрос: а как это сделать, если космические лучи доходят до земной поверхности в ничтожной степени? Для того, чтобы изыскать пути разрешения этих крупных вопросов, необходимо объединение сил физиологов, физиков и техников, и я думаю, что это задача далеко не неосуществимая.

Путем применения искусственных источников света, как указал проф. Калитин, можно создать полное подобие той ультрафиолетовой радиации, с которой нам придется иметь дело в стратосфере. Необходимо создать такую световую камеру и сначала поместить в нее животных, а затем и человека, и оценить то физиологическое воздействие на человека, которое здесь будет иметь место. Конечно, опыт на человеке можно сделать только при том условии, если опыты с животными покажут, что они не представляют большой опасности, в противном же случае сразу придется перейти к вопросу о том, каким образом оградить человека от действия ультрафиолетовой радиации.

В отношении космических лучей задача будет более сложная. Здесь нам наверно придется говорить об установлении какого-то „потолка“, который являлся бы для нас границей, ограждающей от действия космических лучей. Проф. А. Б. Вериго сообщил о возможности создания установок, которые до известной степени могут дать некоторый суррогат космических лучей в лабораторных условиях. Конечно, до некоторой степени эти „условные“ космические лучи будут отличаться от естественных, но все-таки с определенным приближением могут дать возможность судить о том, чему подвергается живой организм при действии космической радиации в том виде, как она имеет место в стратосфере.

Далее возникает вопрос о непосредственном использовании стратосферных условий для нашей цели. При теперешних условиях полета, когда стремятся максимально облегчить стратостат, когда каждый лишний килограмм имеет колоссальное значение, мы не можем претендовать на проведение сложных опытов на стратостате. Физиологические опыты могут быть удовлетворительно сейчас поставлены на шарах-зондах. Проф. П. А. Молчанов разъяснил, что предельная нагрузка для шара-зонда составляет 10 кг. Если это так, то мы можем говорить о том, чтобы поставить физиологический эксперимент на высоте правильно и точно,

без непосредственного участия человека. Этот вопрос может быть разрешен в течение 2—3 месяцев при достаточно активном участии физиологов и техников.

Что касается проблемы озона, то нам, вероятно, придется иметь дело и с этой проблемой, так как даже минимальное количество озона в воздухе оказывается для организма человека и животных губительным. Мы не можем жить в среде, где имеется более или менее заметная примесь озона. Даже работая с ртутнокварцевой лампой, мы должны применять усиленную тягу или защитные противогазы, чтобы спастись от действия озона. Если мы окажемся на той высоте, где имеется слой озона, то нет гарантии, что образование озона не будет происходить в замкнутом пространстве, где мы дышим. Трудно допустить, что в герметически закрытый скафандр озон попадет извне, но вполне возможно образование его внутри. С этим надо считаться и тщательно выяснить, в какой мере эти условия озонирования будут иметь место в скафандре. Дело сводится к изучению свойств материала, из которого будет построен скафандр, и к выяснению, в какой мере он оградит от проникновения той лучистой энергии, которая ведет к образованию озона. Таким образом, возникает целый ряд вопросов, важных для сохранения жизни участников полета. Частично эти исследования должны привести к тому, чтобы устранить неблагоприятные факторы, а частью к тому, чтобы определить те запретные зоны, дальше которых эти полеты не должны идти.

Мы заслушали доклад проф. А. А. Лихачева относительно влияния ускорений. Те действительные скорости, которые предполагают развивать, связаны с большими начальными и конечными ускорениями, с ускорениями при поворотах и т. д., и оказываются далеко не безразличными. Этот вопрос находится еще в начальной стадии разработки, и предстоит еще большая работа.

Но этим дело не исчерпывается. Построив скафандр из надлежащего материала и оградив человека от опасности, следует еще обеспечить ему возможность видеть; ему нужно смотреть на поверхность земли, на небо, оценить цвет неба и т. д. Для оценки результатов требуется точное знание того, в каком состоянии будет зрительный аппарат и остальные органы чувств при тех условиях, в которых человек окажется. Тут исключительное место занимает зрительный аппарат, который под влиянием лучистой энергии в стратосфере должен в значительной мере изменить свои функциональные свойства и даже может быть пострадать. Специальная задача, которую должны взять физиологические и физические оптики, это — обеспечение участников полетов стеклами в скафандре, которые бы давали гарантию сохранения зрения, обеспечили бы возможность видения и, вместе с тем, оказались бы соответствующими тем требованиям, которые предъявляет техника.

Исчерпать ту программу научных исследований, чисто физиологических, которая должна быть в кратчайшее время осуществлена в связи

с быстрым развитием стратосферного дела — нет возможности. Нет физиологического вопроса, который бы здесь не был актуален.

В данный момент число участников работ в этой области весьма незначительно: четыре или пять человек в Москве и столько же в Ленинграде. Для обеспечения первых двух полетов стратостатов московской и ленинградской бригадам пришлось потратить много месяцев упорного труда. Краткие сообщения гг. Бресткина и Стрельцова — явились, во-первых, подведением итогов почти столетнего научного опыта, а во-вторых, изложением результатов 8—9-месячной упорной, тяжелой, подчас скучной работы авторов и их сотрудников, направленной специально на обеспечение этих полетов.

Итак, для новой формы полетов, для достижения новых высот необходимо обеспечить все те физиологические исследования, о которых я вскользь упомянул. Конечно, эта задача непосильна для такой небольшой группы лиц. Эта работа может быть осуществлена только при условии, если будет создана организация, обладающая известными ресурсами для того, чтобы вникнуть в эти вопросы, включиться в работу, направить ее по правильному пути. Придется привлечь к этой работе целый ряд учреждений, например физиотерапевтические институты, в которых вопрос о влиянии лучистой энергии на организм уже разрабатывается. Расширить их программу не представит трудностей, а они много могут дать для нашей работы. Затем мы имеем целый ряд других лабораторий, которые тоже могли бы оказать нам большую помощь. Но, наряду с этим, следует выделить одно центральное учреждение для объединения и координации всей этой работы. Совершенно ясно, что каждое из учреждений должно заняться определенными вопросами этой проблемы. Но единая организация будет всю работу точно учитывать и заботиться о том, чтобы каждый раздел попал в те руки, в то учреждение, где для его осуществления имеются наиболее благоприятные условия, и чтобы ни одна сторона дела не была упущена. Словом, должен быть создан планирующий орган, серьезный научный орган, который распределял бы эту работу между всеми учреждениями, взяв на себя деловую роль установления сроков, контроля и т. д.

К этому я и клоню мой доклад. С моей точки зрения необходимо просить Президиум Академии Наук создать при Академии единый планирующий орган по изучению физиологического действия стратосферных условий. Не следует думать, что эти вопросы останутся в сфере практических задач и что теоретическая сторона дела останется без рассмотрения. Речь идет о решении основных биологических вопросов, но рекомендуется идти с двух сторон. В то время как биологи будут разрешать, идя от простейших форм, мы, физиологи высших животных, пойдем с другого конца, возьмем высоко развитые организмы, на их примере изучим основные вопросы и получим ответ для разрешения той же теоретической биологической проблемы. Лично мое мнение и мнение моих сотрудников,

которым приходится принимать большое участие в разработке целого ряда практических прикладных вопросов, состоит в том, что эти практические и прикладные вопросы, как они ни трудны, дают очень много для понимания основных теоретических проблем.

С этим призывом я обращаюсь к Секции и надеюсь, что ее Президиум обеспечит вынесение предлагаемой мною резолюции на рассмотрение и утверждение как Секции, так и Президиума Конференции.

---

А. А. ЛИХАЧЕВ

## О ВЛИЯНИИ НА ОРГАНИЗМ УСКОРЕНИЙ<sup>1</sup>

Большие скорости сами по себе, очевидно, никакого воздействия на организм не могут оказать.

Однако те большие скорости, которые предвидятся при различных способах передвижения в стратосфере, косвенным путем несомненно могут оказать весьма значительное, а в некоторых случаях и роковое воздействие на человеческий организм.

В первую очередь тут надо иметь в виду ускорение положительное и отрицательное, которому будет подвергаться организм при переходе от относительного покоя при старте к большим скоростям и обратно при возвращении к покою, при окончании полета.

Затем надо иметь в виду ускорение как результат изменения направления полета при поворотах, выхолах из пикэ и при качке.

Наконец, большие скорости при полетах в открытых гондолах, а также при спуске на парашютах, несомненно могут сказаться на состоянии организма благодаря воздействию на него со стороны атмосферы в виде встречного ветра и вихрей, которым будет подвергнут при этом организм.

Из перечисленных факторов наибольший интерес представляет влияние ускорения.

В виду того, что в литературе вопрос о влиянии ускорения на человеческий (и животный) организм выяснен недостаточно полно, нами в 1930 г., по инициативе проф. Н. А. Рынина, были предприняты в Институте инженеров путей сообщения в Ленинграде предварительные опыты на животных, с целью хотя бы несколько осветить этот вопрос и тем выяснить основные линии плана дальнейших работ в этом направлении уже на человеке.

---

<sup>1</sup> Доклад составлен на основании данных, опубликованных в статье проф. Н. А. Рынина и проф. А. А. Лихачева: „Эффект ускорения на живые организмы“, помещенной в I сборнике Трудов Научно-исследовательского бюро Института гражданского воздушного флота. 1931.

Для этих предварительных опытов под руководством проф. Н. А. Рынина и при содействии Научно-исследовательского института при Институте инженеров путей сообщения были построены две центробежных машины: одна, при радиусе в 0.32 м, давала до 2800 об./мин. и другая, при радиусе в 1 м, до 300 об./мин.

В постановке опытов и производстве наблюдений, кроме проф. Н. А. Рынина и меня, принимали участие мои сотрудники по фармакологической лаборатории I ЛМИ, ныне проф. В. М. Карасик, М. М. Лихачев и А. М. Васильев, а также А. А. Сергеев.

Уже из изложенного ясно, что животные, подвергавшиеся опыту, испытывали воздействие двух факторов: во-первых, — центробежной силы и, во-вторых, — вращения.

Из табл. 1 мы видим, какова перегрузка на организме по отношению к силе тяжести  $\frac{R}{Q}$  ( $R$  — равнодействующая силы тяжести и центробежной силы,  $Q$  — сила тяжести) при вращении большой машины.

Таблица 1

$\frac{R}{Q}$ при 10 оборотах . . . . .	1.006
„ 30 „ . . . . .	1.42
„ 40 „ . . . . .	2.0
„ 50 „ . . . . .	3.00
„ 100 „ . . . . .	11.2
„ 300 „ . . . . .	100.6

При применении малой машины для получения той же перегрузки требовалась, очевидно, большая скорость вращения, так как центробежная сила пропорциональна радиусу вращения, и потому при той же угловой скорости центробежная сила, развиваемая малой машиной, была приблизительно в 3 раза меньше, чем у большой машины.

Максимальная скорость вращения машин как большой, так и малой достигалась не сразу, так же, как и убывала в конце опыта.

При этом скорость вращения регистрировалась при помощи особых приборов в течение всего опыта, в результате чего получилась возможность графически изобразить изменение скорости вращения машин в течение каждого отдельного опыта.

Опыты были поставлены нами на различных видах животных: насекомых, рыбах (небольшое число опытов), лягушках, птицах и млекопитающих — мышах, крысах, кроликах и кошках.

При этом малая центробежная машина применялась лишь по отношению к насекомым и лягушкам.

Всего было поставлено нами 51 опыт, из них на

насекомых . . . . .	7 опытов	
рыбах . . . . .	4 „	
лягушках . . . . .	12 ( <i>r. tempor.</i> ) + 3 ( <i>r. esculenta</i> )	
птицах: чижах . . . . .	5 опытов	
голубях . . . . .	3 „	
вороне . . . . .	1 „	
млекопитающих {	мышах белых . . . . .	6 „
	крысах серых . . . . .	2 „
	кроликах . . . . .	8 „
	кошках . . . . .	3 „

Полученные данные сводятся к следующему: насекомые (тараканы, жуки, мухи) даже после опытов с максимальными скоростями вращения как большой, так и малой машины, несмотря на максимальную перегрузку, достигавшую до 2500 g, которой они подвергались в течение 1 мин. слишком при 2800 об./мин., — не представляли никаких отклонений от нормы.

У всех остальных животных, при достаточной скорости вращения и соответственной перегрузке, наблюдались отклонения от нормы.

В качестве иллюстрации в табл. 2 приведены краткие записи из протоколов некоторых опытов.

Анализируя наблюдаемые отклонения от нормы, мы видим, что ранее всего и особенно резко выступают как раз те явления, которые характерны как последствия вращения, влияющего на аппараты равновесия и, в первую очередь, на лабиринтовый аппарат.

Сюда относится: 1) асимметрическое положение отдельных членов животного, с отклонением головы и всего туловища в сторону, причем направление находится в зависимости от направления предыдущего вращения;

2) расстройство координации движений и особенно стремление совершать вращательные движения, направление которого, подобно тому, как это было отмечено относительно положения животного, зависит от направления вращения.

Явления эти общеизвестны и не представляют ничего нового.

Можно только отметить, что эти явления начали проявляться при следующих скоростях вращения:

при опытах с максимальной скоростью вращения в течение 2“.

при об./мин.

у лягушек . . . . .	680
у птиц . . . . .	180
у млекопитающих . . . . .	160—100.

Таблица 2

Объект и № опыта	Радиус вращения	Продолжительность всего опыта	Максимальная скорость вращения	Максимальная перегрузка и ее продолжительность	
2 лягушки № 3 и 4 Оп. 4 и 5	1.07	1'15"	220	$\frac{48}{2''}$	Без изменений
2 лягушки № 1 и 2 Оп. 3	1.07	7'15"	200	$\frac{48}{5''}$	Обе в одинаковом состоянии лежат на спине, переворачиваются с трудом; прыжки неловки, задние лапы подтягиваются с трудом, при прыжках животные иногда падают на спину. Через $\frac{1}{2}$ часа возвращаются к норме
Лягушки № 7 и 8 . Оп. 38	0.28	1'30"	680	$\frac{148}{2''}$	Найдены: № 7 головой вверх, № 8 головой вниз. У обеих задние лапы раздвинуты. На полу медленно поворачиваются со спины. Через 10 минут оправляются
Лягушка № 11 . . . Оп. 43	0.27	1'20"	2000	$\frac{1200}{5''}$	Прыгает, резко отклоняясь вправо. Через час отклонений от нормы не заметно. На следующий день погибла
Чиж № 2 . . . . . Оп. 14	1.07	40"	180	$\frac{38.9}{2''}$	Без изменений
Чиж № 2 . . . . . Оп. 13	1.07	7'5"	180	$\frac{38.9}{5''}$	Сидит, склонившись на левую сторону, держит голову повернутой влево. Летать не может, но машет крыльями. Через 15 минут все явления ослабли
Голубь № 2 головой от центра . Оп. 36	0.97	6'	150	$\frac{23}{4''}$	№ 2 в коробке сидит на ногах, голова под левым крылом. На полу валится на голову.

(Продолжение)

Объект и № опыта	Радиус вращения	Продолжительность всего опыта	Максимальная скорость вращения	Максимальная перегрузка и ее продолжительность	
Голубь № 3 головой к центру . . . Оп. 36	0.97	6'	150	$\frac{23}{4'}$	№ 3 в коробке головой вниз. На полу вертится вокруг вертикальной оси вправо. Через 10 мин. оба в норме и летают
Две белые мыши № 1 и 2 . . . . . Оп. 6	1.07	1'	100	$\frac{12.0}{2''}$	Без изменений
Мышь № 3 . . . . . Оп. 8	1.07	1'20''	220	$\frac{58}{2''}$	Лежит на правом боку. Кровотечение из носа и рта. Правые конечности согнуты, левые разогнуты, последними животное старается отталкиваться, двигаясь в правую сторону. Поднятая за хвост двигает всеми лапками
Мышь № 4 . . . . . Оп. 9	1.07	7'	220	$\frac{30.7-58}{5'}$	Мертва. Мышь прижата в вертикальном положении к стенке головой вверх и брюшком к наружной стороне. Рот полуоткрытый, нижняя челюсть опущена. В дорзально-вентральном направлении, вся сплюснута Данные вскрытия: сердце переполнено венозной кровью; левая доля печени имеет на передней поверхности кровоизлияние
Кролик № 1 . . . . . Оп. 23	0.97	3'45''	100	$\frac{10}{2''}$	Посадка нормальная, небольшая отдышка, спокоен. Поворачивает голову вбок. В кабине туловище перпендикулярно радиусу
Кролик № 2 . . . . . Оп. 25	0.97	6'25''	145	$\frac{23}{2''}$	Головой вперед. Судороги клонические. Перекачивается на полу по часовой стрелке (если смотреть на пол). Через 3 мин. лежит на боку. Затем

(Продолжение)

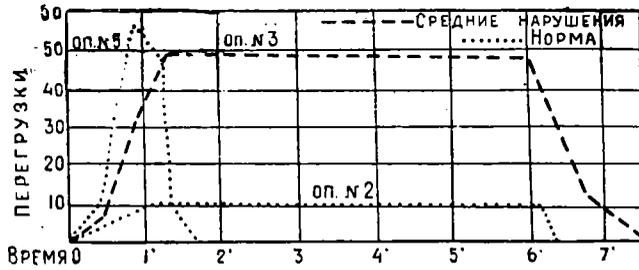
Объект и № опыта	Радиус вращения	Продолжительность всего опыта	Максимальная скорость вращения	Максимальная перегрузка и ее продолжительность	
					опять перекатывается. Стремится лежать на левом боку. Одышка
Кролик № 1 . . . Оп. 26	0.97	11/15''	100	$\frac{10}{6'}$	Мертв. Лежит хвостом вперед
Кролики № 3 и 4 . Оп. 34	0.97	1/55''	160	$\frac{28}{2''}$	У № 3 явления выражены сильнее. В коробке найдены: № 3 голова повернута в стороны движения. На рту немного крови. На полу: № 3 стремится лежать на левом боку, № 4 на правом. У обоих одышка и судорожные попытки встать. Оправились через 15 мин.
Кошка № 1 . . . Оп. 27	0.97	4/10''	100	$\frac{10}{2''}$	Почти норма
Та же кошка № 1 . Оп. 30	0.97	4/30''	160	$\frac{28}{2''}$	Лежит на левом боку головой вперед. Одышка. Испачкана мочей, прострация. Через 3 мин. пытается ходить, отклоняясь влево. На другой день норма

На появление явлений имела влияние продолжительность вращения.

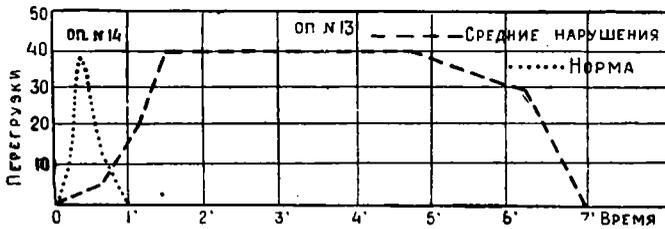
У лягушек 220 вращений в течение 2'' оставалось без влияния, а при 5' уже резко сказывалось на состоянии равновесия.

У птиц 18 оборотов в течение 2'' не вызывают изменений, а в течение 5' дают вполне ясную картину.

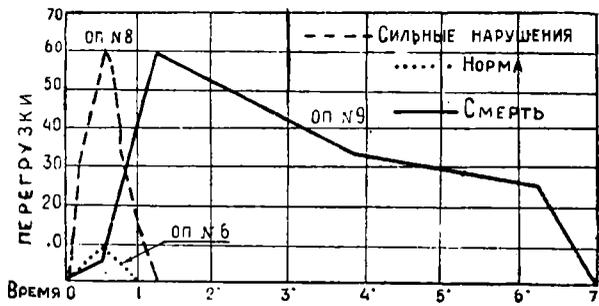
Что касается явлений, зависящих от перегрузки, то несомненно такими надо признать кровоизлияния, как наружные, так и внутренние, смерть животных во время опыта (мыши в опыте № 9 и кролика в опыте № 26), а также и в следующие за опытом сутки (лягушка оп. № 43).



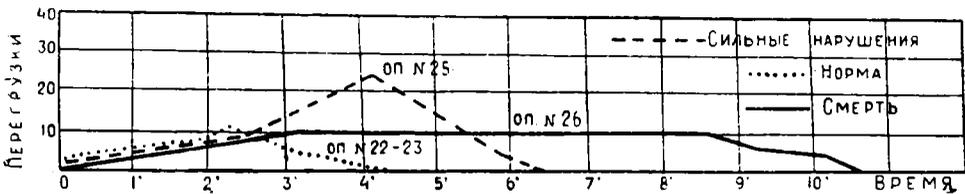
Фиг. 1. Лягушки.



Фиг. 2. Чижы.



Фиг. 3. Мыши.



Фиг. 4. Кролики.

Вероятно в связи с перегрузкой надо поставить также наблюдавшиеся у многих животных явления одышки, а равно судорог, которые легко объяснимы нарушениями кровообращения, вызываемыми перегрузкой.

При этом тут, равно как и при воздействии вращения, чрезвычайно большое значение имела продолжительность воздействия перегрузки.

Так, если перегрузка в 10 раз в течение 2'' переносится кроликом почти без отклонения от нормы (оп. 23), то эта же перегрузка в течение 6' ведет к смерти животного (оп. 26).

Если при обсуждении полученных данных ненормальные явления, зависящие от фактора вращения, затемняют явления, находящиеся в зависимости от перегрузки, то те опыты, в которых никаких отклонений от нормы не наблюдалось, позволяют смело утверждать, что перегрузка в данных опытах переносима для животного, так как очевидно, что фактор вращения ни в коем случае не мог ослабить влияния фактора перегрузки.

Исходя из этих соображений, мы на основании своих опытов можем указать на переносимость для животных следующих перегрузок:

Таблица 3.

Вид животных	Перегрузка	Ее продолжительность	Продолжительность всего опыта
Насекомые . . . . .	2500	1'	2'20''
Лягушки . . . . .	48	2''	1'15''
Птицы (чуж) . . . . .	38.9	2''	40''
Млекопитающие:			
мышь . . . . .	12	2''	1'
кролик . . . . .	10	2''	3'45''

Наши опыты были прерваны по независящим от нас причинам, и потому полученные данные являются далеко незаконченными.

Однако они позволяют сделать ряд выводов для постановки дальнейших опытов на животных и человеке.

1) Для изучения влияния перегрузки в зависимости от ускорения исследование при помощи центробежных машин вполне целесообразно; однако для сведения к минимуму влияния фактора вращения диаметр радиуса вращения у машин должен быть достаточно велик — не менее 5 м.

2) В виду того, что желательно исследовать перегрузку в опытах с человеком до 10 g, а в опытах на животных до 30 g, скорость вращения машины должна достигать 74 об./мин.

3) В виду значения быстроты нарастания и затухания угловой скорости, необходимы приспособления, дающие возможность регулирования скорости и вращения.

4) Для изучения влияния вращения на организм при различной центробежной силе — желательна, помимо изменения скорости вращения, иметь возможность помещать объект в различных расстояниях от центра вращения.

5) Для изучения влияния качки желательна устройство приспособления, воспроизводящего таковую.

6) Для изучения влияния добавочных факторов (положения тела,  $t^\circ$ , влажности, газового состава воздуха, атмосферного давления и т. п.) желательна устройство кабины с соответственным оборудованием.

При наличии такой машины, надлежащим образом построенной и оборудованной, проект чего был уже вполне разработан под руководством проф. Н. А. Рынина, можно было бы приступить к опытам по следующей программе:

1) Исследование влияния перегрузки силы тяжести как следствия положительного и отрицательного ускорения, а именно: а) исследование влияния различной перегрузки в течение различных промежутков времени; б) исследование влияния быстроты нарастания и затухания перегрузки; в) определение пределов переносимости.

2) Исследование влияния вращения, а именно: а) исследование значения быстроты вращения в течение различных промежутков времени; б) исследование влияния быстроты нарастания и затухания вращения; в) определение пределов переносимости,

3) Исследование влияния качки, а именно: а) исследование влияния амплитуды, б) исследование влияния ритма, в) исследование влияния продолжительности качки.

4) Исследование влияния комбинированного воздействия моментов, перечисленных выше в 1, 2 и 3 пунктах.

5) Исследование влияния добавочных условий на конечный результат, а именно: а) значение положения тела, б) значение  $t^\circ$ , в) значение атмосферного давления, г) значение газового состава воздуха и т. п.

6) Изучение болезненных симптомов, вызываемых перечисленными ненормальными условиями у человека и животных, и выяснение механизма возникновения этих симптомов.

7) Изучение мер, предотвращающих или ослабляющих вредный эффект, зависящий от указанных условий.

8) Изучение влияния рассматриваемых условий на функционирование приборов.

9) Изучение мер, предотвращающих или ослабляющих вредное воздействие рассматриваемых условий на приборы.



М. П. БРЕСТКИН

## РЕГУЛЯЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОТЫ И ВЛАГИ В ГОНДОЛЕ СТРАТОСТАТА

Наряду со снабжением стратонавтов кислородом регуляция содержания углекислоты в воздухе гондолы является одним из главных моментов в деле обеспечения физиологических условий для экипажа стратостата. Человек за 1 минуту выделяет в среднем около  $300 \text{ см}^3$  углекислоты. В естественных условиях выделенная углекислота моментально рассеивается в окружающем пространстве, и концентрация ее в атмосферном воздухе держится на очень низкой цифре —  $0.04\%$ .

Совсем иначе обстоит дело при пребывании людей в герметически закрытой гондоле с малым объемом воздуха: концентрация углекислоты в ней неудержимо растет и за короткий срок достигает больших величин. При  $2 \text{ м}^3$  воздуха, приходящегося в наших гондолах на 1 человека, уже через час после герметизации гондолы содержание углекислоты может достигнуть почти  $1\%$ . Такое резкое нарастание содержания углекислоты в воздухе делает условия существования экипажа стратостата крайне тяжелым и требует серьезного внимания при организации полетов в стратосферу.

Наша задача при проработке вопроса об обеспечении физиологических условий для экипажа стратостата в отношении углекислоты сводилась к выяснению влияния повышенных концентраций ее на организм и разработке методов удаления ее избытка из воздуха гондолы.

Приступая к решению этой задачи, мы имели возможность воспользоваться готовыми уже данными из литературных источников, так как вопрос о действии углекислоты на организм давно привлек внимание исследователей и этому делу посвящено не мало работ. Такой интерес к углекислоте, как фактору внешнего воздействия, вызывался как теоретическими соображениями, так и практическими требованиями при организации подводного плавания, при устройстве газоубежищ и т. п. Однако условия пребывания в герметически закрытой гондоле отличаются некоторыми особенностями (малый объем воздуха, приходящегося на человека и пониженное давление внутри гондолы), поэтому нам пришлось проверить, применительно к нашим задачам, имеющиеся уже в литературе по этому вопросу данные и провести ряд основных опытов. Опыты производились сначала в барокамере, а после в гондоле.

Результаты наших исследований вполне совпали с литературными данными, и влияние углекислоты на организм представляется в следующем виде. Увеличение концентрации углекислоты в воздухе до 3% переносится организмом совершенно свободно, и последний не испытывает каких-либо неудобств и неприятных субъективных ощущений. Объективно также не наблюдается неприятных отклонений от нормы. Выступает только сравнительно умеренное учащение дыхательных движений и они становятся более глубокими, что значительно увеличивает легочную вентиляцию. Это как раз и является компенсаторным механизмом, обеспечивающим организму нормальное выведение углекислоты, несмотря на ее избыток в воздухе. Дальнейшее повышение концентрации углекислоты влечет за собой наступление одышки, размеры вентиляции резко повышаются, появляется ряд неприятных субъективных ощущений и некоторые изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, выражающиеся в более редком пульсе и повышении кровяного давления из-за сужения сосудов. При концентрации углекислоты в 6% и более организм становится уже нетрудоспособным из-за нестерпимой одышки и крайне тяжелого самочувствия. В своих опытах мы не довели концентрацию выше 6,5%, но согласно литературным данным при концентрациях выше 10—12% наступает состояние наркоза, теряется чувствительность, исчезают рефлексy, тонус мускулатуры падает, температура понижается, и организм впадает в глубокий сон. Переход от вдыхания воздуха с большим содержанием углекислоты к нормальным условиям его газового состава вызывает быструю ликвидацию всех указанных явлений, и действие углекислоты проходит без всяких последствий. Это обстоятельство вызвало со стороны некоторых авторов предложение применять вдыхание воздуха с большим содержанием углекислоты в качестве наркотизирующего средства при хирургических операциях. Однако, очень большие концентрации (25% и более) могут оказаться далеко не безопасными и вызывают смертельный исход, причем смертельным является не столько само действие высоких концентраций, сколько переход от высокой концентрации углекислоты к низкой. В этом случае, как правило, наступают жестокие судороги, сопровождающиеся смертью.

Таково в общих чертах действие избытка углекислоты в воздухе на человека; однако, оценивая роль углекислоты только с точки зрения ее вреда для организма, мы окажемся крайне односторонними и не охватим целиком всего биологического значения ее. Углекислота не является только вредным и подлежащим немедленному удалению отбросом, но ей принадлежит также весьма большая положительная роль в жизненных процессах. Например, тот факт, что организм задерживает в крови большие количества углекислоты, указывает на то, что она является важной составной частью его. Кровь, подходящая к легким, содержит 48 объемных процентов углекислоты; кровь, отходящая от легких и совершившая обмен газов с воздухом, содержит тем не менее 40 объемных процентов, что

является вдвое большим, чем содержание кислорода; следовательно, в легких кровь отдает не всю углекислоту, а только небольшую часть. Если искусственной усиленной вентиляцией легких мы снизим содержание углекислоты, то организм ответит на это прекращением дыхательных движений, и последние возобновятся только после того, как процентное содержание ее в крови достигнет прежней цифры. Биологам известно, что углекислота является могучим регулятором дыхания и щелочно-кислотного равновесия крови, что крайне важно для жизнедеятельности тканей и клеток организма, но в широкой публике крепко утвердился взгляд, что углекислота является нашим извечным врагом, с которым необходимо всеми силами бороться.

Нам же иногда приходится не только заботиться об удалении, а, наоборот, добавлять углекислоту к вдыхаемому воздуху, что имеет место на больших высотах в открытой атмосфере, где даже дыхание чистым кислородом оказывается недостаточным, если к нему не добавлено известное количество углекислоты.

Из способов удаления углекислоты из воздуха самым ходовым и вполне действительным является поглощение ее едкими щелочами: последние применяются или в своем натуральном виде, или в виде препаратов, представляющих смесь щелочи с известью и некоторыми связывающими веществами (цемент и др.). Прибавление указанных веществ придает поглотителю мелкозернистый вид и большие удобства в обращении с ним. Поглощение производится путем протягивания воздуха через поглотитель при помощи вентиляционной системы. В условиях стратосферного полета к поглотительной системе предъявляются следующие требования. Система прежде всего должна иметь минимум веса и минимум объема, должна быть проста в обращении и надежна в действии. При полете наших стратостатов в качестве поглотителей был взят едкий натр в патронах „Аудос“, которые благодаря своему устройству имеют ряд ценных качеств. Едкий натр в мелких зернах расположен в них между большим количеством металлических сеточек, что обеспечивает большую поверхность поглощения, сводит к минимуму сопротивление току воздуха и устраняет спекание щелочи от влаги. Протягивание воздуха производилось при помощи по возможности облегченного вентилятора (в стратостате „Осоавиахим“ вентилятор был построен из дуралюминия). Вращение вентилятора производилось при помощи мотора, работающего от аккумуляторов, и на случай неполадок с мотором имелся ручной привод. Поглотительная система была испытана перед полетом в самой гондоле стратостата при длительном пребывании в ней людей. Этими опытами был установлен наиболее выгодный режим работы поглотительной системы, что дало полную возможность держать концентрацию углекислоты в гондоле на очень низкой цифре (1—0.5%). Помимо испытания поглотительной системы было произведено испытание экипажа на выносливость по отношению к углекислоте путем длительного пребывания

участников полета в герметически закрытой камере без поглощения из воздуха накапливающийся углекислоты.

Как показали опыты перед полетом, так и сами полеты, вопрос о регуляции содержания углекислоты в гондоле стратостата можно считать решенным.

Дальнейшая рационализация этого дела мыслится только в изыскании способов, обеспечивающих еще меньший вес и меньший объем материальной части поглотительной системы. В этом отношении представляет значительный интерес разработка способа применения щелочных металлов, которые при малом весе дают возможность не только поглощать углекислоту, но и снабжать экипаж кислородом, что превратит двухмоментную регуляцию газового состава воздуха гондолы в одномоментную.

Проблемой весьма большой важности при организации полетов в закрытой гондоле является регуляция влажности. Этот вопрос в настоящее время не разрешен, и при полетах как наших стратостатов, так и стратостатов Пикара воздух гондолы был полностью насыщен водяными парами, что создавало крайне неблагоприятные условия для экипажа и мешало работе ряда приборов. Попытка с нашей стороны применить для поглощения влаги известные химические поглотители: фосфорный ангидрид, серную кислоту и хлористый кальций в условиях гондолы стратостата не увенчалась успехом. Ввиду малого количества воздуха в гондоле и значительного выделения водяных паров экипажем при дыхании и испарении с кожи, влажность в гондоле растет необычайно быстро и за короткий период времени воздух оказывается полностью насыщен водяными парами. Для того, чтобы удалить влагу в этих условиях, требуется пропускать воздух гондолы через поглотитель с большой быстротой. При быстром токе воздуха в последний попадают мельчайшие частицы поглотителя, которые при дыхании могут оказаться в легких. Это обстоятельство поставило преграду для применения серной кислоты и фосфорного ангидрида, так как при попадании в легкие, эти вещества могли вызвать резкое раздражение дыхательных путей и воспалительные явления. Хлористый кальций, как вещество индифферентное, в этом отношении является безопасным и был нам предложен как поглотитель влаги при полете стратостата „Осоавиахим“. Но больших надежд мы на него не возлагали, так как поглотительная способность его при испытании в барокамере оказалась весьма средней и его пришлось дать только потому, что не было ничего лучшего. При полете стратостата, как и следовало ожидать, хлористый кальций пользы принес мало, и влажность в гондоле через короткое время достигла 100%. Убедившись в ненадежности химических поглотителей, мы совместно с инж. Ю. К. Юцевичем предложили удалять влагу физическим путем, а именно: конденсировать водяные пары путем пропускания воздуха гондолы через охлажденную камеру. Если поместить конденсационную камеру с теневой стороны гондолы во время полета, то вследствие низкой температуры в окружающей среде можно было рассчитывать

на большое охлаждение камеры. Пропуская через такую камеру воздух гондолы при помощи вентилятора, можно было ожидать полного удаления водяных паров из воздуха. Испытать эту систему вследствие малого времени, оставшегося до полета, нам не удалось и даже в случае благоприятных результатов ее при первом полете было невозможно использовать, так как это вызвало бы ряд конструктивных изменений для готовой уже гондолы. Остановив внимание Конференции на этом большом вопросе, я обращаюсь с призывом подумать и поработать на эту тему и надеюсь, что коллективная мысль создаст что-либо более ценное, чем то, что мы имеем в настоящее время.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Подробное изложение вопроса об обеспечении физиологических условий для экипажа стратостата „Осоавиахим-1“ см. в статье, напечатанной в сборн. „Медицинское обеспечение Воздушного флота“, изд. Воен.-Научн. к-та Лен. Обл. Осоавиахима, 1934 г.



А. АПОЛЛОНОВ, Х. ГУРВИЧ, В. В. СТРЕЛЬЦОВ

## САНИТАРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА СТРАТОСТАТА „СССР“

Физиологи, изучающие действие на организм разреженной атмосферы, считают, что подъем человека в открытой кабине на высоты больше 14 тыс. м не возможен даже при условии вдыхания при этом чистого кислорода. Это подтверждается большим количеством опытов в камерах низкого давления при разрежениях, соответствующих высотам 12, 13, 14 км. Особенно убедительны данные изучения состава альвеолярного воздуха на этих высотах, свидетельствующие о значительном недостатке кислорода. Как известно, по мере подъема на высоту в альвеолярном воздухе увеличивается процентное содержание углекислоты (тогда как парциальное давление ее уменьшается) и падает парциальное давление кислорода.

Так Jongbloed на высоте около 14 тыс. м., где общее атмосферное давление было равно 130 мм Hg, определил следующий состав альвеолярного воздуха у человека, вдыхающего почти чистый кислород.

Высота	Атмосферн. давл. в мм Hg	СО <sub>2</sub>		О <sub>2</sub>		Азот	
		%	п. давл.	%	п. давл.	%	п. давл.
13 500	130	32.26	26.8	51.72	42.9	16.02	19.3
14 000	124	38.05	29.3	55.85	43.0	6.10	4.7
14 000	124	41.7	32.1	54.81	42.2	3.49	2.7
14 000	124	38.82	29.9	54.04	41.6	7.14	5.5

При атмосферном давлении в 124 мм Hg парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе равно всего 42—43 мм Hg. Парциальное же давление кислорода в 50 мм Hg является минимальным, при котором достигается еще достаточная концентрация его в крови, обеспечивающая жизнедеятельность организма (Гендерсон, Баркрофт и др.). При этом нужно иметь в виду, что наряду с уменьшением величины насыщения крови кислородом неблагоприятное влияние на организм имеет само низкое атмосферное давление, низкая температура и т. д. Отсюда ясно, что для достижения высот свыше 14 тыс. м человеку необходимо изоли-

ровать себя от действия наружного атмосферного давления, прибегая к помощи герметически закрытой кабины на самолете, гондолы на стратостате или дирижабле, или к специальным костюмам типа водолазных скафандров, в которых поддерживается необходимая величина давления и этим самым предотвращается развитие аноксемии.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОТЫ

В герметической кабине, в которой живет человек, в результате процесса газообмена происходит постепенное изменение состава воздуха: уменьшается количество кислорода и накапливаются углекислота и водяные пары. В среднем человек, находящийся в покое, потребляет в 1 мин. 200—300 см<sup>3</sup> кислорода и выделяет несколько меньшее количество углекислоты.

При мышечной работе количество потребляемого кислорода и выделяемой углекислоты увеличивается в несколько раз. В частности, летчик во время полета потребляет до 500 см<sup>3</sup> кислорода в 1 мин. (Егоров) и, примерно, столько же выделяет углекислоты. За 1 час это составляет, примерно, около 30 л кислорода и несколько меньше углекислоты.

В замкнутом пространстве в 1.5 м<sup>3</sup> на одного человека в результате потребления кислорода и выделения углекислоты уже через 3 часа процент углекислоты увеличится до 6, а кислорода снизится до 15.

Холден наблюдал резко развивающуюся одышку, делающую невозможной работу, при вдыхании воздуха с 3<sup>0</sup>/<sub>0</sub> содержанием углекислоты. Высшим количеством углекислоты в воздухе, которое переносится человеком, считается 7—8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. (Du Bois, J. St. N. M. Bull., vol. XXVI, 1928 г.). Снижение процента кислорода с 20.9 до 15<sup>0</sup>/<sub>0</sub> так же уже не безразлично для организма. Таким образом, уже через 3 часа нахождение человека в ограниченном герметически замкнутом пространстве, равном 1.5 м<sup>3</sup>, становится невозможным; в этих условиях не только снижается работоспособность, но и возможна потеря сознания с угрозой для жизни. Отсюда настоятельная необходимость в подобных условиях производить очистку воздуха от углекислоты и пополнять убыль кислорода. Этот процесс носит название „регенерация воздуха“.

Разрешение вопроса о регенерации воздуха являлось одной из основных задач по санитарно-гигиеническому обеспечению полета стратостата „СССР“. От правильного разрешения этого вопроса зависело благополучное состояние участников полета и продолжительность их пребывания в гондоле. Необходимо было на практике установить величины накопления углекислоты и уменьшения кислорода, разработать методику удаления из воздуха углекислоты и выбрать наилучший поглотитель, избрать наиболее выгодный для полета способ возобновления кислорода, и, наконец, проверив все это в гондоле стратостата, снабдить участников полета указаниями по пользованию всеми регенерационными установками.

Для разрешения вопроса о действительных величинах накопления углекислоты и уменьшения кислорода при кубатуре, соответствующей емкости gondoly стратостата, был проделан ряд специальных опытов в камере низкого давления (барокамере).

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Опыты заключались в том, что в камеру помещались на срок от 4—6 час. два человека, близких по своему физическому развитию намеченным участникам полета. Предварительно в камере производилось разрежение, в среднем, до величин, соответствующих высоте 3 тыс. м. Это условие вводилось для наибольшего приближения условий опытов к подъему стратостата, так как кабину последнего предполагалось закрыть во время подъема на высоте 3 тыс. м. Время от времени из камеры брались пробы воздуха для анализа на содержание углекислоты и кислорода. Емкость камеры такова, что за вычетом объема воздуха, вытесняемого мебелью, приборами и т. д., на каждого человека приходилось по 1.5 м<sup>3</sup> воздуха. Приблизительно такая же кубатура на человека должна была приходиться и в gondole стратостата.

В одном из опытов за 3 час. 15 мин. произошло накопление углекислоты до 4.6%. За это же время содержание кислорода снизилось до 16.1%. Всего выделено 138 л углекислоты и использовано 150 л кислорода.

Если мы, приняв во внимание, что на одного человека имелось 1.5 м<sup>3</sup> воздуха, рассчитаем количество всей выделенной углекислоты и поглощаемого кислорода, то найдем, что за 1 час 1 человек выделил 21 л углекислоты и несколько более потребил кислорода—24 л. Приблизительно такие же величины для углекислоты и кислорода наблюдались и в других опытах. Колебания в ту или другую сторону имели место и всецело зависели от состояния организма испытуемых во время опытов, обуславливавшего большее или меньшее потребление кислорода и выделение углекислоты. Применяя найденные нами величины к условиям пребывания в gondole, мы должны были в результате первой серии опытов прийти к следующим основным выводам:

1) Для сохранения благоприятных условий пребывания в gondole стратостата 3 человек необходимо было добавлять в воздух gondoly не менее 70 л кислорода за 1 час.

2) Обеспечивать удаление из воздуха 63 л углекислоты в 1 час.

#### СНАБЖЕНИЕ КИСЛОРОДОМ

Для решения вопроса о снабжении кислородом было намечено к использованию два способа. Наиболее простой способ заключался в установке в gondole стратостата стальных баллонов с сжатым кислородом и выпуске кислорода по мере надобности. Определение величин потребления кислорода, произведенные в первой серии опытов, показали необхо-

димось в 70 л кислорода в 1 час на 3 человек. Исходя из расчета потребности кислорода на 10 час. полета, а также необходимости наличия запаса кислорода для поддержки давления в гондоле на случай ее недостаточной герметичности, необходимо было иметь запас кислорода почти равный чистому объему гондолы, т. е. около 5000 л. Пользуясь 4-литровыми баллонами с кислородом под 150 атм. давления, следовало иметь 8 баллонов. Такое решение вопроса было неприемлемо, так как 8 баллонов являлись грузом в 100 кг. Поэтому было решено оставить на случай недостаточной герметичности гондолы только 3 баллона со сжатым кислородом. Весь остальной запас кислорода заменить жидким, налитым в металлический Дьюаровский сосуд с испарителем. Это давало большое преимущество в весе, так как весь прибор с 3 кг жидкого кислорода весил всего около 9 кг. В то же время 3 кг жидкого кислорода при своем испарении дают около 3000 л газообразного кислорода. Анализ газообразного кислорода показал, что он не имеет примеси углекислоты и содержит 95% кислорода. Дьюаровский сосуд был испытан на величину подачи газообразного кислорода при различных степенях испарения. Был установлен режим подачи кислорода, равный 1 л в 1 мин.

В конечном итоге, в гондоле было поставлено три 4-литровых баллона со сжатым до 150 атм. кислородом (всего 1800 л кислорода), снабженных приборами индивидуального использования. Этим кислородом должны были пользоваться в случае неполной герметичности гондолы. Кроме того, было взято 3 кг жидкого кислорода. Участники полета были обучены обращению как с кислородным прибором, работающим на сжатом кислороде, так и с прибором жидкого кислорода. В отношении работы последнего была дана инструкция, согласно которой они должны были выпускать кислород так, чтобы в гондоле все время поддерживалось постоянное давление. Для наблюдения за давлением в гондоле во время подъема, по нашему настоянию, был установлен барограф. Барограф, следовательно, являясь „указателем“ величины добавления кислорода в гондоле, в то же самое время мог быть использован для определения ее герметичности.

#### УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОЗДУХА УГЛЕКИСЛОТЫ

Как уже указывалось, нам предстояло обеспечить удаление из воздуха гондолы не менее чем 63 л углекислоты. Для этого необходимо было выбрать наилучший способ вентиляции воздуха, а также и поглотитель  $\text{CO}_2$ . Сущность способа заключается в том, что с помощью воздуходувного вентилятора воздух прогоняется через патрон, наполненный различно приготовленной натронной известью или другими поглотителями. Нами была для регенерации воздуха использована небольшая вентиляционная установка. Эта установка представляет собою электрический вентилятор, крылатка которого заключена в герметический футляр. Последний

соединен с металлическим герметическим коробом с отростками для насадки коробок с поглотителем углекислоты. Испытание установки было произведено в камере низкого давления. Одновременно производилась оценка поглотителей углекислоты, для чего в камере повышалось содержание углекислоты до 3.5%.

За 3 час. 10 мин. непрерывной работы установки процент углекислоты в камере снизился с 3.45 до 1.6%. По расчетам выходит, что за все время поглотитель „убрал“ 66.8 л углекислоты. Рассчитывая величину „уборки“ по часам, находим, что в начале работы установки поглощалось 24 л углекислоты в час, затем 24.8 и, наконец, только 13 л.

Проверка поглотителя была проведена также в опытах с присутствием в камере 2 человек и дала вполне удовлетворительные результаты. Специально поставленными опытами нами было установлено необходимое количество патронов и сроки действия вентиляционной установки с расчетом на часовой полет.

В результате всей проделанной лабораторной работы мы пришли к следующим выводам:

1) Для удаления из воздуха углекислоты используется вентиляционная установка, работающая с 5 патронами по 20 мин. в течение 1 часа.

2) Поскольку поглотительная способность патронов ухудшается после часовой работы, смена патронов должна производиться после 6-кратного пуска. По остывании патроны могут быть использованы повторно. Работа поглотителя при этих условиях идет настолько четко, что от снабжения какими-либо установками для определения содержания углекислоты было решено отказаться, тем более, что подобные установки обычно очень хрупки и легко бьются.

Результаты, полученные в камере, были проверены специальными опытами в гондоле стратостата. Всего было проведено 3 проверочных опыта продолжительностью 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> часа, 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> часа и 10 час. Во время опытов в герметически закрытой гондоле находилось по 3 человека.

Все полученные ранее в лабораторной обстановке данные были нацело подтверждены этой группой опытов. Интересно отметить изменение температуры воздуха гондолы. Так, в одном опыте температура, вначале равная 16.5° С, через 7 час. поднялась до 23° С. В дальнейшем в связи с утренним похолоданием она упала до 22.5° С.

На время полета экипаж стратостата был снабжен специальной инструкцией, содержащей нормы и правила пользования установкой для удаления углекислоты, и прибором с жидким кислородом. Инструкция была наклеена на соответствующие установки.

Гондола была снабжена запасом поглотителя углекислоты, обеспечивающим продолжительность полета в 18 час. Запас кислорода выражался в 1800 л сжатого и в 3 л жидкого, т. е. при условии герметичности кабины кислорода должно было хватить на 60 час.

### ПОДГОТОВКА ЭКИПАЖА СТРАТОСТАТА К ПОЛЕТУ

В порядке подготовки к полету на стратостате экипажа должно было произвести тренировочные свободные полеты на высоту до 13 тыс. м. Это выдвигало вопрос о необходимости тренировки участников в камере низкого давления. В связи с предстоящей тренировкой все кандидаты на полет в стратостате были осмотрены врачебной комиссией на предмет определения их годности к высотным подъемам. В продолжении тренировки и подготовительного к подъему периода все были обеспечены специальным усиленным питанием. С 21 VI началась систематическая тренировка в камере низкого давления.

На высоту свыше 6 тыс. м подъемы производились с дачей дополнительного кислорода. В это же время производилось обучение пользованию кислородным прибором.

Во время подъема тренирующиеся подвергались физиологическим обследованиям. У них изучался газообмен, состав альвеолярного воздуха, пульс и дыхание, а также реакция, бикарбонаты и фосфор мочи. Кратко резюмируя результаты исследований, мы отмечаем увеличение жизненной емкости легких, уменьшение потребления кислорода и выделения углекислоты на высоте. Парциальное давление как кислорода, так и углекислоты в альвеолярном воздухе и на 5 и на 6 тыс. м уменьшено. Наблюдается небольшое учащение пульса и дыхания. Моча под влиянием пребывания на высоте становится щелочнее за счет выведенных бикарбонатов. Выделение фосфора с мочей у большинства на 9 тыс. м увеличилось, на высоте же в 5 тыс. м оно, как правило, уменьшалось. Эти данные показывают, что тренирующиеся переносили высоту относительно хорошо; даже часовое пребывание на высоте 6 тыс. м без кислородных приборов не вызывало заметного снижения работоспособности. Помимо некоторого втягивания организма в условия пребывания в разреженной атмосфере, тренировка обеспечивала и знакомство самих тренирующихся с их состоянием на различных высотах, что было необходимо на случай недостаточной герметичности gondoly стратостата.

### ПОДГОТОВКА ЭКИПАЖА К ОТЛЕТУ

За некоторое время до отлета уже определившемуся экипажу стратостата гг. Прокофьеву, Бирнбауму и Годунову был предоставлен отдых. На аэродроме была оборудована комната отдыха, где экипаж мог в покое провести время перед отлетом, пока шла подготовка старта. Перед посадкой все трое получили завтрак.

На время полета имелся суточный запас пищи, состоявший из 200 г жареного мяса, небольшого количества белого хлеба, 1 кг специально приготовленного сладкого жирного печенья и 200 г шоколада на человека. Для утоления жажды был запас в термосах кофе, чая и кипяченой воды по 1 л на человека. На случай посадки в малонасе-

ленной местности, в гондоле имелся неприкосновенный пищевой запас из расчета на 3 суток. Перед отлетом были даны фрукты: апельсины, мандарины. В гондолу был помещен небольшой запас медикаментов и перевязочного материала для оказания первой помощи в случае ранений, ушибов и т. д.

В качестве мочеприемников были взяты резиновые мешки, употребляемые обычно как грелки. Полет показал, что подобные мочеприемники оправдали свое назначение.

Поскольку полет не должен был быть продолжительным, для сбора испражнений в гондоле приспособлений не было. Врачебные наблюдения за нормальным отпращиванием кишечника, специально подобранный состав пищи и питья давали возможность предполагать, что надобности в специальном устройстве для сбора кала в данном полете не будет.

Для предохранения во время полета от холода было рекомендовано теплое шерстяное белье и на случай сильного похолодания — шерстяные комбинезоны. От зимних меховых комбинезонов решено было отказаться.

Состоявшийся 30 сентября 1933 г. полет показал, что самочувствие экипажа в гондоле стратостата все время было исключительно хорошее.

Вышеперечисленные санитарные мероприятия несомненно сыграли в этом решающую роль.

---



В. В. СТРЕЛЬЦОВ

## СНАБЖЕНИЕ СТРАТОНАВТОВ КИСЛОРОДОМ

Изучение верхних слоев атмосферы стало осуществляться 150 лет тому назад. За дерзкие для того времени попытки наука понесла серьезные утраты. Несмотря на то, что отважные исследователи, снаряжаясь на высоту, знали, что необходимо брать с собой запас кислорода, тем не менее, при достижении высот порядка 8—9—10 км гибли именно от его недостатка из-за несовершенства кислородных приборов. При полете трех французских ученых в 1875 г. (Crocé-Spinelli, Sivel et Tissandier) из трех двое вернулись на землю мертвыми.

Процентное содержание кислорода в стратосфере на высоте 20 км остается тем же самым, что и на уровне моря т. е. около 21%, тем не менее человек погибает на высоте порядка 8—9 км при явлениях асфиксии. Существо дела не в процентном отношении, а в парциальном давлении кислорода. На высотах порядка 7—8—9 км уже имеется резкое снижение парциального давления кислорода. Если на уровне моря парциальное давление кислорода равно 160 мм, то на высоте 6 тыс. м мы имеем только 80 мм. Само собою разумеется, что явления аноксемии (кислородного голодания) давно привлекали внимание исследователей и были довольно подробно и обстоятельно изучены. Явления аноксемии проявляются уже на высоте порядка 4—6 км. При быстром подъеме уже с 4 км заметно увеличивается в единицу времени объем вдыхаемого воздуха. Гипервентиляция возрастает на 8—9 тыс. м до 35—40 л в 1 мин. против 6—7 м на у. м. Начинаются судороги, лицо и губы синеют, кровь в артериях ничем не отличается от венозной, наблюдаются явления помрачения сознания, и смерть наступает в тяжких судорогах на высоте около 9—9.5 тыс. м. Эти явления очень хорошо изучены. В Америке и в Европе имеется большое количество высокогорных станций для изучения высотной болезни, имеются большие специальные камеры с пониженным давлением, барокамеры и термо-барокамеры, воспроизводящие как понижение температуры, так и понижение давления, в которых очень тщательно изучается состояние организма в этих условиях.

К сожалению, нужно отметить, что у нас не имеется ни высокогорных станций, ни специальных лабораторий, оборудованных камерами с пониженным давлением и пониженной температурой.

В течение последних двух лет нам пришлось работать в камере пониженного давления, дающей возможность воспроизводить условия подъема до 13—14 км над у. м. Мы наблюдали серьезные изменения деятельности человеческого организма, которые охватывают все системы органов и ведут к глубокому нарушению и извращению обмена веществ. Это заставляет вносить поправки в пищевой режим летчика и принимать ряд профилактических мероприятий. Наиболее существенны и интересны изменения в центральной нервной системе. Коварство этих изменений состоит в том, что человек в состоянии аноксемии теряет способность критической оценки собственного состояния, не отдает отчета о своих поступках, чувствует себя субъективно хорошо, находясь фактически в тяжелом состоянии, быстро переходящем в обморок.

Есть хорошо тренированные летчики, которые без кислородных приборов достигают высоты 7—7.5 тыс. м и затем быстро спускаются вниз. Производить серьезную работу на этих высотах сколько-нибудь длительно нельзя. Для сохранения работоспособности на высотах, превышающих 5000 м, необходимо вдыхание кислорода из специальных кислородных приборов.

Спрашивается, до каких высот обеспечит кислород работоспособность на высоте. Этот вопрос давно занимал физиологов, и надо отдать справедливость Сеченову, который на основании экспериментов и теоретических подсчетов пришел к заключению, что для человека „потолок“ при условии вдыхания чистого кислорода лежит на высоте 13.5—14 тыс. м. На высоте около 16 тыс. м атмосферное давление равно 100 мм Hg. Здесь, даже при вдыхании чистого кислорода, жизнь совершенно невозможна. В чем же дело? Нужно припомнить, что кислород, который мы вдыхаем под давлением 100 мм Hg, а мы не можем вдыхать его под большим давлением, он не попадает в чистом виде в наши легкие, потому что в них имеются водяные пары, насыщающие пространство при температуре около 38° и на долю которых приходится 47 мм Hg. Итак, из 100 мм давления нужно вычесть эти 47 мм. Кроме того, в легких имеется определенное напряжение на углекислоту, равное 30—40 мм, и азота — 7—10 мм. Следовательно, мы можем дышать чистым кислородом, а альвеолярный воздух будет состоять из водяных паров и углекислоты и только крайне ничтожного количества кислорода. При давлении 50 мм Hg, на высоте около 22 тыс. м, можно „купаться“ в чистом кислороде, но в легких, кроме водяных паров, ничего не будет, и поэтому неизбежна моментальная смерть от задушения.

Следовательно, снабжение кислородом обеспечивает свободный полет, т. е. такой полет, при котором мы вдыхаем кислород под давлением, соответствующим давлению на данной высоте, в пределах 13—14 км. На этих высотах необходимы кислородные приборы типа изолирующих противогазов. Вообще кислородные приборы делятся на два типа: на приборы только добавляющие кислород к вдыхаемому воздуху и на приборы, кото-

рые нацело изолируют от внешней среды, обеспечивая дыхание в замкнутом пространстве.

Очень часто задают вопрос, не вызывает ли вдыхание чистого кислорода каких-либо вредных последствий? Вдыхание кислорода является противопоказанным только в том случае, когда дышат им под повышенным давлением, например при спуске водолазов под воду. При давлении меньшем, чем атмосферное, можно дышать чистым кислородом длительное время.

Перед нами и в еще большей мере перед физиками, химиками и техниками стоит весьма ответственная задача, о которой как раз место говорит здесь: задача создания наиболее удобных, портативных запасов кислорода для подъема на высоту. Если брать кислород в стальных баллонах, то получается много „мертвого“ груза. Нужно изыскивать другие источники. Одним из таких источников является жидкий кислород, которым были обеспечены полеты стратостатов „Осоавиахим“ и „СССР“. Это чрезвычайно выгодная форма запаса, ибо 1 л жидкого кислорода дает свыше 800 л газообразного 95-процентного кислорода. Это большое удобство, но не во всех случаях, так как получение, перевозка и хранение жидкого кислорода представляют довольно сложную задачу. Физикам и химикам предстоит разрешить большую задачу по подысканию источников кислорода, которые были бы наиболее транспортабельными. Один из институтов в Ленинграде эту задачу более или менее полно разрешил, и был получен состав, который при подогревании освобождает из 1 кг брикета 350 л кислорода.

Есть способ получения  $O_2$  из перекисей легких металлов (натрия, калия) при взаимодействии их с водой (водяными парами выдыхаемого воздуха). Это далеко еще не все. По всей вероятности возможны ряды других источников кислорода. Здесь изобретательской мысли предоставляется широкое поле деятельности.

Итак, для высоты 12—13 км и выше нужна полная герметичность кабины для того, чтобы сохранить величину парциального давления кислорода. Отсюда вытекает необходимость конструкции герметической гондолы стратостатов, герметически закрытых кабин стратопланов, проекты которых мы часто видим в иностранных журналах. Есть еще одна возможность, которую, правда, предвидел еще Жюль Верн и о возможности которой более обстоятельно говорил Холден в своей классической монографии „Respiration“ — это костюм типа водолазных скафандров. Мы имели возможность испытать на себе такой костюм при 14 тыс. м над у. м., и он прекрасно выдерживал испытание. Конструкторская мысль должна быть направлена на то, чтобы обеспечить возможность полета в стратосферу в костюмах типа водолазных скафандров.

Перед нами стоят большие задачи, к разрешению которых необходимо привлечь наиболее квалифицированные силы нашей страны. Естественно, что Академия Наук должна взять на себя централизованное руководство

этой работой, для обеспечения которой необходимо устройство специальной лаборатории, воспроизводящей низкие давления и низкие температуры. Необходимы большие лабораторные работы в химических и физических лабораториях по изысканию наиболее концентрированных и портативных запасов кислорода. Необходима организация высокогорных станций хотя бы на высоте 5 км, потому что эта высота даст возможность разобраться с физиологической точки зрения во многих сторонах дела. Необходимо иметь возможность систематически вести исследовательскую работу на высоте порядка 10 км на сферических аэростатах. Постоянное централизованное руководство и забота об обеспечении этих работ со стороны Академии Наук — залог успеха в овладении стратосферой.

---

## **ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ**



Н. А. РЫНИН

## МЕТОДЫ ОСВОЕНИЯ СТРАТОСФЕРЫ

### ВВЕДЕНИЕ

В 1783 г. братья Монгольфье во Франции положили начало завоеванию человеком воздушного океана. 5 июня 1783 г. они пустили в воздух свой первый воздушный шар — монгольфьер. Событие это произошло в г. Аннонэ на юге Франции. Шар имел объем всего лишь  $750 \text{ м}^3$  при диаметре около 11.5 м и поднялся он на высоту до 2 км.

21 ноября того же года на подобном же монгольфьере, но уже больших размеров (объем около  $2000 \text{ м}^3$ ) поднялись из Парижа и первые пассажиры Пилатр де Розье и маркиз д'Арлан.

Трудно описать энтузиазм, охвативший людей того времени, когда они узнали об этом событии, или, в особенности, когда они увидели воочию первый полет человека.

Казалось, что человек уже покорил воздушный океан и может переноситься в нем куда и когда угодно.

Однако прошли года, и действительность показала, что завоевание этого океана дается не так-то легко. Во-первых, человеку сделался доступным лишь нижний слой воздуха, во-вторых, стало ясно, что полеты в желаемом направлении и борьба с воздушными течениями возможны лишь при наличии на воздушном судне мощного двигателя с винтами.

Менялись социальные формации, эпохи, и, наконец, был изобретен и поставлен на воздушное судно требуемый двигатель. Появились аэропланы и дирижабли.

Со времени изобретения этих первых летательных аппаратов человеческая мысль и энергия стремятся достичь все более высоких слоев воздушного океана. Не взирая на то, что подъем в стратосферу (слой атмосферы, лежащий выше 10—12 км от земли) сопряжен с целым рядом трудностей и прямой опасностью для жизни пилотов, попытки подъема не только не прекращались, но с каждым годом учащались, техника снаряжения и оборудования совершенствовалась и продолжает совершенствоваться далее. Сравнительно малая изученность стратосферы по сравнению с тропосферой (слой атмосферы, лежащий до 10 км) толкает десятки стран и сотни ученых к смелым и часто оканчивающимся трагически по-

пыткам подняться вверх, на высоту, где никогда „не ступала нога человеческая“.

Завоевание высших слоев атмосферы, однако, представляет не только чисто научный интерес. Известно, что еще в империалистическую войну немцы имели суперартиллерию, т. е. пушки, стрелявшие на 80—100 км и более. Снаряды этих пушек при этом описывали огромную траекторию, поднимаясь на высоту нескольких десятков километров над землей, т. е. совершали свой полет в таких слоях атмосферы, где давление и, следовательно, сопротивление среды во много раз менее нормального. Естественно, что снаряд, летящий в столь разреженной среде, испытывает ничтожное сопротивление со стороны последней, благодаря чему и достигается колоссальная дальность и скорость полета. Империалистические планы капиталистических стран, бесспорно, включают в себя далеко не научные работы по созданию суперавиации и суперартиллерии (самолетов, воздушных кораблей, сверхдальнобойных орудий и т. п.), приспособленных для оперирования в верхних слоях атмосферы на высотах порядка десятков километров. Этим достигается скорость полета, доходящая до  $1\frac{1}{2}$ —2 тыс. км в час, огромный радиус действия, мобильность (подвижность) и преобладание над врагом.

С целью выяснения целого ряда научных вопросов (ионизация воздуха, воздушные течения, изучение скоростей полета и т. д.) разными странами были предприняты десятки экспедиций и попыток проникновения в „заповедные“ уголки воздушного океана.

Эти теоретические и практические работы (особенно последних лет) привлекли к себе пристальное внимание всех стран. Рекорды высоты, достигнутые за последние годы проф. Пикаром, еще больше увеличили желание ряда стран овладеть высотами атмосферы, т. е. стратосферой. Она была недоступна бр. Монгольфье, но теперь, по прошествии 150 лет, человек уже может завоевать стратосферу и делает это.

Полет в стратосфере тесно связан с проблемой скорости. Борьба же за скорость полета ведется сейчас во всех странах. Сюда включается сверхскоростной транспорт на воде, по шоссе, по железным дорогам и, наконец, в воздухе. По воде уже теперь несутся глиссеры на поплавках или наклонных поверхностях (реданах), развивая скорость до 240 км/час, по шоссе автомобили развивают скорость до 450 км/час, сверхскоростной транспорт по специальным земным путям обещает дать скорость до 350 км/час. Наконец, самолеты в воздухе дали уже скорость 709 км/час. (Италия). Еще большую скорость могут развить ракеты, переносясь в воздухе и даже в безвоздушном пространстве со скоростями, значительно превышающими вышеупомянутые.

Однако, при передвижении в воздухе, последний представляет большое сопротивление, и тем большее, чем больше скорость полета. При скоростях полета меньше звука (300 м/сек.—1080 км/час.) сопротивление возрастает пропорционально квадрату скорости, а необходимая для по-

лета мощность — пропорционально кубу скорости. Например, если бы мы захотели увеличить скорость полета втрое, то сопротивление воздуха возросло бы в девять раз, а мотор потребовался бы в двадцать семь раз более мощный.

При скорости же полета больше скорости звука дело будет обстоять еще сложнее. Так как сопротивление воздуха будет тем меньше, чем меньше плотность его, то и возникла мысль совершать полеты там, где эта плотность мала, т. е. в высших слоях атмосферы. В тропосфере плотность, а следовательно и сопротивление воздуха велики, и в ней пока и приходится совершать полеты. В стратосфере же воздух разрежен и чем выше, тем сильнее, и здесь можно было бы достичь значительных скоростей полета, порядка 1500—3000 км/час и даже более.

Для полета в стратосфере уже предложены и частично осуществлены идеи судов следующих типов: стратостаты, стратодирижабли, стратогеликоптеры, стратопарашюты, стратопланы и ракеты. Описанию этих аппаратов посвящена эта работа. Однако, будет ли применен тот или другой вид быстрого транспорта, во всяком случае он будет иметь место в стратосфере, и потому исследовать ее крайне необходимо уже сейчас.

Содержание настоящей работы следующее: сначала дается общее понятие о стратосфере и ее свойствах, и делается общий обзор методов ее освоения и изучения, затем в последовательном порядке описываются различные вышепоименованные летательные аппараты, предназначенные для полета в ней человека.

## СТРАТОСФЕРА

Слой воздуха, окружающего земной шар, называется атмосферой. Последняя, по высоте, делится обыкновенно на две главные части: тропосферу и стратосферу.

В тропосфере, как показывает ее название (от греческого слова *τροπή* — поворот), происходит перемешивание воздуха. Здесь образуются облака, происходят вертикальные и горизонтальные перемещения воздуха — ветры, имеют место бури, грозы, дожди, снега, имеется значительное количество влаги. В тропосфере температура, как правило, понижается с высотой приблизительно на  $6^{\circ}\text{C}$  на 1 км.

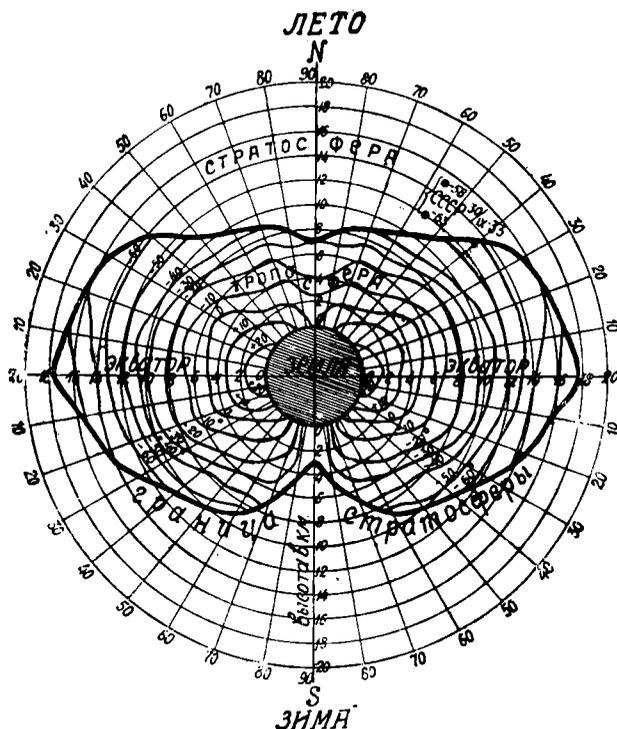
Следующий по высоте слой атмосферы, где падение температуры прекращается и где даже она повышается,<sup>1</sup> называется стратосферой.<sup>2</sup>

Стратосфера (от латинского слова *stratus* — слой) характеризуется почти полным отсутствием облаков. Последние бывают лишь в нижней ее части.

<sup>1</sup> Явление повышения температуры воздуха с высотой называется „инверсией“.

<sup>2</sup> Некоторые авторы вводят еще понятие о тропопаузе, переходном слое между тропосферой и стратосферой, а стратосферой они называют слой, где прекращается падение температуры с высотой.

На фиг. 1 изображен разрез атмосферы и земного шара по его оси и показаны: линии равных температур (изотермы) в тропосфере, граница стратосферы на разных широтах и область стратосферы над горизонталью, проходящей через центр земли, над нею — для лета, под нею — для зимы. Как видно из этой фигуры, нижняя граница стратосферы колеблется по



Фиг. 1. Граница стратосферы и изотермы в тропосфере на разных широтах зимой и летом.

Как правило, чем выше начинается стратосфера, тем ниже ее температура (см. фиг. 1). На фиг. 1 крестиками обозначены точки, соответствующие данным полета стратостата СССР.

Состав воздуха с высотой изменяется.

У поверхности земли имеем: азота 77.08%, кислорода 20.75%, углекислоты 0.03%, водорода 0.01%, аргона 0.93% и водяных паров 1.20%.

По опытам, сделанным при полете стратостата „СССР“, на высоте 18.5 км (кислорода 20.95%, азота 38.13%, аргона и других газов 0.95% по объему).

Углекислота кончается на высоте 30 км (0.01%), аргон — на 70 км (0.00%), водяные пары — на 110 км (0.02%), кислород — на 110 км (0.02%), гелий начинается на 30 км — (0.01%), достигая максимума на 90 км (1.36%). На высоте 140 км имеем водорода 39.15%, гелия 0.84% и азота 0.01%.

Интересно отметить, что на высоте 62 км состав в воздухе водорода (13%) и кислорода (6%) соответствует гремучему газу, что дало по-

высоте в зависимости от времени года и широты места.

Выше всего она на экваторе (18 км) и ниже всего на полюсе (3 км). В среднем высота нижнего слоя стратосферы равна около 10 км.

Температура воздуха, изменение которой и характеризует стратосферу, понижается в тропосфере над экватором до  $-80^{\circ}$  и над полюсом до  $-30^{\circ}$  С. Выше же, в стратосфере, она прекращает падение и начинает повышаться. Вообще же колебания температуры с высотой меняются и от времени года, и от широты, и даже по дням.

вод некоторым исследователям предполагать возможным полет самолета на этой высоте, употребляя засасываемый компрессорами наружный воздух как горючее.

Следует, однако, заметить, что выше 30 км атмосфера изучена весьма мало. Существует лишь ряд предположений о ее составе. Например, на высоте 50 км предполагается слой озона толщиной от 2 до 4 мм, на высоте 100—130 км — ионизированный слой Хэвисайда, отражающий радио- и звуковые волны и т. д.

Ветер в стратосфере. Вообще говоря, скорость ветра в тропосфере с высотой возрастает, достигая максимума у нижней границы стратосферы, а далее — падает. Максимальная скорость ветра доходила до 19 м/сек. на высоте 10 км. Наблюдения над движением светящихся облаков и хвостов метеоритов показывают, что на высоте 80—90 км скорости ветра могут достигать величины от 57 до 308 м/сек. Направление ветра с высотой определялось еще лишь в немногих местах. Например, в Германии оно до высоты в 16 км является преобладающим WNW, на высотах же 82—83 км оно наблюдалось: E, SO и NE на высоте 120 км.

#### ОБЩИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СТРАТОСФЕРЫ

Начало стратосферы, в зависимости от широты места, находится от поверхности земли на высоте от 3 км (полюс и зима) до 18 км (экватор). Температура воздуха в стратосфере может колебаться от —30 до —80°C. Скорость ветра в ней может достигать до 309 м/сек., интенсивность космических лучей — до 345 ионов в см<sup>3</sup>/сек., давление колеблется от 400 (на 5 км) до 0.004 мм (на 140 км), состав воздуха на высоте 15 км — азот, кислород, водяные пары, аргон и углекислота, на высоте 30 км — азот, кислород, гелий, водяные пары. На высоте 100 км — водород, гелий, кислород и водяные пары. Наконец, на 140 км — водород и гелий. В зависимости от этих свойств стратосферы для изучения ее применяются разные методы, которые мы можем разделить на 3 главные группы:

I. Изучение стратосферы с земли (стратоземный метод).

II. Изучение ее приборами, направляемыми в нее без человека (метод стратоприборов).

III. Изучение ее приборами, отправляемыми в нее с человеком (метод стратонавтов).

В каждой из этих групп применяются разные способы, сгруппированные в табл. 1.

Рассмотрим эти методы сначала в общих чертах.

#### I. Стратоземный метод.

1. Наблюдения за облаками. а) Облака, изверженные вулканами. Толчком, послужившим к применению этого метода, было знаменитое извержение вулкана Кракатау в 1883 г., когда продукты

Таблица 1

## Методы изучения и освоения стратосферы

I. Стратоземный метод	II. Метод стратоприборов	III. Метод стратонавтов
1. Наблюдения за облаками а) изверженными вулканами б) ирризирующими в) светящимися 2. Звуковые волны а) от вулканов б) от взрывов в) от стрельбы 3. Радио-волны 4. Метеориты а) светящиеся хвосты б) дымовые хвосты 5. Оптические методы а) солнечная радиация б) влияние луны в) затмения солнца и луны г) свечение неба д) наблюдения над светом солнца и звезд е) полярные сияния ж) зодиакальный свет з) сумерки и) луч прожектора к) фотохимический метод	1. Шары-пилоты 2. Шары-зонды 3. Радио-зонды 4. Искусственные дымовые облака 5. Снаряды 6. Ракеты 7. Стратопланы-автоматы а) винтомоторные б) ракетные	1. Стратостаты а) с открытой гондолой б) с закрытой " " в) с гондолой смешанного типа 2. Стратодирिжабли 3. Стратопланы с открытой или закрытой кабиной а) винтомоторные б) смешанные или полу-реактивные в) ракетопланы 4. Стратогеликоптеры 5. Ракеты а) на твердом топливе б) на жидком " " 6. Стратопараюты

извержения в виде облака поднялись на высоту около 75 км. Наблюдения за высотой и скоростью передвижения таких облаков позволяют судить о направлении и скорости ветра в этих областях.

б) Ирризирующие облака. Они являются подобными нижеупомянутым светящимся облакам, но в отличие от последних располагаются на более низкой высоте (около 25—30 км). По наблюдениям Стермера скорость их передвижения достигала до 75 м/сек.

в) Светящиеся облака. Они наблюдаются перед восходом и после захода солнца. Их высота колеблется от 50 до 90 км и скорость передвижения от 57 до 308 м/сек. Имеется целый ряд гипотез о составе атмосферы в области этих облаков.

2. **Звуковые волны.** Метод звуковых волн заключается в том, что наблюдают, где слышны звуки, идущие в разные места из точки их возникновения; эти звуки бывают слышны не подряд по радиусам, а через известные зоны, где они не слышны — зоны молчания. Причину этого явления одни ищут в отражении звуковых волн от верхних слоев атмосферы с повышенной температурой, другие же объясняют это отражающей способностью верхних слоев с разной электропроводностью. Источниками звука служили взрывы при извержениях вулканов, звуки при стрельбе из орудий и искусственные взрывы. Например, в советской Арктике в 1933 г. был произведен ряд научных работ в этой области, причем взрывы производились на Земле Рудольфа, на о. Гуккера (Земле Франц-Иосифа) на мысе Желания, в Русской Гавани, на Маточкином Шаре, на Новой Земле. Установлена вероятность положительных температур в стратосфере Арктики в период полярной ночи (на высоте 40—50 км до +50—70° С). С этим вопросом тесно связана также весьма важная проблема атмосферного озона.

3. **Радио-волны.** Исследование распространения в атмосфере радио-волн и отражения их от разных слоев ее дает возможность определять высоту этих слоев и судить об их свойствах.

4. **Метеориты,** врываясь с громадными скоростями (до 100 км в сек.) в верхние слои атмосферы, сжимают и нагревают частицы воздуха и оставляют за собой сначала светящиеся хвосты, а затем и сами начинают загораться, образуя уже дымовые хвосты. Наблюдения за этими хвостами позволяют определить направления и скорости ветра на разных высотах.

5. **Оптические методы.** Оптические методы изучения стратосферы имеют большое преимущество. С земной поверхности можно наблюдать и изучать природу даже самых высоких слоев воздуха, пока недоступных для стратостата и шара-зонда.

На высоте 30—50 км в небольшом количестве имеется озон, он задерживает коротковолновые лучи солнечного спектра.

При помощи оптических наблюдений важно узнать высоту и толщину слоя озона, чтобы принимать в расчет влияния лучей солнечного спектра на оболочку стратостата.

В результате этого изучения выяснилось, что на высотах около 70—100 км электрические свойства атмосферы имеют особый характер, делающий атмосферу электрически подобной металлическим проводникам электрического тока (характеризующая электрическое состояние газа величина его так называемой ионной проводимости на высоте 100 км, по подсчетам, в 10 млрд. раз выше наблюдаемой у поверхности земли). Благодаря этим особым электрическим свойствам верхние слои играют роль как бы зеркального (так называемого „слоя Хэвисайда-Кеннели“) слоя для радио-волн, отражающего их обратно на землю.

а) **Метод солнечной радиации.** Анализ солнечного луча, приходящего к нам после прохода им атмосферы, позволяет также опре-

делять свойства вышележащих слоев, например количество водяных паров и т. д.

б) Влияние луны сказывается на магнитных свойствах в стратосфере. Равным образом на эти свойства влияют и солнечные излучения.

в) Метод затмений солнца и луны. Наблюдения, производимые во время затмений солнца и луны, также позволяют выводить заключения о свойствах стратосферы. В частности, изменение ультрафиолетовой радиации солнца влияет на ионизацию атмосферы и на распространение радио-волн. Во время лунных затмений меняется окраска земной тени и радиус ее. Изучая яркость тени, можно судить о распределении и плотности слоев воздуха.

г) Метод свечения неба. Наблюдая и изучая спектры, полученные с разных точек небосвода днем и ночью, можно делать выводы о составе слоев атмосферы.

д) Спектральный анализ света солнца и звезд позволяет определить присутствие озона в стратосфере и высоту его распространения (45—50 км).

е) Полярные сияния. Наблюдения над полярными сияниями с разных пунктов земной поверхности и спектральный анализ этих сияний позволяют определить их высоту, длину, температуру слоев, где эти сияния происходят, и состав воздуха в их области (например присутствие кислорода). Северные сияния наблюдались на высотах от 80 до 1000 км.

ж) Зодиакальный свет наблюдается чаще всего на тропиках. Явление это состоит в том, что до восхода или после захода солнца со стороны последнего над горизонтом поднимается световая пирамида красновато-желтого или беловатого оттенка. Причиной появления этого света считают отражение солнечных лучей от верхних слоев атмосферы (1000 км) или же космические лучи.

з) Сумерки. При восходе и заходе солнца на небе наблюдается с земли ряд дуг разной яркости. Эти наблюдения установили, что высота этих дуг достигает до 250 км над землей. Изучая явление сумерек, можно определить температуру и плотность разных слоев стратосферы.

и) Луч прожектора для исследования стратосферы. Современные мощные прожекторы могут отбрасывать луч света на десятки километров. Направляя такой луч вверх и наблюдая его силу, распространение и спектр на разной высоте с нескольких пунктов земной поверхности, можно судить о высоте и температуре разных слоев.

к) Метод фотохимический. Фотографируя в приборе Гейгера радиацию в стратосфере и анализируя полученные спектры, можно делать заключения о свойствах стратосферы.

## II. Метод стратоприборов

1. Шары-пилоты. Этот метод заключается в том, что запускают с земли в атмосферу резиновые шары, наполненные водородом, и наблюдают в зрительные трубы за их полетом. Наблюдения дают возможность определить высоту облаков, скорость и направление ветра на разных высотах. Однако этот метод применяется лишь для изучения упомянутых явлений в тропосфере, так как шар быстро исчезает из глаз и не достигает большой высоты.

2. Шары-зонды. Этот метод является самым простым и дешевым. Небольшие резиновые шары, наполненные водородом, несут с собой самозаписывающие инструменты, регистрирующие температуру, давление, влажность и пр. К сожалению, пущенный зонд далеко не всегда находят, и таким образом записи пропадают. При помощи таких зондов удалось частично изучить стратосферу до высоты почти 37.5 км, где было обнаружено давление в 2 мм ртутного столба.

3. Радио-зонды. Для возможности получить сведения о записях приборов, помещаемых в шарах-зондах во время их подъема, с 1928 г. начали на них устанавливать соответствующие радио-передатчики. Благодаря этому сразу повысился процент использования подъемов. Идея способа радио-зонда была доложена проф. Молчановым на заседании о-ва „Аэроарктики“ в Ленинграде в 1928 г. Конструктивное же оформление радио-аппаратуры было сделано проф. Фрейманом и продемонстрировалось при подъеме радио-зонда во дворе Электротехнического института в Ленинграде во время съезда (подробности см. *Ergänzungsheft № 201. Petermanns Mitteilungen, Gotha, 1929, S. 52—56*).

4. Искусственные дымовые облака. Таковые получают посредством разрыва снаряда при выстреле на большую высоту. При этом наблюдаются скорости и направления движения дыма. Однако этот способ мало эффективен вследствие необходимости наличия прекрасной видимости и трудности достижения больших высот.

5. Снаряды. Этот способ заключается в том, что сравнивают действительные результаты полета снарядов зенитной артиллерии с вычисленными на основании известных предположений о составе и свойствах стратосферы, и на основании полученной разницы вводят соответствующие поправки. Кроме того, не исключена возможность в помещении в снарядах и специальных приборов для изучения стратосферы.

6. Ракеты. Следующим методом мог бы быть метод ракет. Уже теперь в разных странах строятся ракеты, которые должны унести в стратосферу самозаписывающие инструменты и, вернувшись обратно на парашюте, принести нам сведения из стратосферы. Однако пока еще ни одна ракета в стратосферу не долетала, хотя попытки в этом направлении делались: например ракетный метеорограф Кельцера долетел до высоты 700 м.

7. Стратопланы - автоматы. Идея этого метода заключается в том, что в стратосферу должен быть пущен аэроплан с винтомоторным или реактивным двигателем, управляемым по радио с земли. На аппарате помещаются регистрирующие состояние стратосферы приборы, по записям которых можно судить о свойствах стратосферы. Пока таких стратопланов еще построено не было, но появление их возможно, в особенности, если данные приборов могут быть передаваемы на землю по радио еще в полете, до спуска.

### III. Метод стратонавтов

Этот метод предполагает, что в аппарате, поднимающемся в стратосферу, находятся люди (стратонавты), управляющие приборами и ведущие наблюдения.

Рассмотрим в общих чертах намеченные или намечаемые для этой цели воздушные суда, оставляя подробности для следующих глав.

1. Стратостаты. Пока наиболее удобным и целесообразным является метод подъема самого наблюдателя в стратосферу в гондоле воздушного шара. Здесь, в спокойной обстановке и в незавихренном воздухе представляется возможность произвести ряд научных наблюдений, и не удивительно, что в истории воздухоплавания мы встречаем ряд проектов и ряд осуществленных примеров подъема воздушных шаров с человеком в стратосферу. Все подъемы и проекты их можно разделить на следующие три главные группы: а) человек помещается в открытой гондоле и одет в специальный костюм (скафандру),<sup>1</sup> б) человек помещается в герметически закрытой гондоле и специальной одежды для него не требуется и с) человек помещается в герметически закрытой гондоле, но может, в случае надобности, выходить в стратосфере наружу, для чего и имеет специальный костюм.

2. Стратодиржабли. Эта идея возникла в связи с успешными полетами стратостатов в 1931—1933 гг. Авторы идеи стратодиржаблей предлагают построить дирижабль, который мог бы лететь в стратосфере. Пока, однако, нет даже технически разработанных проектов аппаратов этого вида.

3. Стратопланы. Идея этих аппаратов заключается в том, что для полета в стратосферу предлагается применить самолет с герметически закрытой или даже открытой кабиной. В последнем случае летчик должен быть одет в специальный костюм. Кроме того, для полета в стратосфере самолет должен обладать специальной формы крыльями и может иметь или винтомоторную группу, т. е. двигатель (бензиновый, паровой или дизель) с винтом, или летать при помощи ракеты (ракетоплан), или, наконец, иметь комбинированную установку из ракеты и винтомоторной группы.

<sup>1</sup> Если костюм не специальный, а тело человека подвергается пониженному наружному давлению, то при этих условиях высота подъема ограничивается 12—14 км, иначе кровеносная система человека испытывает опасное сверх-давление.

4. **Стратогеликоптеры.** Некоторыми изобретателями выдвигается идея о возможности достижения стратосферы при помощи геликоптеров, т. е. аппаратов с ввинчивающимся ввоз дух винтом с вертикальной осью. Вращение такого винта они предполагают осуществить или при помощи авиомотора или при помощи реактивной силы газа, вырывающегося из концов лопастей, направленных по касательной к кругу вращения винта. Следует, однако, заметить, что пока не только не осуществлено таких геликоптеров, но даже не опубликован проект их.

5. **Ракеты.** Подъем человека в стратосферу при помощи ракеты вполне возможен. Имеется уже ряд проектов таких ракет, и одна из них даже была построена в 1933 г. в Германии. Однако вопрос этот весьма сложен, и практическое осуществление подъема человека не только в стратосферу, но даже и в тропосферу при помощи ракеты требует еще многих предварительных опытов и работ. В настоящее время ведутся исследования над ракетами разных типов, причем горючее для них намечается главным образом жидкое, например жидкий кислород и жидкий углеводород (метан). Имеются также проекты ракет на твердом топливе (например порох). Далее различают ракеты, тянущие и толкающие. В первых газы вырываются из части ракеты, расположенной у ее головы, во вторых — у ее кормы и т. д.

6. **Стратопарашюты.** Имеется идея спуска стратонавта на парашюте с большой высоты, куда он поднимается на каком-нибудь другом аппарате. В этом случае человек должен быть одет в специальный костюм, а парашют, если иметь в виду научные цели, должен представлять целую, хотя и небольшую, лабораторию для исследования обстоятельств спуска. Прыжок стратонавта на таком парашюте, помимо ценных наблюдений при падении, облегчит само воздушное судно и даст возможность увеличить ему высоту подъема.

Заканчивая на этом общий обзор различных методов изучения и освоения стратосферы, перейдем теперь к более подробному исследованию аппаратов, при помощи которых человек надеется проникнуть в стратосферу и техника которых в настоящее время достигла достаточного развития. Мы имеем в виду следующие летающие суда: стратостаты, стратодиржабли, стратопланы, стратогеликоптеры и ракеты.

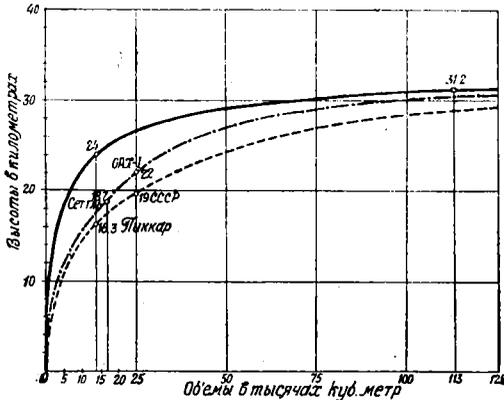
## СТРАТОСТАТЫ

### а) Общий обзор полетов стратостатов

Завоевание аэростатами стратосферы шло медленными шагами и требовало больших усилий и жертв со стороны людей. В табл. 2, 3 и 4 приведены некоторые данные (стр. 619—622) о постепенном проникании человека на стратостатах в высоту и о кубатуре этих стратостатов по годам. За свои попытки стратонавты иногда платились жизнью, погибая

или от удущья (Краче-Спинелли, Сивель, Грей и Молас) или при падении (Федосеенко, Васенко, Усыскин). В стратосферу люди начали проникать лишь с 1901 г., когда Берсон и Зюринг в Германии впервые поднялись до высоты 10 800 м.

Высота подъема стратостата зависит от целого ряда причин и, в частности, от его объема, веса, газа, которым он наполнен, температурных условий атмосферы, плотности воздуха и т. д. Главнейшими факторами,



Фиг. 2.

влияющими на высоту подъема, являются объем и вес стратостата. Чем меньше вес и чем больше объем, тем выше поднимается стратостат. На фиг. 2 приведена построенная нами диаграмма, выражающая зависимость высоты подъема стратостатов от их объемов. По горизонтам отложены объемы в тысячах кубических метров, а по вертикали — высота подъема в километрах. Нижняя пунктирная кривая проходит через точки 16.2 и 19, соответствующие объемам и высотам подъема шаров Пикара и „СССР“. Следующая кривая (пунктир с точкой) проходит через точки полетов Сеттля (18.7) и „С-ОАХ-1“ (22 км). Принимая во внимание, что при постройке стратостатов можно добиться дальнейшего уменьшения веса и тем самым увеличить высоту подъема, Пикар, путем пересчета, определил, что при объеме шара в 14 тыс. м<sup>3</sup> можно достичь высоты в 24 км, а при объеме в 113 тыс. м<sup>3</sup> — 31.2 км. По этим данным на фиг. 2 получены две точки, через которые и проведена сплошная кривая, которая, хотя и весьма приближенно, но дает представление, каких высот и при каких объемах может достичь стратостат.

### Типы стратостатов

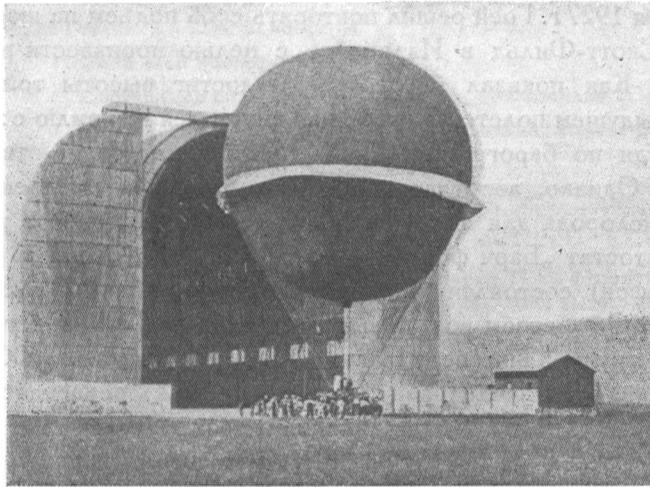
Опишем в общих чертах устройство главнейших типов выстроенных и летавших стратостатов. Эти стратостаты можно разделить на следующие две главные группы:

I. Стратостаты с открытой гондолой, в которой помещаются люди, одетые в утепленные костюмы и со специальными масками для дыхания кислородом в скафандрах.

II. Стратостаты с герметически закрытой кабиной.

I. Стратостаты с открытой кабиной. 1. Стратостат Берсона и Зюринга. Первый полет воздушного шара в стратосферу был совершен

31 июля 1901 г. в Германии немецкими учеными Берсоном и Зюрингом из Потсдама. Целью полета было исследование верхних слоев атмосферы. Аэростат „Пруссия“ был объемом  $8400 \text{ м}^3$ , гондола его была сделана в виде открытой корзины. Подъем состоялся в 10 ч. 50 м. утра. Шар был наполнен водородом до объема  $5400 \text{ м}^3$ . Балласта было взято 3600 кг, балласт состоял из песка и железных опилок, помещенных в 80 мешках. Через 40 мин. шар достиг высоты 5000 м и здесь, раздувшись, принял шарообразную форму. Для дыхания было взято 4 стальных цилиндра с 1000 л кислорода в каждом, причем высоким давлением объем газа был уменьшен в 100 раз (до 10 л). Шар поднялся на высоту 10 800 м.



Фиг. 3.

2. Стратостат „Икар“. 28 мая 1913 г. аэростат „Икар“ поднялся во Франции из Ламотт-Брейли (Уаза), имея на борту трех человек: Биенемэ, Шнейдера и Сенука. Шар имел объем  $3500 \text{ м}^3$  и был наполнен водородом. По экватору он имел парашют для уменьшения скорости спуска (фиг. 3). Пассажиры помещались в открытой гондоле и имели маски для вдыхания кислорода. При взлете в гондоле имелось 112 мешков с балластом по 20 кг. Старт состоялся в 12 ч. 16 м. Для регулирования взлета пилот выбрасывал через каждые две минуты по мешку. В 15 ч. 31 м. аэростат достиг предельной высоты 10 081 м, причем было выброшено 109 мешков. Температура была —  $18^\circ\text{C}$ . При спуске были израсходованы последние три мешка. Спуск произошел благополучно в 17 ч. 10 м. в 2 км от Матиллон-на Сене, в 200 км от места старта. Во время полета производились физиологические наблюдения.

3. Полеты капитана Грея. 4 мая 1927 г. американский капитан Грей поднялся на водородном шаре объемом  $2265 \text{ м}^3$  с аэродрома Скот-Фильд (в Иллинойсе). Шар имел открытую гондолу, снабженную кислородной

маской, разрывным приспособлением для сбрасывания мешков с балластом, статоскопом (прибор, показывающий скорость подъема и спуска), термометром, альтиметром (высотомер), баллонами с кислородом, электрическим аккумулятором, радиоприемником, громкоговорителем, электрической грелкой для вдыхания кислорода и т. д. В баллоне имелось специальное разрывное приспособление.

Наибольшая достигнутая им высота была 12 944 м (чему соответствует давление в 122 мм ртутного столба). Температура была здесь  $-55^{\circ}\text{C}$ .

При спуске благодаря израсходованию всего балласта и значительной скорости падения Грей, достигнув высоты около 2 км, выбросился из аэростата на парашюте и благополучно спустился на землю.

4 ноября 1927 г. Грей решил повторить свой подъем на шаре с того же аэродрома Скотт-Фильд в Иллинойсе с целью произвести ряд научных наблюдений. Как показал барограф, он достиг высоты той же самой, как и в предыдущем полете. Однако шар спустился на землю с... мертвым пилотом. Судя по барограмме, Грей, достигнув потолка, открыл клапан для спуска. Однако, аэростат пошел к земле очень медленно и Греку нехватило кислорода для дыхания. В результате он погиб от удушья.

4. Стратостат „Барч фон-Зигсфельд“. 19 ноября 1927 г. в Германии (Фридрихсгафен) состоялся пробный полет шара „Барч фон-Зигсфельд“, построенного Обществом воздушных аппаратов под руководством Штеллинга по конструкции инженера Наатц. Объем аэростата — 9500 м<sup>3</sup>. Целью полетов намечалось исследование стратосферы и, в частности, работы мотора в условиях пониженных давления и температуры. Для того, чтобы шар мог держаться на заданной высоте и чтобы расширяющийся газ (водород) не попал в гондолу, где мог работать мотор, внутри шара была устроена особая шахта.

На шар накинута сетка с квадратными клетками. К стропам сетки при помощи двух веревочных колец подвешена корзина, находящаяся на большом расстоянии от низа шара. Назначение шахты отводить расширяющийся газ не вниз, а вверх.

Шахту с кольцевым отверстием в ней, расположенным внутри шара, можно поднимать вверх и вниз и, таким образом, создавать по желанию различные условия для аэростата на любой высоте. Момент начала и конца истечения газа, а также интенсивность его определялись с помощью специального электрического прибора фирмы „Сименс и Гальске“.

Приведем некоторые данные веса частей аэростата. Оболочка — 850 кг, сеть — 720 кг, шахта — 170 кг, клапаны с веревками — 100 кг, корзина — 170 кг, кольца ее и подвес — 70 кг, 150 мешков для балласта — 90 кг, разное — 40 кг. Итого вес пустого аэростата — 2210 кг.

19 октября 1927 г. аэростат совершил свой первый подъем. Экипаж состоял из 7 человек. На высоте 6600 м шум в шахте показал, что начался выпуск водорода из шара через фонарь в шахту. То же показал и прибор Сименса. Теперь наступил момент испытания фонаря.

Таблица 2

Явления в атмосфере на соответствующих высотах и способы достижения высот осуществленные и намечающиеся

Высота км	Явления в атмосфере и достигнутые высоты	Предполагаемые способы достижения высот
1000	Зодиакальный свет (верхняя граница атмосферы)	Ракеты
500		Снаряд электро-пушки Алано
250 и выше	4-й слой ионосферы	
200—250	Явление сумерек. 3-й слой ионосферы	" " Вилькле
150	Конец гелия. 2-й слой ионосферы	
100	Нижний слой ионосферы	
90—50	Светящиеся облака	Ракетоплан Цандера
70	—	Предельная высота ракетоплана Зенгера
58—43	—	Стратосферные ракеты Пиркэ (стратостат вообще)
50—30	Слой озона	
40		Снаряд 21 см французской пушки Нормальная высота ракетоплана Зенгера
38.1	Баллон-зонд	
36	Снаряд немецкой пушки 1918 г.	
35	—	Стратостат объема 250 тыс. м <sup>3</sup> Ракетоплан Крокко
30	—	Стратостат объема 50 тыс. м <sup>3</sup>
25	—	Стратостат объема 25 тыс м <sup>3</sup>
24	—	
22	Стратостат „С-ОАХ-1“ 1934 г.	
19.5	—	Стратоплан Фармана 1933 г.
19	Стратостат „СССР“ 1933 г.	" "
18.7	" Сетля 1933 г.	
18	Начало стратосферы у экватора	Ракета Небеля
16.2	Стратостат Пикара 1932 г.	
15.78	" " 1931 "	
15	Тропические перистые облака	Пороховые ракеты с наддувом
14.5	Самолет 1934 г.	Стратогеликоптеры
13.60	" 1933 "	
13	Воздушный шар Грея 1927 г.	
12	Снаряд винтовой пушки	
11	Воздушный шар Моласа 1928 г.	
10.8	Воздушный шар Берсона и Зюринга 1901 г.	

(Продолжение)

Высота км	Явления в атмосфере и достигнутые высоты	Предполагаемые способы достижения высот
10	Средняя высота начала стратосферы	
—	Потолок военных самолетов	
—	Привязной аэростат	
9	Перистые облака	
8.8	Гора Эверест	
8	Ракета Тилинга	
7.26	Воздушный змей	
7	Начало стратосферы летом у полюса	
—	Перисто-кучевые облака	
5.85	Обсерватория „El Misti“ Перу	
5	Кучевые-дождевые облака	
4.81	Монблан	
3	Начало стратосферы зимой у полюса	
—	Кучевые облака	
3—1	Зона пассажирских самолетов	
2	Дождевые облака	
1	Слоистые облака	

Была намечена высота полета 3000 м; несмотря на сильное нагревание газа, при помощи фонаря удалось продержаться на этой высоте 20 мин. Механизм работал хорошо, хотя и требовал значительного напряжения сил.

Инерция шара была значительна. Спуск был проведен благополучно.<sup>1</sup>

5. „Испания“ Моласа. 15 сентября 1928 г. в 9 час. утра испанский воздухоплаватель Бенито Молас поднялся на свободном аэростате в Испании у города Alcala (провинция Alacete). Объем шара „Испания“ был 2200 м<sup>3</sup>. Гондола была открытая и несла 900 кг балласта. Шар через несколько часов полета плавно опустился на землю у Nerpi в той же провинции с... мертвым пилотом. На посиневшем трупe не было никаких ран, но маски для вдыхания кислорода на лице уже не было; резиновая трубка ее была крепко зажата в зубах, а кислородный баллон пуст. Вскрытие трупа показало, что смерть произошла от удушья. В бортовом журнале были найдены следующие записи: „4000 м, легкая неисправность в аппарате для вдыхания кислорода; чиню его и продолжаю подъем. 5000 м, все сейчас в порядке“. Судя по отметкам на приборах и по барограмме, на высоте 8000 м пилот решил спуститься и открыл клапан для выпуска газа из шара, но на 6500 м снова начал бросать балласт, т. е. опять пошел на подъем. Аэростат достиг высоты 11000 м и здесь оставался довольно долго в равновесии. Спуск произошел без толчков.

<sup>1</sup> Стратостат этот погиб при полете в 1934 г. со своими пассажирами.

Таблица 3

Рост объемов стратостатов по годам<sup>1</sup>

Объем в м <sup>3</sup>	Годы	Пилоты	Высота подъема в метрах
1 280	1809	Берсон	7 955
1 437	1910	Рынин	6 400
1 437	1925	Федосеенко	7 400
1 600	1898	Спенсер	8 300
2 200	—	Виганд	9 420
2 200	1928	Молас	11 000
2 200	1932	—	8 800
2 265	1927	Грей	12 944
2 500	1893	Гросс	6 105
2 600	1893	„	6 045
2 600	1894	Берсон	9 150
3 000	1875	Тиссандье	8 600
3 300	1898	Спельтрини	8 900
3 500	1913	Биенеме	10 081
5 000	1867	Жиффар	330
(привязной) 5 000	1897	Андре	—
6 000	1863	Годар	1 000
7 250	1913	Блетчахер	10 800
8 400	1901	Берсон	10 800
9 500	1927	Штеллинг	10 800
11 000	1869	Тиссандье	2 850
12 750	1889	Годар	—
14 000	1864	„	—
(монгольфьер) 14 130	1931 и 1932	Пикар	16 201
17 000	1933	Сэттль	18 665
25 000	1878	Жиффар	500
(привязной) 24 340	1933	„СССР“, Москва	19 000
24 920	1934	„С-ОАХ-1“, Москва	22 000

Стратостаты с закрытой кабиной. 6. Первый стратостат Пикара. Для изучения свойств стратосферы и главным образом

<sup>1</sup> Кроме полетов, указанных здесь, за время печатания книги состоялись еще следующие: 1) Ковинс в Бельгии. Стратостат 14 000 м<sup>3</sup>; высота 16 000 м. 2) Кепнер, Стивенс и Антерсан в США. Объем 85 000 м<sup>3</sup>; высота 18 200 м. 3) А. Пикар с женой в США; высота 17 672 м.

Таблица 4

## Завоевание стратостатами высот

Высота подъема в метрах	Годы	Пилоты	Объем шаров в м <sup>3</sup>
6 045	1893	Гросс и Берсон	2 600
6 100	1927	Штеллинг	9 500
6 105	1893	"	2 500
6 190	1894	Берсон и Бекер	2 600
6 191	1898	Зюринг	1 280
6 400	1910	Рынии	1 437
6 900	1898	Спельтрини	3 300
7 016	1804	Био и Гей-Люссак	—
7 377	1898	Берсон и Зюринг	1 260
7 400	1803	Контэ и Робертсон	—
7 400	1925	Федосеенко	1 437
7 900	1839	Спенсер Рут	—
7 928	1894	Гросс и Версон	2 600
7 955	1899	Берсон и Зюринг	1 280
8 320	1898	Спенсер и Берсон	1 600
8 417	1900	Годар и Бальзан	—
8 600	1875	Тиссандье, Сивель и Кроче-Спинелли	3 000
8 838	1862	Глешер и Коксвель	—
9 155	1894	Берсон	2 600
9 420	—	Виганд и Лютце	2 200
10 081	1913	Биенемэ	3 500
10 800	1901	Берсон и Зюринг	8 400
11 000	1928	Молас	2 200
12 944	1927	Грей — 1-й полет	2 265
12 944	1927	" 2-й "	2 265
15 781	1931	Пикар	14 130
16 201	1932	"	14 130
18 655	1933	Сэтгль	17 000
19 000	1933	„СССР“, Прокофьев, Бирнбаум и Годунов	24 340
22 000	1934	„С-ОАХ-1“, Федосеенко, Васенко, Усыскин	24 920

природы и свойств космических лучей брюссельский профессор Пикар совершил 27 мая 1931 г. свой первый полет на специально выстроенном воздушном шаре с герметически закрытой гондолой. Он со своим ассистентом Кипфером достиг высоты 15831 м.

Средства для осуществления этого полета он получил в Брюсселе из национального фонда для научных исследований, и самый шар был назван буквами этого фонда (F.N.R.S.). Проект аэростата был составлен инж. Кипфером. Основные данные для расчета полета были следующие: объем шара — 14 130 м<sup>3</sup>. Газом для наполнения служил водород.

Собственный вес шара составлялся следующим образом: оболочка — 800 кг, гондола, инструменты и экипаж — 850 кг, балласт — 500 кг. Итого 2150 кг.

У земли при старте шар был наполнен лишь на 18.6% своего объема, т. е. содержал лишь 2600 м<sup>3</sup> газа.

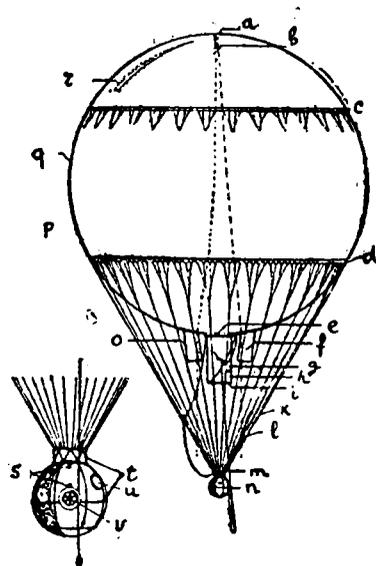
Полная подъемная сила шара у земли была  $2600 \times 1.15 = 2990$  кг. и свободная подъемная сила  $2990 - 2150 = 840$  кг. При таких условиях, считая температуру 0°, можно было достичь высоты 16166 м.

Исходя из этих предпосылок, Кипфер спроектировал аэростат, выстроенный фирмой Ридингере в Аугсбурге.

Приведем теперь описание устройства аэростата (схема его на фиг. 4). Объем баллона 14 130 м<sup>3</sup>, диаметр 30 м, полная высота 46 м. Буквы обозначают следующие части:

*a* — клапан с приспособлением, ограничивающим его ход, *b* — разрывная вожжа с двойным предохранителем, *c* — пояс с 32 „гусиными лапками“ и с кольцами для поясных веревок, *d* — пояс с параболическими фестонами и с 32 „гусиными лапками“, *e* — аппендиксовое кольцо, *f* — матерчатая труба диаметром 1.5 м для пропуска клапанной веревки (во время полета труба *f* открыта), *g* — подъемный трос, *h* — аппендикс диаметром 2.5 м (последний во время подъема до высоты 6000 м был закрыт, во время же дальнейшего подъема и при спуске открыт), *i* — нижнее кольцо аппендикса, *k* — 32 подвесных стропы, *l* — тросы гондолы длиной 6 м, *m* — обруч гондолы, *n* — шарообразная гондола с двумя отверстиями для входа и с иллюминаторами, *o* — матерчатая труба диаметром 1.15 м для пропуска разрывной вожжи, *p* — отверстие диаметром 30 м для наполнения шара газом, *q* — матерчатая желтая однослойная оболочка, прорезиненная с одной стороны, *r* — разрывное полотнище из двуслойной материи, *s* — иллюминаторы (8 штук) диаметром 8 см, толщина стекла 7.5 мм, *t* — подвески гондолы, *u* — отверстие для входа, диаметром 46 см, *v* — ворот для клапанной веревки.

Вес 1 м<sup>3</sup> оболочки был 90 г над несущим поясом и 55 г под ним плюс слой резины 110 г на 1 м.



Фиг. 4.

Гондола. Гондола была рассчитана и на внутреннее давление, так как при достижении предельной высоты подъема наружное давление будет менее 0.10 атм., а внутри почти атмосферное. Оболочка ее была сделана из алюминиевых листов толщиной  $3\frac{1}{8}$  мм. Алюминий был выбран потому, что качество его улучшается с понижением температуры. Диаметр ее был 2.1 м. Гондола висит на 8 кольцах, которыми сверху оканчиваются 8 алюминиевых стоек, проходящих сверху вниз насквозь кабины до ее пола. В них упираются поперечные распорки. При таком устройстве стенки гондолы не испытывают напряжения от веса команды и приборов, а работают только на внутреннее давление. Части (3) гондолы были соединены друг с другом автогенной сваркой. В кабине, кроме вышеупомянутых отверстий, были еще отверстия для работы с инструментами.

Над гондолой был прикреплен специальный парашют, который, в случае внезапного разрыва баллона на высоте, позволил бы гондоле медленнее падать и дал бы время аэронавтам выпрыгнуть из гондолы на специальных парашютах, когда гондола достигнет зоны, безопасной, в смысле давления воздуха, для такого прыжка.

Особое внимание было обращено на герметичность кабины. Действительно, если на высоте, где наружное атмосферное давление весьма мало, кабина вдруг получит сообщение с атмосферным воздухом, с ней и с находящимися в ней людьми произойдет то же, что с внезапно открытой бутылкой шампанского; заключенные в ней газы с силою будут вырываться и выбрасывать жидкость, в которой они заключены. Произойдет разрыв кровеносных сосудов человека и смерть.

Гондола эта была построена алюминиевым обществом в Льеже.

Сбоку, снаружи гондолы, имелся пропеллер, и, вращая его, можно было поворачивать гондолу относительно солнца. Одна половина гондолы была выкрашена в черный цвет, другая — оставлена белой. Сделано это было для того, чтобы черная сторона, поглощая тепло солнечных лучей, обогревала гондолу. Если же температура внутри гондолы окажется высокой, то, во-первых, ее можно было бы повернуть к солнцу белой стороной, а, во-вторых, защищаться от него специальным подвешенным снаружи гондолы сбоку экраном.

Для более точного определения положения места земли, над которым в данный момент полета находился аэростат, с гондолы на антенне было опущено горизонтальное кольцо, центр которого и указывал аэронавтам место, над которым они пролетали. Кольцо опускалось тем ниже, чем выше они поднимались.

7. Второй стратостат Пикара. 18 августа 1932 г. Пикар со своим ассистентом Козинсом совершил второй подъем в стратосферу. Он поднялся с аэродрома Дюбендорф близ Цюриха в Швейцарии и, достигнув высоты 16201 м, благополучно спустился в Италии близ Денуана.

Оболочка аэростата для второго полета была та же, которая служила и для первого полета, поэтому останавливаться на описании ее

здесь мы не будем. Что же касается гондолы, то такую пришлось сделать новую.

Гондола имела шарообразную форму и была сделана из 99.5% алюминия. Ее пронизывали 8 колонок, передающих усилия от подвешенных тросов ко дну гондолы. В стенке гондолы имелись два люка для входа людей, 9 иллюминаторов и два отверстия для ввода клапанной веревки и разрывной вожжи. Для расположения приборов и снаряжения внутри были устроены пол и полки. Вес пустой гондолы был около 130 кг. Наружная поверхность была сделана белой и отполированной с целью отражать солнечные лучи, так как в первом полете аэронавты сильно страдали от жары. Прочность гондолы была значительно увеличена, и материал ее перед полетом был тщательно изучен рентгеновскими лучами. Полный груз, поднятый шаром, — два человека, приборы, балласт — 1200 кг.

8. Стратостат „С-ОАХ-1“. Этот стратостат был построен Ленинградским Осоавиахимом и совершил полет из Москвы 30 I 1934 г., достигнув высоты 22 000 м. При спуске команда в составе Федосеенко, Васенко и Усыскина погибла при сильном ударе о землю гондолы, оторвавшейся от стратостата.

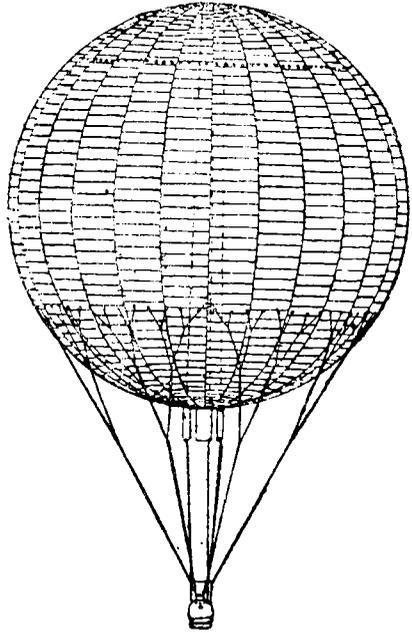
Устройство стратостата „С-ОАХ-1“ заключалось в следующем:

Объем его матерчатого баллона — 24 920 м<sup>3</sup>; диаметр 36.24 м (фиг. 5).

Оболочка стратостата, имеющая поверхность в 4125.8 м<sup>2</sup>, состоит из 25 полотнищ трапециoidalного раскроя и сшита из двух сортов материи: верхняя часть до поясных лап — из двуслойной, параллельно дублированной, прорезиненной баллонной материи; нижняя часть — из однослойной.

На параллели, отстоящей от верхнего полюса оболочки (последняя в выполненном состоянии имеет вид шара) на расстоянии приблизительно 14 м по меридиану (или 5.3 м по высоте), расположены поясные лапы, числом 100 штук. При старте через петли лап этих будут продеты поясные веревки, при помощи которых стратостат будет удерживаться у земли. В момент взлета поясные веревки будут выдернуты из петель, и стратостат полетит без этих веревок. На каждую лапу приходится около 30 кг нагрузки.

Система, к которой подвешена гондола состоит прежде всего из подвесных лап, расположенных ниже экватора по параллели, отстоящей



Фиг. 5.

от верхнего полюса оболочки на расстоянии около 27 м. К лапам (число их 64) крепится система подвесного такелажа, состоящая из 64 „гусиных лапок“, 32 „первых спусков“, 16 „вторых спусков“ и 8 строп.

Стропы крепятся к подвесному обручу при помощи костыльков. Подвесной обруч изготовлен из льняных и хлопчатобумажных веревок и представляет собой кольцо диаметром около 2 м. Снизу, при помощи тех же костыльков, к обручу подвешена металлическая стальная гондола.

Оболочка стратостата снабжена пятью „аппендиксами“. Большой аппендикс для выпуска излишка газа представляет собой большой матерчатый рукав, расположенный в нижнем полюсе стратостата. Два малых аппендикса расположены по бокам большого и служат для пропуска клапанной веревки и вожжей от „разрывных“. Два малых аппендикса, расположенные по бокам оболочки, служат для наполнения стратостата водородом. Наверху оболочки имеется клапан обычного устройства, диаметром 0.75 м, и два разрывных приспособления. Последние представляют собой матерчатые полотнища, отрываемые от оболочки стратостата в момент спуска на землю для ускорения выхода газа. Расчетный вес оболочки, включая такелаж и подвесный обруч, — около 900 кг.

Металлическая гондола имеет форму шара и оплетена сеткой, при помощи которой подвешена к подвесному обручу такелажа.

Объем гондолы около 7 м<sup>3</sup> при диаметре 2.4 м. Каркас гондолы сварен (на заводе им. Сталина) из стальных трубок. Оболочка гондолы, изготовленная из антимагнитной стали, толщиной 0.8 мм, приварена к каркасу. Вес каркаса — 40 кг, а общий вес гондолы — 160 кг. Листы обшивки имеют запас прочности около 10. Гондола имеет 4 боковых верхних окна и одно боковое нижнее и одно вверху. Окна сделаны из плоских зеркальных стекол (толщиной в 14 мм и диаметром в свету 150 мм), изготовленных заводом в Ленинграде.

При испытании эти стекла выдержали давление до 5 атм.

В нижнем полюсе гондолы имеется окно для фотосъемок. В верхней части имеется лаз, закрываемый изнутри крышкой. При испытании на прочность воздухом внутри гондолы было создано давление в 1.51 атм., которое она выдержала без каких-либо деформаций.

Испытание на воздухопроницаемость показало полную герметичность швов, окон и лаза гондолы.

Через 6 небольших застекленных окон и через специальную перископическую трубу стратоплаватели смогут наблюдать за землей и оболочкой стратостата.

Ледяной холод стратосферы, с одной стороны, и горячие солнечные лучи, падающие на металлическую оболочку гондолы, с другой, угрожают стратонавтам. Если бы не были приняты соответствующие меры, стратоплаватели или замерзли бы внутри гондолы, или страдали бы от невыносимой жары. От крайних температур холода и жары гондолу защитит специальная краска, составленная Химико-технологическим институтом. Она

в такой пропорции будет поглощать и отражать солнечные лучи, что последние будут использованы для нагрева воздуха до нормальной температуры в  $15^{\circ}$ .

На земле стратостат наполнен водородом всего на 0.1 своего объема, имея высоту над землей 75 м.

Вначале оболочка будет иметь неправильную грушевидную форму, пока разница в давлении на большой высоте не заставит шар раздуться в полном объеме. Крышка лаза будет закрыта в момент старта.

На высоте в 20 км давление воздуха вне гондолы будет равняться приблизительно 50 мм ртутного столба. Давление внутри гондолы будет показывать в это время 500—550 мм ртутного столба (нормальное—760 мм).

Для предохранения от удара о землю гондола снабжена кольцевым ивовым амортизатором.

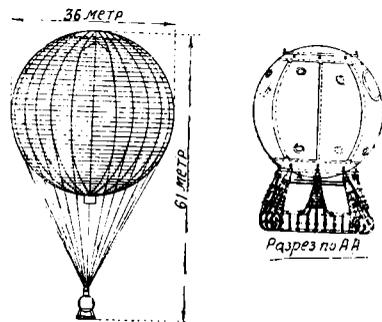
При спуске стратостата вся команда его, в составе Федосеенко, Васенко и Усыкина, погибла от удара о землю. Катастрофа объясняется накоплением ряда причин: недостаток балласта при спуске с достигнутой высоты в 22 км, обрыв аппендиксовой уздечки, обрыв подвесных строп, температурные условия спуска и т. д.

9. Стратостат „СССР“. В 1933 г. в Москве военным ведомством был построен стратостат „СССР“, который, имея на борту команду из трех человек: Прокофьева, Бирнбаума и Годунова, поднялся 30 сентября 1933 г. и, достигнув высоты 19 км, в тот же день благополучно спустился у города Коломны.

Устройство стратостата. Стратостат состоит из трех главных частей: оболочки, гондолы и подвески (фиг. 6).

а) Оболочка. Объем оболочки в наполненном состоянии равен  $24\,340\text{ м}^3$ , что соответствует диаметру ее почти в 36 м. Конструкция ее разработана Научно-исследовательским институтом резиновой промышленности под руководством одного из участников полета инж. К. Д. Годунова. Рецепт же и технологический процесс обработки ткани были выработаны тем же Институтом под руководством инженеров Кузиной и Левитиной.

Верхняя часть оболочки изготовлена из однослойной прорезиненной материи (перкаль А), нижняя—из более тонкой прорезиненной материи (перкаль Б). Раскрой был сделан из 24 трапециодальных полотнищ. Верхушка оболочки имела усиление из трехслойной материи, в нижней части которой зашито веревочное кольцо, от которого идут 24 стропы к гондоле. Вес оболочки получился незначительный, всего лишь 950 кг, а с принадлежностями—1154 кг, в то время как у Пикара, при объеме всего



Фиг. 6.

лишь 14 100 м<sup>3</sup>,—вес был 800 кг. Испытания материи показали стойкость ее против действия ультрафиолетовых лучей и хорошие результаты в смысле газонепроницаемости при различных колебаниях температуры. Крупнейшую роль в достижении указанных целей играла рецептура внутреннего газодержащего слоя резины и окраска внешнего защитного слоя резины. В неразрывной связи с этим стояла и технология приготовления баллонной ткани. После получения удовлетворительных результатов испытаний работа была перенесена на завод „Каучук“, где ударниками и специалистами было изготовлено все необходимое количество ткани для оболочки.

в) Гондола. Гондола стратостата была сделана из кольчуг-алюминия и построена в Москве на Краснознаменном заводе имени тов. Менжинского под общим управлением директора завода С. А. Марголина. Внешний вид ее шарообразный, диаметр 2,3 м и объем 6,2 м<sup>3</sup>. Окрашена она в небесно-голубой цвет, и на ней изображены красные буквы „СССР“ и пятиконечная звезда. Покоится гондола на ивовом плетеном амортизаторе, представляющем собой четырехгранную усеченную пирамиду с закругленными углами. Остов гондолы устроен из кольчуг-алюминиевых труб, к которым снаружи присоединена кольчуг-алюминиевая оболочка толщиной 2 мм, склепанная из листов с промазкой швов. Имеется, кроме того, и оленья войлочная прокладка для предохранения от резких колебаний температуры.

Внутри гондолы устроены сидения и электрическое освещение. В стенках имеются девять окон, позволяющих смотреть вверх, на землю и в разные стороны. Вход в кабину возможен через два люка, герметически закрывающиеся. Люки построены так, что могут быть открыты в течение 10 сек. На окнах имеются колпачки. В случае повреждений стекол в окнах, эти колпачки механически и герметически закрываются. Из гондолы идут выводы для сбрасывания балласта и управления шаром. Электрические выводы устроены для управления приборами, находящимися снаружи гондолы. Внутри гондолы имеется восемь отсеков, в которых расположены приборы.

Все части гондолы были сделаны из советских материалов, прошли ряд серьезных испытаний, и в особенности стекла показали высокие качества. Равным образом удовлетворительно выдержала испытания и сама гондола в целом после ее изготовления.

На чем подвесить гондолу. При постройке стратостата возник вопрос—на чем подвесить гондолу к оболочке: на металлических тросах или на веревках, сделанных из специальной пряжи. Выгоднее было остановиться на веревках, так как с ними легче обращаться при снаряжении. Был произведен с ними ряд испытаний для выявления прочности их при низкой температуре, доходившей до  $-75^{\circ}$ . Такая веревка выдерживала нагрузку в 1 т.

#### 10. Стратостат Сэттля.

Полет Сэттля. Летом 1933 г. американский пилот Томас Сеттль в Чикаго (США) решил подняться на построенном им стратостате в стратосферу один. На фиг. 7 изображен общий вид стратостата.

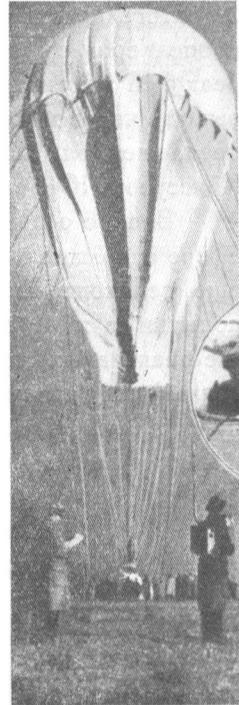
Средства на постройку Сэттль получил от газеты „Чикаго Дейли Ньюс“ и от компании „Националь“.

Объем баллона был 17000 м<sup>3</sup>. Гондола была сделана из патентованного металла, имела шарообразную форму, диаметром 2.13 м, и весила 163 кг. Взлет был назначен ночью 4 августа 1933 г. из Чикаго. Оболочка была наполнена на  $\frac{1}{5}$  своего полного объема.

По данному сигналу Сэттль взлетел, но уже через 10 минут должен был опуститься из-за порчи клапана.

20 ноября Сэттль решил повторить свою попытку из г. Акран (штат Огайо). В полете принял участие, кроме Сэттля, еще и майор Честер Фордон.

Шар поднялся 20 ноября в 9 час. 27 мин. при благоприятной погоде. В течение 1 часа шар быстро поднялся на 14000 м. В 13 час. он поднялся еще на 3700 м, а максимума высоты 18 665 м достиг в 15 час. Воздухоплаватели все время общались с различными городами по радио, пока после полудня, когда балласт истощился, им не пришлось выбросить из гондолы радиобатарей и некоторые другие инструменты для того, чтобы предотвратить слишком быстрый спуск шара. Шар все время отклонялся к востоку и в 18 час. приземлился в ненаселенной болотистой местности в юго-западной части штата Нью Йорк, где оставался до утра. В гондоле шара находились инструменты, регистрирующие изменение интенсивности космических лучей, спектроскоп, камера для снимков инфра-красными лучами и т. д.



Фиг. 7.

#### СТРАТОДИРИЖАБЛИ И СТРАТОГЕЛИКОПТЕРЫ

Вопрос о возможности полета дирижаблей в стратосфере возник лишь после успешных подъемов стратостатов. Не отрицая возможности таковых полетов, следует отметить условия, при которых они возможны и целесообразны.

1. Гондола стратодирижаблей должна быть герметически закрытой. Однако она может быть и открытой при условии соответственной одежды и аппаратуры для дыхания людей.

2. Двигателями могут служить те же, которые применяются в стратопланах, однако из них необходимо выбирать такие, которые позволяют медленное поглощение инерционного сопротивления дирижабля движению.

3. Объем стратодирижабля будет значительно больше объема стратостата, из-за перегрузки от двигателя, горючего и рулевого управления.

4. Во избежание опасности взрыва следует применять для наполнения оболочки инертный газ (гелий) или флегматизированный водород.

5. Не исключена возможность устройства и реактивных дирижаблей, идея которых была предложена уже давно Соковниным (1866 г.), Рабеком (1882 г.), Бетти (1890 г.) и Петерсоном (1892 г.). В настоящее время не только еще нет стратодирижаблей, но даже не составлено проектов их.

Скажем еще несколько слов об одном типе стратосферного судна — „стратогеликоптере“. Аппарат должен подниматься вверх силою тяги пропеллеров с вертикальною осью. Вращение же пропеллеров достигается реакцией вырывающихся из концов лопастей газов, которые подаются к выходу через полости пропеллеров и пустотелые валы от генератора. Был предложен ряд проектов подобных реактивных helicopters: Лореном, Крассусом, Юрьевым и другими.

Вопрос о применении подобных helicopters для полета в стратосфере сопряжен с большими трудностями, не говоря уже о том, что вообще еще helicopters только недавно начали совершать отдельные робкие попытки в полете, да и то лишь при помощи обыкновенных тянущих (не реактивных) пропеллеров; полет в стратосфере подобных аппаратов связан с громадным числом оборотов лопастей. А это развивает большие центробежные силы у концов их и потребует материал огромной прочности и веса. Кроме того, благодаря разреженному в стратосфере воздуху диаметр пропеллеров или турбин потребуется очень большой. Все это заставляет сильно сомневаться в возможности применения helicopters для полета в стратосфере.

## СТРАТОПЛАНЫ

### Общий обзор

Одним из способов проникнуть человеку в стратосферу является способ самолетов-стратопланов. Эта проблема интересна потому, что надеются в стратосфере получить возможность передвижения самолета со скоростями, значительно превышающими достигнутые в тропосфере. Таким образом, проблема стратоплана тесно связана с проблемой скорости полета. Для решения этой проблемы при помощи самолета было предложено несколько способов, которые можно сгруппировать в две группы: 1) гиперавиация и 2) суперавиация.

Г и п е р а в и а ц и е й называются полеты аэропланов в нижних слоях атмосферы (в тропосфере) с большими скоростями.

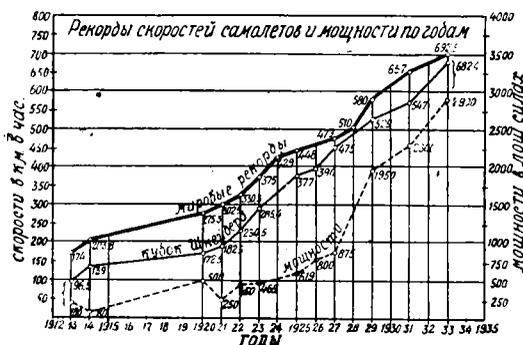
С у п е р а в и а ц и е й называются полеты аэропланов в верхних слоях атмосферы.

До сих пор стремились решить проблему скорости полета при помощи гиперавиации, да и теперь еще имеется ряд предложений, и ведутся опыты

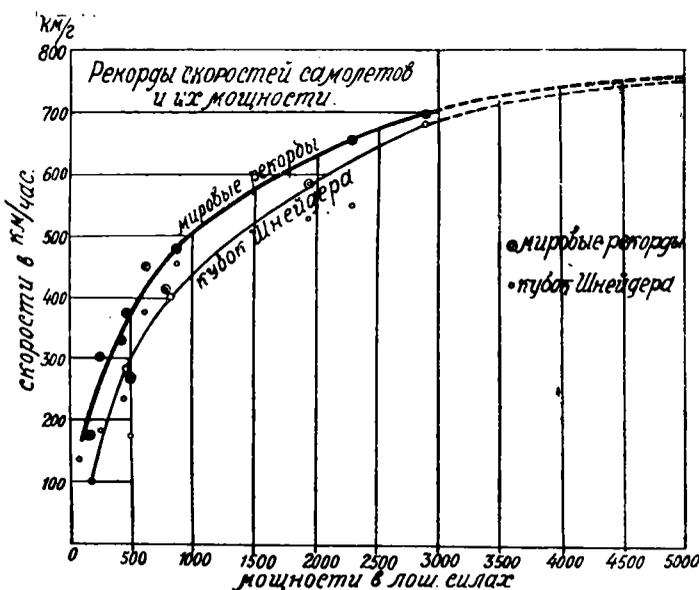
в этом направлении, так как здесь работа идет по сравнительно хорошо проторенным путям, не требует резкого поворота в своих методах и относится к хорошо изученной области атмосферы.

Для решения вопроса о скорости в гиперавиации применяют два главнейших метода: увеличивают мощность двигателя и уменьшают лобовое сопротивление самолета движению.

Влияние увеличения мощности двигателя характерно отразилось на мировых рекордах скорости полета самолетов и видно на фиг. 8 и 9, где построены диаграммы, выражающие рост скоростей по годам и в зависимости от мощностей. Скорости даны как по состязаниям



Фиг. 8.



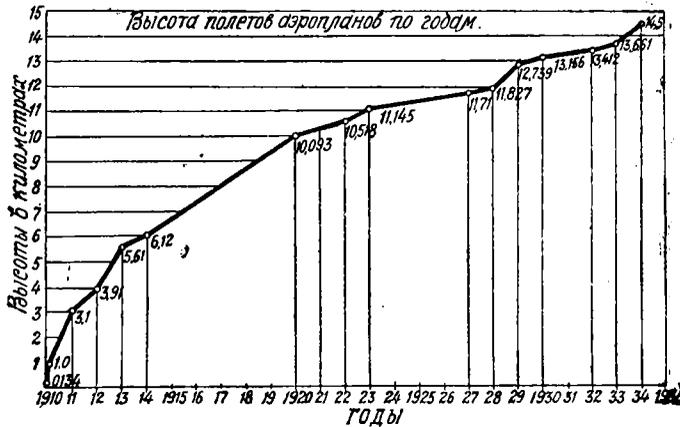
Фиг. 9.

на кубок Шнейдера, так и вне этих состязаний (мировые рекорды). На 1934 г. имеем скорость по состязаниям на кубок Шнейдера—682.4 км 1 час, при мировом рекорде 692.5 и при мощности около 2900 НР.<sup>1</sup>

На фиг. 9 кривые проведены по группам точек кубка Шнейдера и мировых рекордов. Хотя и весьма приблизительно, но можно все же

<sup>1</sup> В конце 1934 года в Италии был установлен новый рекорд 709 км/час.

заключить, что эти кривые как бы стремятся коснуться горизонтали, соответствующей скорости 750 км/час. Таким образом, увеличивая мощности, мы в дальнейшем не получим значительного выигрыша в скорости. Вообще говоря, мощность будет пропорциональна кубу скорости, так что, если бы мы пожелали на самолете, показавшем с мотором 2900 л. с. скорость 682 км/час., получить в нижних слоях атмосферы скорость в два раза большую, то пришлось бы затратить мощность, вероятно, около  $2900 \times 2^3 = 25\ 200$  л. с.



Фиг. 10.

Насколько можно повысить скорость, уменьшая лобовое сопротивление? Для этого делают убирающиеся внутрь корпуса тележки (шасси), складные и сдвижные или гибкие крылья, самолеты без хвоста, помещают пропеллер в особую трубу и т. п. Благодаря этим мерам удалось повысить скорость процентов на 30. Однако при желании добиться дальнейшего увеличения скорости полета было бы не целесообразно летать в нижних слоях атмосферы, и задача неизбежно заставляет нас перейти от полетов в тропосфере, где воздух плотен и представляет огромное сопротивление движению, к полету в стратосфере, где воздух разрежен, представляет малое сопротивление движению и где возможно достичь больших скоростей, иными словами: следует перейти к суперавиации.

На фиг. 10 изображено постепенное завоевание самолетами высоты по годам. На 1934 г. предельная достигнутая высота выражается в 14 500 м.

Различают два основных условия стратосферного полета человека в самолете: в открытой или в герметически закрытой кабине.

В первом случае летчик должен быть соответственным образом одет и снабжен аппаратами для дыхания и согревания. Во втором случае кабина должна быть герметически закрыта, снабжена аппаратами для дыхания (и для поглощения углекислоты) и для обогрева (при громадных же скоростях для охлаждения, когда кабина будет нагреваться при трении о воздух).

Быстрота достижения больших высот определяется допустимым большим безболезненным ускорением, которое можно принять равным 4—6-кратным земному. Основными типами стратопланов в настоящее время являются три:

I. Стратоплан с винтомоторной группой: а) с открытой кабиной, б) с закрытой кабиной, II. Стратоплан реактивный, III. Стратоплан смешанного вида. Первый тип имеет уже ряд осуществленных и летавших образцов. Второй же и третий типы только запроектированы в разных вариантах.

Переходим к рассмотрению первого типа.

### Винтомоторные стратопланы

1) Условия полета. Высота подъема и условия полета самолета с винтомоторной группой в стратосфере зависят от целого ряда условий, из которых главнейшими являются: плотность и состав воздуха. Оба эти условия влияют на работу мотора, который для эффективного сгорания бензина нуждается в определенном количестве воздуха и в достаточном содержании в нем кислорода, необходимого для горения.

Далее, условия разреженности воздуха в стратосфере требуют крыльев самолетов и винтов особых очертаний.

Во всей широте возникает вопрос о наивыгоднейшем типе двигателя для стратосферного полета и способах его питания, охлаждения и т. п.

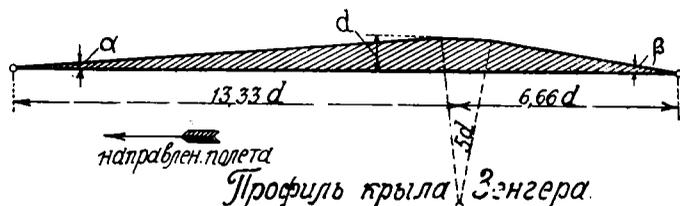
Рассмотрим в общих чертах все эти факторы.

Причина, заставляющая переходить от гиперравнинности к суперравнинности, заключается в том, что при желании получить большие скорости полета мы сталкиваемся с большими величинами сопротивления воздуха. Большое сопротивление воздуха складывается из профильного сопротивления (сопротивление прониканию) и из подъемного или индуктивного сопротивления (сопротивление поддержанию). Первое, при скорости до 240 м/сек., растет пропорционально квадрату скорости; при скоростях больше скорости звука — пропорционально четвертой степени скорости звука (по Крокко). Профильное сопротивление прямо пропорционально плотности воздуха, а индуктивное обратно пропорционально ей. Отсюда следует, что для каждого значения скорости имеется лишь одна высота, на которой плотность воздуха дает минимально полное лобовое сопротивление. Эту высоту Крокко называет экономической. Скорость, соответствующую минимуму лобового сопротивления, он также называет экономической, а отношение поднятого груза к минимальному сопротивлению — максимальным качеством самолета. При больших сверхзвуковых скоростях качество резко падает, и крылья плохо поддерживают.

Австрийский ученый Зенгер, анализируя норму и условия движения крыла в стратосфере при больших скоростях, дает следующую форму профиля крыла, которую он считает наилучшей (фиг. 11).

Мощность обыкновенного мотора с высотой падает. Для сохранения же ее или для более медленного ее понижения применяют или высотные моторы или моторы с наддувом.

Высотные моторы заключают в себе следующие отличия от обыкновенных: а) у земли такой мотор работает с неполным притоком воздуха; полный же приток дается на высоте около 2 км, где и получается полная мощность; б) особое устройство охлаждения облегченного веса, дающее требуемый эффект с высоты около 2 км и с) допускание повышенного сжатия смеси перед зажиганием. Однако все эти меры хороши и целесообразны при полете в тропосфере. По мере поднятия же в высоту скорость и требуемая мощность растут пропорционально  $\sqrt{\frac{1}{\Delta}}$ , где  $\Delta = \frac{\rho h}{\rho_0}$ , т. е. от-



Фиг. 11. Профиль крыла по Зенгеру.

ношению плотности воздуха на высоте  $h$  к таковой же у земли. Для полета в стратосферу, где воздух разрежен, требуется усиленная подача его, и тут применяют нагнетание или наддув его к мотору. В настоящее время существует ряд систем таких нагнетателей: компрессоры Рута, турбокомпрессоры и т. п.

Современные бензиновые двигатели имеют самых разнообразных типов, причем мощность одного из них достигает почти до 3000 л. с.

Вес двигателя на 1 л. с. колеблется в пределах от 0.32 до 1.9 кг, расход горючего на 1 л. с. в час колеблется в пределах от 0.22 до 0.29 кг. В частности, мотор Фармана для его стратоплана, при мощности в 350 л. с., весит с компрессорами 660 кг, что дает на силу 1.9 кг. Охлаждение мотора на высоте предпочтительнее при помощи этилен-гликоля. Особое внимание должно быть обращено на давление, под которым бензин подводится к карбюратору и под которым смесь идет в мотор, так как благодаря наддуву возможен обратный ход смеси и бензина. Далее, для обеспечения зажигания в разреженном воздухе, когда возможно проскакивание искры, в некоторых местах необходимо принять предохранительные меры, например, помещая систему зажигания в герметический кожух с повышенным против наружного давлением.

В отношении воздушного винта, работающего в стратосфере, выдвигаются следующие требования: а) большой диаметр, в) изменение поворота лопастей с высотой.

Первое условие заставляет повышать ось вала мотора над землей, применяя „перевернутые“ моторы и вводить редукторы, применение которых для повышения коэффициента полезного действия винта в суперавиации неизбежно.

Иногда применяют два винта разных диаметров, заставляют в тропосфере работать винт малого диаметра, а в стратосфере большого, но это решение громоздко. Следует заметить, что коэффициент полезного действия винта на большой высоте может уменьшаться до 0.12 вместо 0.75 у земли свойством разреженного воздуха при движении в нем с большими скоростями (сверхзвуковыми). Сравнение необходимых мощностей мотора для достижения больших скоростей в гипер- и суперавиации дает Крокко для шнейдеровского самолета, который развил во время состязаний скорость, равную половине звуковой.

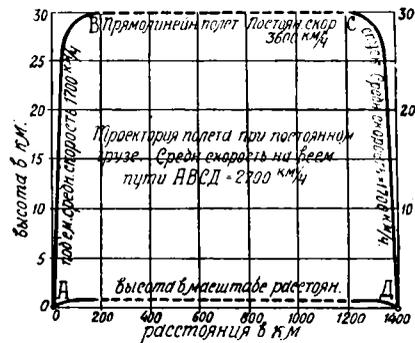
Если бы такому самолету предстояло лететь у земли со скоростью звуковой (340 м/сек., гиперавиация), то потребовалась бы мощность в 30 тыс. л. с. При полете же в стратосфере, с той же скоростью, была бы необходима мощность всего лишь 2 тыс. л. с.

Так как на работу турбокомпрессоров тратится тем большая мощность, чем выше забирается самолет, то для каждого типа самолета и его мотора существует на данной высоте предел скорости, которую может дать самолету остающаяся мощность мотора. Высота, до которой может подняться стратоплан, определяется формулой:  $Z = 30\,000 \log_{10} \frac{18.54}{\pi}$ , где  $\pi$  — удельный вес мотора в кг на л. с. и  $Z$  — в метрах.

При выводе вышеприведенной формулы, принимались следующие основные характеристики стратоплана:

Полный вес . . . . .	Q кг
Вес планера . . . . .	0.25 Q
Вес мотора . . . . .	0.50 „
Полезная нагрузка . . . . .	0.25 „
Нагрузка на крыло . . . . .	45 кг/м <sup>2</sup>
Коэффициент полезного действия винта	
у потолка . . . . .	0.75 „
Индекс высоты $\sigma = C_p^{3/2}$ $C_r = 10$ , где $C_p$	
и $C_r$ коэфф. подъемной силы и лобового	
сопротивления.	

Крокко дает пример расчета траектории стратоплана с винтомоторной группой (фиг. 12). Взлет до высоты 30 км происходит на протяжении 200 км. Далее следует горизонтальный полет на расстоянии 1000 км и, наконец, спуск на 200 км. Средняя скорость полета — 2700 км.



Фиг. 12. Траектория полета стратоплана.

При такой скорости возникает вопрос об охлаждении кабины, которая может чрезмерно нагреваться из-за трения воздуха.

1. Паровые двигатели для стратопланов. Краткий исторический очерк. Попытки применить паровой двигатель на самолете начались еще лет сто тому назад, когда Генсон в Англии спроектировал большой самолет с таким двигателем. Ученик Генсона, Спрингфеллоу, построил модель самолета, летавшего с паровой машиной. В 1852 г. Жаффар во Франции установил на дирижабле паровой двигатель и летал на этом дирижабле. В 1896 г. Ланглей в Америке построил летавшую модель самолета также с паровым двигателем. Далее мы имеем уже ряд построек и проектов самолетов с паровыми двигателями разных типов.

Как показывают пока теоретические расчеты, выгода такого двигателя начинается с агрегата мощностью не менее 1200 л. с. Выгода применения, например, паровой турбины с нефтяной топкой для стратосферных полетов заключается в том, что она может дать постоянную мощность на любой высоте и иметь небольшой желанный вес, например, до  $\pi$ —4 кг/л. с. (с расходом нефти 0.26 кг на л. с. в час), что соответствует высоте подъема в 20 км. Скорость на этой высоте будет около 111 м/сек. Возможно, что удастся достичь значения  $\pi$ —3 кг/л. с. и потолка 23 700 м. Указания на достигнутый американской компанией Грейт Лейк Эйркрафт Корпорейшен удельный вес 1.3 кг/л. с. мало правдоподобны для надежной установки.

Известны паровые двигатели Гарольда Джонстона, Беслера, Рафаэлли и Хютнера.

2. Дизели. Хотя удельный вес дизеля и превосходит в настоящее время вес бензинового двигателя, но зато он потребляет меньше горючего, и суммарный вес двигателя и горючего у дизеля по прошествии нескольких часов может оказаться меньше, чем у бензинового двигателя. Поэтому возможно, что для стратосферных полетов может оказаться пригодным и дизель.

3. Электродвигатели. Идея применения электродвигателей в авиации уже давно имеет своих сторонников и за последние годы, в связи с усовершенствованием паровых и нефтяных двигателей, получает все более и более серьезные обоснования. Сущность установки заключается в следующем. В центре тяжести самолета устанавливается основной термический двигатель, он вращает электрический генератор тока (альтернатор). Ток от последнего идет к электродвигателям, на валу которых насажены воздушные винты.

В нижеследующей табличке приведены данные для подобной установки мощностью 3750 л. с. с вращением вала термического двигателя с 3000 об./мин. Вал вращает альтернатор, и ток от последнего питает 8 асинхронных моторов, мощностью каждый по 400 л. с., вращающих винты 15 000 об./мин. Данные приведены для частоты многофазного тока в 50 и 150 периодов.

	Нормальный вес при 50 период. в сек. кг	Вес после возможн. облегч. кг	Вес при 150 периодах кг
Термический мотор в 3750 л. с. с уд. вес 0.5 кг . . . . .	1 875	1 875	1 875
Альтернатор . . . . .	10 000	5 000	2 250
8 электродвигателей по 1850 кг . . . . .	14 800	7 400	5 000
Всего . . . . .	26 675	14 275	9 125
Вес на 1 л. с. при утилизации 3200 л. с.	8.4	4.45	2.85

Автор этого проекта, французский инженер-электрик Жаке, считает возможным колебание удельных весов электродизельной установки от 1.5 (при мощных установках) до 4 кг на 1 л. с.

При сравнении этой установки с обычной бензиновой винтомоторной группой можно сделать два предположения: худшее и лучшее.

При худшем предположении расход бензина 0.225 кг на 1 л. с. в час и нефти 0.185 кг, т. е. выигрыш лишь 0.04 кг на 1 л. с. в час. При лучшем — бензин 0.25, нефть 0.7 и выигрыш 0.08 кг. Далее принимаем вес бензинового мотора в 1 кг на силу, а вес электродизеля — от 1.5 до 4 кг на силу.

В начале полета вес электродизельной суммарной установки будет больше бензиномоторной. Но по прошествии некоторого числа часов веса их сравниваются, что и показано в следующей таблице.

Удельный вес электродизельной установки	Число часов полета, компенсирующих суммарные веса	
	Худшее	Лучшее
1.5 кг на 1 л. с. . . . .	12 ч. 30 м.	6 ч. 15 м.
2 " " 1 " " . . . . .	25 "	12 " 30 "
2.5 " " 1 " " . . . . .	37 " 20 "	18 " 45 "
3 " " 1 " " . . . . .	50 "	25 "
3.5 " " 1 " " . . . . .	65 " 30 "	31 " 15 "
4 " " 1 " " . . . . .	75 "	37 " 30 "

Таким образом, в наилучшем случае выгода в суммарном весе электродизельной установки могла бы проявиться через 6 час. 15 м. полета.

Между тем электродизельная установка (при больших мощностях) имеет ряд следующих преимуществ:

1) нет риска пожаров и взрывов, 2) простота управления, 3) постоянная мощность у винтов, 4) малое лобовое сопротивление, 5) расположение главных весов в центре тяжести самолета, 6) возможность увеличения мощности установки, 7) устранение неполадок в зажигании, 8) регулировка сохранности и числа оборотов всех электродвигателей, 9) простота охлаждения.<sup>1</sup>

4. Общее заключение о типах стратосферных двигателей. Резюмируя все вышесказанное, можно сделать следующее заключение: осуществление стратосферного полета самолета возможно лишь при применении соответствующего мотора, который, при минимальном весе, давал бы достаточную мощность для горизонтального быстрого полета.

Чем выше будет происходить полет, тем меньше должен быть удельный вес мотора, тем больше должна быть скорость взлета и полета, тем кратковременнее может быть полет, и тем больше должна быть длина полета.

На больших высотах в тропосфере возможно применение высотных бензиновых двигателей с компрессорами и мощных агрегатов электродизелей.

При полетах в стратосфере бензиновый двигатель с компрессором может дать высоту полета до 20 км. Паровой и нефтяной двигатели возможно повысят эту высоту еще больше, может быть до 20—30 км. Дальнейшее же проникание аэроплана в стратосферу возможно лишь при полете с очень большими скоростями и при применении реактивных двигателей.

В нижеследующей таблице сопоставлены современные и возможные свойства двигателей, и показаны приблизительные полетные качества соответственных стратопланов.

Тип установки	Уд. вес в кг на 1 л. с.		Высота полета	Скорость полета	
	Соврем.	Возможн.		м/сек.	м/сек.
Электродизельный и бензиновый двигатели . . . . .	8	3	10	200—300	720—1080
Бензиновый двигатель с компрессором . . . . .	2	1.5	20	300—400	1080—1440
Паровой двигатель . . . . .	3	1.3	20	'	
Дизель и паровой двигатель . . . . .	1.5	1.00	30	400—500	1440—1800
Реактивный двигатель . . . . .			выше 30	500 и выше	1800 и выше

<sup>1</sup> Les Ailes, 1933, № 590 и 1934, № 661.

6. Типы стратопланов с винтомоторной группой. В ниже-  
следующем изложении мы перечислим: а) три проекта стратопланов с за-  
крытой кабиной (Бреге, Плуа и Крокко, б) один самолет с открытой кабиной,  
перелетевший через гору Эверест (6864 м) и с) три построенных страто-  
плана: Герше, Юнкерса и Фармана.

а) Проекты стратопланов с герметически закрытой кабиной

1) Стратоплан Бреге. Французский инж. Бреге в 1920 г. дал проект стратоплана.

На нем предположена установка четырех моторов с компрессорами  
общей мощностью 950 л. с.

2) Стратоплан Плуа. В 1930 г. был опубликован проект страто-  
плана Плуа.

Полет предполагался на высоте 11.5 км. Вес 15 т. Три двигателя  
по 750 л. с. должны были давать скорость 500 км в час.

3) Стратоплан Крокко. Итальянский ученый Крокко в 1930 г. дал  
проект устройства герметической кабины стратоплана, изображенной на  
фиг. 13. В ней помещаются два человека. Буквы обозначают следующие  
части:

*A* — баллон с жидким воздухом, *C* — запор входа в кабину, *D* — кла-  
пан, регулирующий содержание кислорода в кабине, *E* — радиатор,  
*M* — манометр давления в кабине, *O* — стекла триплекс-окон., *P*<sub>1</sub> — рычаги  
управления эльберонами, *P*<sub>2</sub> — рычаги управления рулем поворотов, *P*<sub>3</sub> —  
рычаги управления высоты, *R* — запасной резервуар. высоты, *S* — предо-  
хранительный клапан, *T* — труба от компрессора, *V* — клапан, регулирую-  
щий давление.

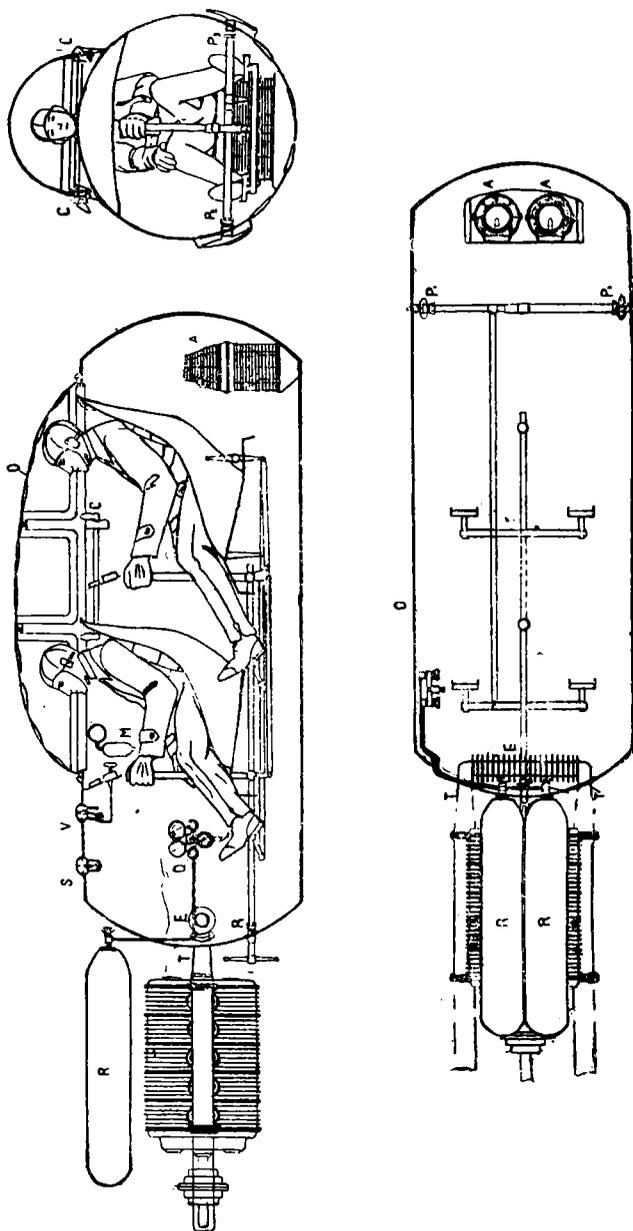
б) Стратоплан с открытой кабиной

Интересный пример самолета для полета на большую высоту пред-  
ставляет самолет, на котором англичане Клайдсдейл и Влакер совершили  
в 1933 г. перелет через гору Эверест в Гималаях. Аппаратом служил  
самолет Вестланд (измененный P. V. 3) с мотором „Пегас“ (S. 3) и с ком-  
прессором. Мотор развивал на высоте 3.5 км 625 л. с. Потолок машины  
был 10 360 м.

Летчики были одеты в комбинезоны и перчатки с электрическим  
согреванием. Мертвый вес самолета был 1620 кг, нагрузка состояла из  
двух человек весом 172 кг, кислород, фото и пр. 93 кг, горючее —  
320 кг, итого — 2205 кг.

с) Стратопланы с закрытой кабиной

1. Стратоплан Герше был построен во Франции при участии изобре-  
тателя Маханина. Основные данные самолета следующие: самолет-моно-  
план с низкорасположенными крыльями. Мотор — Ларрен „Орион“ —  
700 л. с., 18-цилиндровый, W-образный, водяного охлаждения, с 9 карбю-



Фиг. 13. Кабина Крокко.

роторами типа Клодель, с редуктором и с 3-ступенчатым центробежным нагнетателем фирмы Браун-Бовери с числом оборотов крыльчаток 11 000 в мин.

Винт поворотный переменного шага — Ратье.

Герметическая кабина диаметром 1 м, длиной 2 м, сделана из дуралюминия, толщиной 2 мм. Окна кабины имеют два тройных стекла, толщиной в 1 мм, между которыми проходит струя теплого воздуха

во избежание образования льда. Непроницаемость мест протяжки связей органов управления обеспечена сальниками с маслом под давлением. До 3000 м мотор работает без компрессора. Далее же включается компрессор, который поддерживает нормальное атмосферное давление до высоты 7000 м.

Размах . . . . .	18 м
Высота . . . . .	3.8 м
Длина . . . . .	11.7 м
Несущая поверхность . . . . .	45 м <sup>2</sup>
Мотор . . . . .	700 л. с.
Полетный вес . . . . .	2500 кг
Вес на единицу площади крыла . . . . .	55.5 кг
Вес на единицу мощности . . . . .	3.58 кг
Потолок . . . . .	15000 м
Скорость в час у земли . . . . .	337 км/ч
Скорость на высоте 7000 м . . . . .	400 км/ч
Скорость на высоте 15000 м . . . . .	324 км/ч
Скорость подъема на 7000 м . . . . .	11 м. 17 с.
"    "    "    13000 м . . . . .	41 м.
Продолжительность полета . . . . .	3 часа

Данных о полете этого аппарата не имеется.

2. Стратоплан Юнкерса. В 1933 г. в Германии был построен и совершал полеты стратоплан системы Юнкерса. Тип аппарата — металлический одномоторный самолет с низко расположенными крыльями (марка Ju-49). Характеристика его следующая:

Размах . . . . .	28 м
Длина . . . . .	16 „
Площадь крыльев . . . . .	100 м <sup>2</sup>
Вес самолета с кабиной . . . . .	3200 кг
„ 2 человек . . . . .	160 „
„ специального оборудования . . . . .	190 „
„ горючего . . . . .	650 „
Итого . . . . .	4200 кг

Шасси высокое. Мотор — Юнкерс L 88, мощностью 800 л. с. с двуступенчатым приводным центробежным нагнетателем, который поддерживает мощность до высоты 12 км. Потолок — 15 000 м. Винт — диаметром 5.2 м, четырехлопастный.

Скорость на высоте 12 км — 200 км/час при мощности — 400 кг: Максимальная скорость — 500 км/час.

Кабина герметическая из листового алюминия в 3 мм с двойными стенками. Подача воздуха компрессором, обеспечивающим атмосферное давление 0.8 атм. Для удобства обзора в кабине установлен перископ.

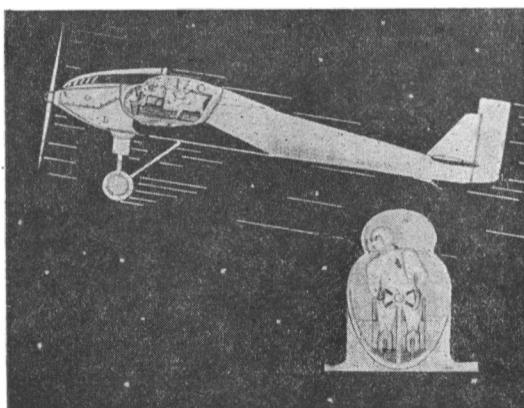
Данных о полете не имеется.

На фиг. 14 изображен общий условный вид стратоплана Юнкерс с разрезом.

3. Стратоплан Фармана. В 1932 г. во Франции фирмой Фарман был построен стратоплан (F-190-C), который совершил ряд полетов; к сожалению, результаты этих полетов опубликованы не были. На фиг. 15 показан общий вид его.

Основные данные этого аппарата следующие: размах крыльев — 19 м, площадь крыльев — 70 м<sup>2</sup>, общий вес — 2535 кг, скорость полета — около 500 км/час, герметически закрытая двухместная кабина имеет диаметр 1 м и длину 2 м.

В кабине предусмотрены все аэронавигационные приборы, инструменты для слепого полета, баллоны со сжатым воздухом и жидким кислородом,



Фиг. 14.

поглотители углекислоты, агрегаты для электрического обогрева одежды и т. д. В кабине поддерживается давление в 350 мм ртутного столба поршневым компрессором и температура воздуха 10° С.

Окна (4) в кабине из двойного стекла толщиной 1.7 см, с циркулирующей горячей воды между стеклами. Тяга управления проходит через сальники. Большое число манометров и термометров (15 для каждого компрессора)

позволяет внутри кабины вести контроль над работой компрессоров и определять работу мотора.

Как только небольшой, работающий от мотора, компрессор доведет воздух кабины до известного давления, тотчас же автоматически открывается клапан, который выпускает излишек воздуха наружу. Как правило, внутри кабины поддерживается давление, соответствующее высоте над землей в 3 км.

Моторная установка состоит из перевернутого 350-сильного 8-цилиндрового V-образного мотора (весом 330 кг) с этилен-гликолевым охлаждением, снабженного тремя последовательно включаемыми центробежными компрессорами Рато-Фарман. Компрессоры включаются последовательно на высоте 5.10 и 15 км.

Потолок самолета рассчитан в 20 км. До 4 км карбюратор засасывает воздух из атмосферы, далее же высасывающее отверстие его закрывается, и начинают работать компрессоры, которые весят 330 кг и поглощают 45% мощности мотора.

Винт переменного типа, 4-лопастный, диаметром 4.6 м системы Фармана-Шовьер. Так как компрессоры при своей работе сильно нагре-

ваются, то они снабжены радиаторами для охлаждения воздуха. Охлаждающаяся топливная система находится под давлением. Приборы зажигания заключены в герметические кожуха, где поддерживается атмосферное давление. Специальная свеча имеет искровой промежуток в 40 мм, вместо обычного 8 мм, в целях устранения появления искр в магнето или снаружи свечей, что может быть в разреженном воздухе. Большой диаметр винта заставил применить мотор перевернутого типа и поставить колеса шасси большого диаметра. Баки с горючим помещены в крыльях.

Вход в кабину производится сверху. До высоты 3 км пилот может держать это отверстие открытым, но затем заворачивает его наглухо, и с этого момента полет производится по инструментам и по наблюдениям через боковые окна.



Фиг. 15. Общий вид стратоплана Фармана.

Фирма Фарман спроектировала еще большой пассажирский стратоплан. Пассажиры и команда помещаются в герметически закрытой кабине, сзади которой имеется склад резервуаров с кислородом. Баки с бензином расположены в крыльях.

#### Выводы.

На основании всего вышеизложенного о стратопланах с винтомоторной группой можно прийти к следующим выводам:

1. Несмотря на малое лобовое сопротивление полету стратоплана в стратосфере появляется ряд затруднений в получении от существующих типов винтомоторных групп необходимой мощности, при условии их малого веса и малого габарита, так как подъемная сила крыльев на высоте весьма невелика.

2. Гиперавиация, т. е. полет в стратосфере, дала почти уже предельные скорости полета (около 700 км/час). Большие скорости трудно получить вследствие чрезмерного увеличения мощности моторов.

3. Современные винтомоторные группы в стратоплане дадут возможность развить в стратосфере скорости не свыше 400 км/час. (хотя Фарман рассчитывает на 500 км/час., Пиккар на 720 км/час. и Крокко—на 900 км/час.).

4. Дальнейший прогресс в высоте и скорости полета аэропланов в стратосфере возможен, но связан с применением реактивного двигателя. К изложению этого вопроса мы теперь и переходим.

#### d) Реактивные стратопланы

1) Общие соображения. Из рассмотрения в предыдущей главе различных двигателей, которые могли бы быть применены в винтомоторной группе стратоплана, следует то, что, несмотря на различные технические приспособления, вроде компрессии воздуха, необходимого для сгорания бензина из нефти, все же мощность с высотой падает, ухудшается на высоте работа винта и трудно получить большие скорости полета (вроде 1000 км/час). Вообще, вряд ли возможен полет стратоплана с винтомоторной группой на высоте 20—25 км. Поэтому у многих техников возникла мысль применить к стратоплану двигатель, мощность которого не изменилась бы с высотой и работа которого не зависела бы от состава и даже наличия атмосферы. В качестве такого двигателя и был предложен реактивный двигатель, работающий по принципу ракеты, или отдачи, или реакции.

Работа такого двигателя не зависит от присутствия атмосферы и даже лучше там, где ее нет. Вот почему и возникла мысль применить реактивные двигатели к полету стратопланов. При помощи таких двигателей рассчитывают получить скорость стратопланов порядка нескольких тысяч километров в час. Задачу эту разные исследователи предлагают решать по-разному. Одни (Вальер, Цандер, Годдар)—считают более выгодным набирать высоту до 20—30 км при помощи винтомоторной группы и только далее применять установленный на стратоплане реактивный двигатель. Другие (Лорэн, Крокко, Стечкин, Горохов)—предлагают прямо подниматься с реактивным двигателем, но работа этого последнего основана на засасывании в него наружного воздуха. Наконец, третьи (Обер, Гефт, Вальер)—предлагают применить в стратоплане реактивный двигатель в чистом виде.

Рассмотрению этих вопросов и посвящена настоящая глава. Предварительно приведем некоторые результаты теоретических подсчетов, произведенных различными учеными, и прежде всего указание, что при скоростях полета ниже 250—300 м/сек., т. е. ниже 1000 км/час, коэффициент полезного действия двигателя является весьма низким и потому не выгодным, хотя и делаются попытки повысить этот коэффициент путем наддува в двигатель атмосферного воздуха и даже применить этот двигатель для полета в тропосфере.

2) Некоторые выводы теории. Вопросами теории полета реактивных стратопланов занимался ряд ученых: Корвин-Круковский, Циолковский, Цандер, Крокко, Зенгер и другие. Остановимся на результатах работ троих из них, давших, на наш взгляд, предельные возможности, которые можно ожидать от реактивных стратопланов, именно на выводах итальянского ученого Крокко, давшего наиболее осторожные заключения, затем на работе русского инженера Цандера, предложившего наиболее оптимистическое решение, и на работе австрийского ученого Зенгера, занимающей промежуточное положение.

Работа Крокко. Работа итальянского акад. Крокко основана на предыдущих работах французского инж. Лорэна и русского инж. Стечкина. Лорэн в 1913 г. предложил реактивный двигатель с засасыванием встречного воздуха следующего вида (фиг. 16, внизу). Двигатель состоит из трубы с отверстием спереди и сзади; канал трубы имеет внутри сжатие. В центральной части трубы происходит вбрызгивание горючего и зажигание его. Вырывающиеся по стрелке газы засасывают воздух, проникающий через переднее отверстие, и выбрасывают его вместе с продуктами сгорания через заднее отверстие. Создающаяся при этом тяга и движет аппарат против стрелок.

Теория такого двигателя, названного Крокко аэротермодинамическим, и была разработана Стечкиным, который указал, что этот двигатель может быть выгоден лишь при скоростях полета не менее 400 м/сек. (1440 км/час) и при условии большого к. п. д. теплового цикла (не менее 0.25).

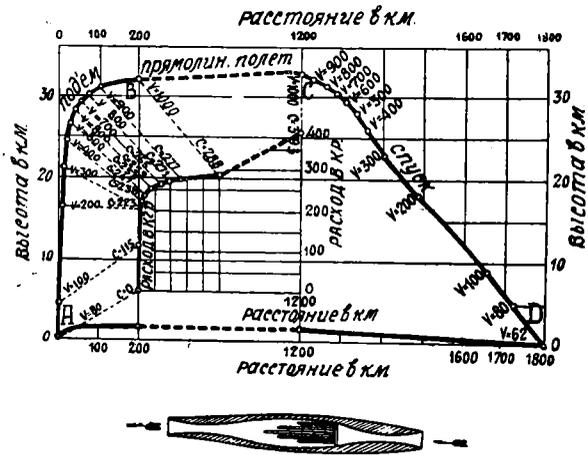
На фиг. 16 приведена диаграмма Крокко, изображающая условия полета стратоплана с таким двигателем при начальном весе в 1000 кг, из которых 400 кг — горючее. По горизонтали отложены расстояния в километрах, а по вертикали — высоты полета в километрах.

Взлет происходит в точке А со скоростью  $V=80$  м/сек. (288 км/час). Стратоплан постепенно набирает высоту до 30 км с лишним, когда он, пролетев по горизонтали 200 км, разовьет скорость 1000 м/сек. (3600 км/час) и израсходует горючего 288 кг. Далее, на протяжении 1000 км он летит с постоянной скоростью в 100 м/сек., израсходовав остаток горючего (112 кг), и затем переходит на планирование, покрывая с достаточной высоты еще 600 км. Таким образом, весь путь в 1800 км он покроеет со средней скоростью около 2700 км/час.

Внизу диаграммы изображен тот же путь, причем масштабы высоты и длины взяты одинаковыми.

Давая эту диаграмму, Крокко предостерегает читателя, что она является как бы идеальной и трудно осуществимой.

Работа Цандера. Русский инженер Цандер в 1933 г. предложил расчет и идею реактивного стратоплана, схему полета которого выражает фиг. 17. Начальный вес аппарата предположен в 5000 кг, тяга реактивного



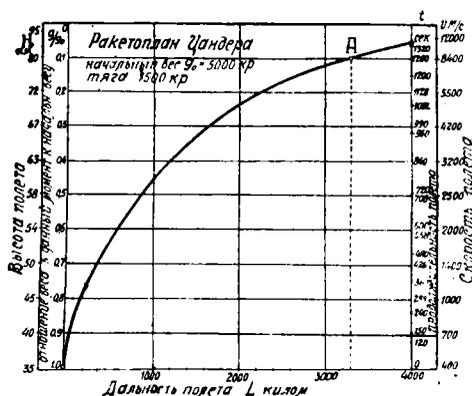
Фиг. 16.

двигателя принята в 1500 кг. Начало полета с реактивным двигателем с высоты 35 км.<sup>1</sup>

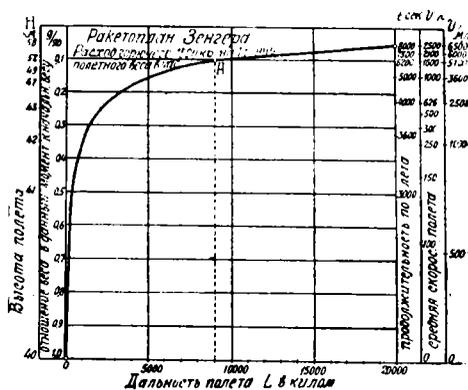
По горизонтали отложены длина полета в километрах, а по вертикали — масштабы высот полета, времени, скоростей и отношений относительного веса стратоплана.

Например, аппарат, пролетев 3300 км (точка *A* кривой), достигает высоты *H*—80 км, разовьет скорость 8400 м/сек., потратит времени на полет 1200 сек., и вес его будет составлять 0.1 начального веса.

Работа Зенгера. Австрийский инженер Зенгер в своей интересной работе „Техника реактивного полета“ дает следующие результаты, которые можно ожидать от реактивного стратоплана, расходующего на



Фиг. 17.



Фиг. 18.

каждую тонну своего полетного веса в час 150 кг горючего (фиг. 18). Он считает достаточной дальность полета в 20 тыс. км. Высота полета колеблется от 40 до 58 км. Скорость достигает в среднем 2500 и максимум 6500 м/сек. Например, покрыв 9000 км (точка *A*), стратоплан достигнет высоты 52 км в 620 сек., при средней скорости полета 1600 м/сек. и при максимальной 5200 м/сек. При этом вес его будет составлять 0.1 начального веса.

Из сравнения приведенных трех работ видно, что этими учеными приписываются высоты полета реактивных стратопланов не ниже 30 км, средние скорости полета — не ниже 800 м/сек. (2700 км/час) и дальности от 1200 км и более, причем продолжительность полета сравнительно не велика (0.5 часа, по Крокко,— на 1200 км). Иными словами, стратосферный полет реактивного аэроплана должен происходить возможно быстрее, возможно выше и возможно менее продолжительное время. А для этого стратоплан должен развивать большое ускорение. Однако последнее,

<sup>1</sup> Подъем до этой высоты предположен с винтомоторной группой, которая затем разбирается и сжигается.

в случае помещения в аппарате людей, не должно превосходить безопасного для их здоровья, т. е. 4—5-кратного ускорения земного тяготения т. е. 4—5 g, что и определяет условие проектирования пассажирских реактивных стратопланов.

Из других работ, относящихся к теории полета реактивных стратопланов, упомянем о трудах Гоманна, Циолковского и Корвин-Круковского. Первый дал теорию планирующего спуска аппарата в земной атмосфере (1925), второй — разработал теорию полета такого аппарата (1930) и третий указал на оригинальную возможность „вечного полета“ стратоплана в стратосфере, если лететь в зоне ее, где содержание кислорода и водорода соответствует составу гремучего газа (около 70 км), и если удастся устранить влияние примеси азота. Засасывая водород и кислород атмосферы, сжимая эту смесь и подавая ее в двигатель, можно было бы вечно лететь в этом слое, не нуждаясь в запасах топлива.

3) Двигатели реактивных стратопланов. Прежде чем перейти к описанию существующих и проектируемых реактивных аэропланов, дадим общее понятие об устройстве намечаемых для них реактивных двигателях, оставляя подробности для главного — „ракеты“.

Хотя в существующих военных самолетах для взлета и применяются теперь ракеты на твердом топливе, но пока все исследователи видят будущее в ракетных двигателях на жидком топливе и в связи с этим классифицируют их следующим образом:

#### А. Взрывные ракеты

1. Ракеты без предварительной подготовки сжатой смеси, которая состоит из жидкого или газообразного горючего и газа — кислорода или воздуха.

2. Ракеты с предварительной подготовкой сжатой смеси.

3. Ракеты с жидким горючим (жидкий кислород — жидкое горючее).

#### В. Ракеты с постоянным давлением

4. Ракеты с предварительной подготовкой сжатой смеси.

5. Ракеты с жидким горючим.

Идеи типов 1 и 2 применяются в газовых турбинах и не годятся для стратоплана, в виду малого коэффициента полезного действия. Тип 4 не подходит для полета, в виду затруднительности получить предварительное высокое давление горючей смеси.

Таким образом, для стратопланов остаются типы 3 и 5, причем тип 3 дает меньше температуры в камере сгорания, а тип 5 — большой коэффициент полезного действия.

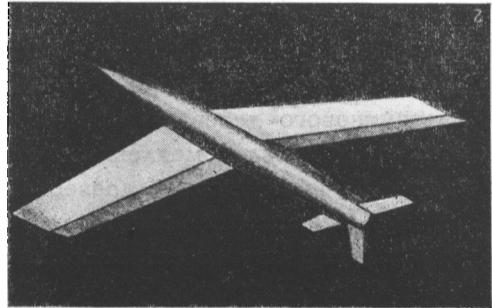
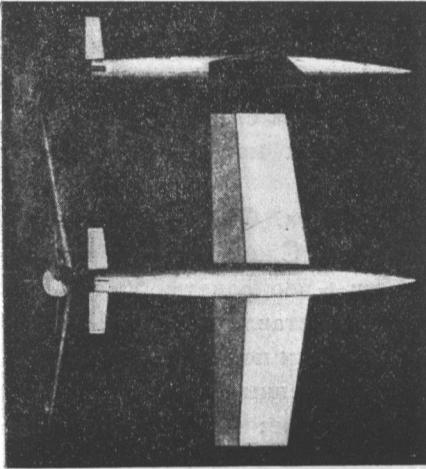
Ранее (фиг. 16) был уже описан тип реактивного двигателя, названного Крокко аэротермодинамическим. Дальнейшее развитие двигателя этого типа сделал Цандер в своих проектах.

Двигатель Цандера. Основная идея устройства двигателя Цандера заключается в том, что газы или поступающий извне воздух сильно уплотняются и затем или выбрасываются наружу, создавая реак-



Ладемана, 5) ракетоплан Оберта, 6) Гефта, 7) Реактивный стратоплан Зенгера, 8) Стратоплан Циолковского.

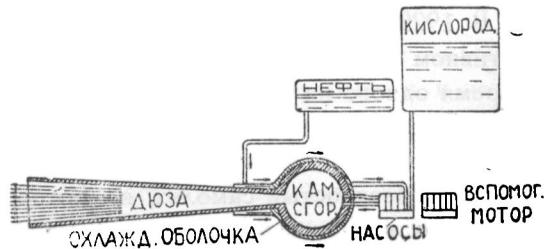
На фиг. 20 изображен в схематическом виде проект реактивного стратоплана Зенгера, а на фиг. 21 отдельно схема его двигателя. Выше были приведены соображения Зенгера о полете такого аппарата.



Фиг. 20.

б) Реактивные стратопланы с добавочной винтомоторной группой. В проектах этой группы предполагается, что взлет стратоплана сначала совершается при помощи работы винтомоторной группы, а затем, когда аппарат достигнет стратосферы, начинает работать реактивный двигатель.

Аппараты подобного типа предлагались Вальером, Цандером, Циолковским и Годдаром, но осуществлены не были.



Фиг. 21.

## II. Осуществленные ракетопланы

а) Модели. 1. Модель в Бреславле. В 1927 г. в Бреславле были произведены опыты полета модели аэроплана с ракетным пороховым двигателем. Двигатель прикреплялся спереди под крыльями. Размах крыла был 1.5 м. Взлет и полет длились 10 сек., спуск происходил планированием.

2. Модель в Рене. В 1928 г. во время планерных состязаний в Рене (Германия) был сделан ряд опытов с моделями ракетопланов. Пороховые ракеты давали тягу, достаточную для взлета, которая доходила до высоты в 100 кг.

3. Магдебургская модель (моноплан). Пороховая ракета помещена под фюзеляжем.

4. Венская модель (биплан). Пороховая ракета помещена в фюзеляже над нижним крылом.

5. Итальянская летающая бомба. В 1918 г. в Италии появилась крылатая бомба реактивного действия.

6. Модель Граффины. В 1908 г. Граффины во Франции предложил устройство модели реактивного самолета. Двигателем служила пороховая фейерверочная ракета, расположенная под крылом модели. Дальность полета ее доходила до 1 км.

7. Американская модель реактивного самолета. Она покрывала до 100 м на высоте 2 м, при скорости до 60 км/час. Сделана она была из бальзаминового дерева и весила пустая 156 г + вес ракеты 56 г. Для горения применялся медленно горящий порох, составленный из 1 части селитры, 1 части порошка древесного угля и  $\frac{1}{10}$  доли порошка серы.

б) Пассажирские ракетопланы. Из осуществленных и летавших при помощи ракет (пороховых) самолетов известно четыре: Штамера, Опделя, Эспенлауба и Каттанео. Приводим краткие описания этих ракетопланов.

1. Ракетоплан Вальера, Сандера и Опделя.

В 1928 г. во время планерных состязаний в Рене (Германия) состоялся и первый полет человека, летчика Штамера, на ракетоплане типа „Утка“. Пороховые ракеты были расположены посередине конца фюзеляжа. Установлено было две ракеты, дававшие тягу 15 и 20 кг. Самолет запускался при помощи ракет, достигая высоты до 1.5 км, летая около 80 сек.

2. Ракетоплан Опделя.

В 1929 г. Опдель в Германии совершил ряд удачных полетов на реактивном моноплане. В фюзеляже находились 16 пороховых ракет. Во время одного из подъемов Опдель совершил полет в 1.5 км.

3. Ракетоплан Эспенлауба.

Летом 1930 г. немецкий летчик Эспенлауб построил в Дюссельдорфе (Германия) безхвостый самолет, на котором были установлены три пороховых ракеты. При первых опытах этот аппарат запускался другим самолетом и, по достижении высоты в 20 м, освобождался. Тогда производилось зажигание ракет, и самолет силою их отдачи достигал скорости 150 км/час и мог летать вокруг местного аэродрома, совершив путь до 2 км. При дальнейших опытах число ракет было увеличено, и самый взлет происходил уже с помощью ракет, причем разбег был лишь 10 м при действии стартовой ракеты, дававшей тягу 150 кг. Дальнейший полет происходил под действием остальных трех ракет, дававших тягу на 15 кг в продолжение 30 сек. каждая. На самолете была установлена еще одна стартовая ракета с тягой 200 кг. Вес пустого самолета 220 кг. Нагрузка 160 кг, включая 70 кг ракет.

4. Ракетоплан Каттанео. В 1931 г. в Италии летчик Каттанео совершил удачный полет на моноплане с пороховыми ракетами.

## Заключение о реактивных стратопланах

Резюмируя все вышесказанное о реактивных стратопланах, приходится констатировать, что, несмотря на ряд проектов таковых аппаратов, ни один из них еще не был построен, хотя опыты с моделями и реактивными самолетами показали возможность полета аэроплана с ракетной тягой. Однако, учитывая, что ракета как двигатель выгодна лишь при очень больших скоростях, каковые вряд ли выдержат крылья самолета, следует смотреть на попытки осуществления реактивных самолетов лишь как на опыты с самими ракетами и как на переходную ступень к ракете „*eo ipso*“, т. е. как к самостоятельному летательному аппарату, которому, повидимому, и предстоит завоевать стратосферу. К описанию ракет мы теперь и переходим, но предварительно скажем несколько слов о стратопарашютах.

### СТРАТОПАРАШЮТЫ

Одним из необходимых приборов снаряжения стратонавтов является парашют. Однако условия работы парашюта в разреженном воздухе при большой скорости падения еще не изучены и подлежат изучению. Поэтому заслуживают внимания те попытки и идеи, которые были сделаны в этом отношении. Их было предложено несколько. Приведем описание двух из них: Оберта в Германии и о-ва „Алкан“ во Франции.

1. Парашют Оберта. Он имеет кольцевидную форму и при помощи регулировки длины тросов может изменять площадь сопротивления падению. При таких условиях пилот может по желанию увеличивать и уменьшать скорость падения.

2. Парашют Алкан является в сущности падающей с человеком небольшой лабораторией. При падении парашют раскрывается, и натяжение троса передается регистрирующему прибору. Кроме того, предвидено устройство, автоматически раскрывающее парашют, когда человек удалится на известное расстояние от стратосудна. В приборе имеются аппараты для измерения скорости падения и тяги. Наконец, его можно снабдить и другими регистрирующими приборами-автоматами.

### РАКЕТЫ. ОБЩИЙ ОБЗОР

#### а) Введение

История появления ракет восходит к глубокой древности. В настоящее время они достигли уже значительной степени развития и служат для самых разнообразных целей. Однако мысль о запуске их в стратосферу и о технически возможном осуществлении этого запуска возникла лишь недавно. Целый ряд теоретических работ ученых разных стран раскрывают перед нами заманчивые перспективы широчайших возможностей полета ракет на большие высоты и расстояния. К сожалению, техника ракеты пока отстает от теории, и мы не можем в настоящее время осуществить

все выводы теории. Тем не менее и в настоящее время эта техника уже настолько развилась, что мы можем с уверенностью говорить, что в недалеком будущем ракета поднимется в стратосферу.

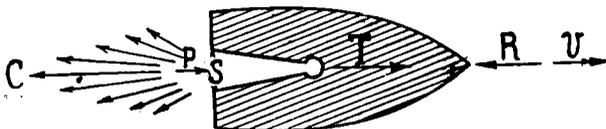
Прежде чем перейти к рассмотрению разных ракет, приведем в кратких чертах основные положения теории полета ракеты:

в) Краткая теория ракеты

Основное уравнение, характеризующее полет ракеты, имеет следующий вид (фиг. 22):

$$v = c \operatorname{lg} \frac{M_0}{M}, \quad [1]$$

где  $v$  — скорость полета ракеты,  $c$  — скорость истечения из нее газов,  $M_0$  — начальная масса ракеты,  $M$  — масса ее в данный момент полета.



Фиг. 22.

Это уравнение можно написать в виде

$$\frac{M_0}{M} = e^{\frac{v}{c}}, \quad [2]$$

где  $e$  — основание неперовых логарифмов.

Выгоднее всего, конечно, так спроектировать ракету, чтобы она расходовала как можно меньше горючего, т. е. чтобы  $M_0$  было по возможности меньше. Формулы [1] и [2] показывают, что  $M_0$  будет тем меньше, чем больше  $c$ , т. е. чем больше скорость извержения газов. Поэтому следует подбирать такое горючее, которое, при наименьшем весе, давало бы наибольшую скорость извержения газов.

Тяга ракеты определяется из уравнения

$$T = p \cdot S - R + mc, \quad [3]$$

где  $R$  — встречное сопротивление воздуха,  $m$  — вырывающаяся масса в секунду,  $c$  — скорость извержения,  $S$  — площадь извержения,  $p$  — наружное давление на единицу площади.

Если ракета летит в верхних слоях стратосферы, где воздуха почти нет, то уравнение [3] напишется в виде

$$T = m \cdot c, \quad [4]$$

т. е. тяга будет тем больше, чем больше скорость извержения и чем больше извергается масса в секунду. Коэффициентом полезного действия ракеты называется отношение работы, произведенной ракетой, к энергии горючего.

Первая равна произведению тяги на скорость, т. е.

$$T \cdot v = m \cdot c \cdot v.$$

Вторая, в единицу времени, равна

$$mE,$$

где  $E$  — механическая энергия, соответствующая единице массы горючего.

Поэтому к. п. д. ракеты будет равен

$$\eta = \frac{T \cdot v}{mE} = \frac{c \cdot v}{E}, \quad [5]$$

т. е. будет тем больше, чем больше скорость извержения газов и чем больше скорость полета.

Таким образом, главным фактором, влияющим на скорость полета, на вес ракеты, на тягу и на коэффициент полезного действия, является скорость извержения газа, которая должна быть возможно больше.

Кроме того, необходимо, чтобы время горения, необходимое для развития большой скорости ( $v$ ) ракеты, было возможно меньше, а это связано с большим ускорением взлета. В случае пассажирской ракеты это ускорение не должно превышать 4—5  $g$ , допустимого без вреда для человека.

На фиг. 23 приведены диаграммы Пиркэ, составленные им для полета страто-ракеты, исходя из условий: скорость ( $c$ ), извержение газов — 3 км/сек., ускорение взлета или замедление спуска  $g = 2$  м/сек.<sup>2</sup> Длина полета, необходимая для достижения данной высоты, принята равной длине спуска с той же высоты.

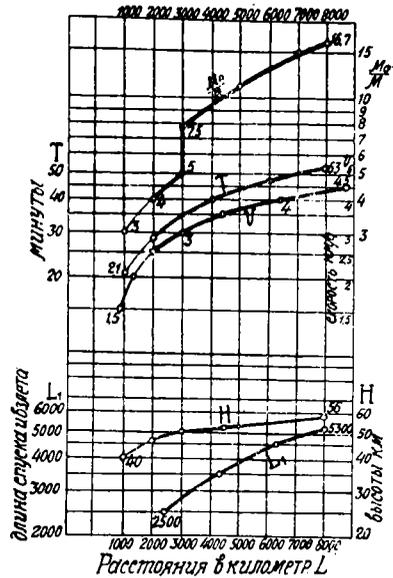
По абсциссам отложены расстояния  $L$  в километрах (от 1000 до 8000 км). По вертикалям отложены логарифмические масштабы:

высоты полета  $H$  — от 40 до 56 км; скоростей полета — от 1.5 до 4.5 км/сек.; продолжительности полета  $T$  от 21 до 53 мин.; отношений начальной массы ракеты к весу ее в данный момент:

$$\frac{M_0}{M} \text{ от 3 до 16.7.}$$

Длина взлета и спуска  $L$  от 2500 до 5300 км.

Кривые же длин  $L$  от 1000 до 2000 км проведены тонкими линиями, так как полеты на таких длинах невыгодны.



Фиг. 23.

Кривая  $\frac{M_0}{M}$  на расстоянии 2900 км делает скачок от 5 до 7.5, так как за этим расстоянием необходимы уже составные ракеты.

*Пример.* При полете ракеты до высоты 56 км потребуется отношение начальной массы ракеты к конечной — 16.7, время полета будет 52 мин., длина разбега 5300 км, длина спуска 5300 км, длина полета 8000 км, максимальная скорость 4.5 км/сек.

В нижеследующей таблице приведены данные некоторых сортов горючего, применяемых в ракетах.

Горючее	Энергия 1 кг км $\times 10^8$	Скорость извержения газов м/сек.
Порох . . . . .	0.3	2400
Пироксилин . . . . .	0.45	2900
Бездымный порох . . . . .	0.535	3240
Нитроглицерин . . . . .	0.768	3880
Водород с кислородом . . . . .	1.10	4680
Бензин + озон . . . . .	1.25	4960
Бензин + кислород . . . . .	1.01	4450
Метан + кислород . . . . .	1.03	4490
Керосин + кислород . . . . .	0.99	4410
Спирт + кислород . . . . .	0.89	4180
Водород + озон . . . . .	1.32	5080

### Методы автоматической устойчивости и управляемости ракеты

Не касаясь здесь деталей устройства приспособлений, обеспечивающих автоматическую устойчивость и управляемость ракеты, приведем здесь лишь общую классификацию с некоторыми описаниями.

А. Устройства, работающие в земной атмосфере. 1) Хвосты (палки, стержни). 2) Плавники и рули. Последние работают или под действием встречного воздуха или под действием извергающихся газов. 3) Радиоуправление. 4) Действие инфра-красных лучей земной станции.

В. Устройства, работающие в сфере земного тяготения и магнетизма. 5) Маятники. 6) Земные индукционные компасы.

С. Устройства, работающие в космическом пространстве. 7) Жироскопы. 8) Термические приемники, работающие под действием солнечных лучей. 9) Фотоэлектрические аппараты. 10) С часовым механизмом.

## Классификация ракет

В настоящее время существует очень много ракет самых разнообразных типов. Приведем здесь попытку классификации их, которая может быть сделана на основании разных признаков (см. табл. на стр. 656).

### ТИПЫ РАКЕТ

#### а) Введение

В настоящее время, как уже показывает указанная таблица классификации, существует громадное разнообразие типов запроектированных, построенных или летавших ракет.

Хотя ни одна ракета в стратосферу еще не проникла, но к этой цели ведут все опыты и работы ученых, техников и изобретателей всех стран. Поэтому мы считали полезным привести ниже описание и изображения ракет, полет которых в стратосферу возможен, так как все это дает ясную картину тех громадных работ, которые проделаны в этом деле, и показывает, что человечество стоит накануне полета ракет в стратосферу, и не только в стратосферу, но даже за пределы земной атмосферы вообще так как теория ракеты показывает нам увлекательные перспективы полета ее в космическое пространство, что повлечет за собою наступление межпланетных сообщений.

Для удобства описания ракет разных типов мы разделили таковое на следующие этапы. Сначала будут описаны пороховые ракеты, затем ракеты на жидком топливе, причем особый отдел отведен ракетам Оберта, который создал много типов ракет на жидком топливе. В заключение будет сделан обзор предложенных проектов космических ракет.

#### б) Пороховые ракеты

Пороховые ракеты Тилинга. В 1931—1933 гг. в Оснабрюке (Германия) состоялся ряд удачных полетов пороховых ракет Тилинга.

Рейнгольд Тилинг, летчик и бывший пилот, задался целью сконструировать ракету, которая удовлетворяла бы условиям, при которых

1) нарастание скорости (ускорение) при взлете происходило бы медленно, в пределах, не опасных для человека;

2) ракета обладала бы достаточной продолжительностью горения и мощностью для подъема на большую высоту и для полета на большую дальность;

3) спуск происходил бы безопасно и плавно.

Предвидя будущность ракет с жидким топливом, Тилинг, однако, решил применить в качестве горючего порох как более безопасное вещество, позволяющее избегать сложных конструкций. Материалом для опытных ракет служило сначала дерево, потом алюминий; гильзы же с дюзами были стальные. Схема ракеты показана на фиг. 24.

		№
I. По горючему и способу его сгорания	a) на твердом топливе	1. С непрерывным горением <sup>3</sup> 2. С прерывистым горением 3. С непрерывным горением <sup>3</sup> 4. Взрывные <sup>4</sup> 5. С непрерывным горением <sup>2</sup> 6. Взрывные <sup>1</sup> 7. Взрывные. Без предварительного сжатия. С предварительным сжатием смеси 8. Взрывные <sup>1</sup>
	b) на жидком топливе	
	c) на газообразном топливе	
	d) на смеси жидкого и газообразного топлива	
II. По устройству, числу и расположению	e) по устройству дюзы	9. Без наддува наружного воздуха 10. С наддувом или подсосыванием наружного воздуха 11. С вращающимися дюзами 12. Толкающие 13. Тянущие 14. Смешанного типа 15. Одномоторные 16. Двухмоторные 17. Трехмоторные 18. Четырехмоторные 19. Многомоторные 20. Ракеты с параллельными дюзами
	f) по расположению дюзы	22. С хвостами 23. С плавниками и рулями 24. Вращающиеся 25. С жироскопами 26. С направляющей оптикой 27. С направляющей термопарой
	g) по числу дюзы	28. С направляющим лучом 29. С часовым механизмом 30. С маятником или компасом 31. Фейерверочные 32. Сигнальные 33. Осветительные 34. Спасательные 35. Градобойные 36. Фоторакеты 37. Регистрирующие 38. Боевые 39. Почтовые 40. Пассажирские 41. Космические 42. Опытные 43. Крылатые 44. С парашютами 45. С контрвзрывами
III. По устойчивости и управлению		
IV. По назначению		
V. По способу пуска		

<sup>1</sup> Взрывные ракеты на газообразном топливе и на смеси жидкого и газообразного топлива благодаря своему малому к. п. д. не применяются. Как двигатели они имеют место в газовых турбинах.

<sup>2</sup> Ракеты на газообразном топливе, предварительно сжатом, также не применяются благодаря трудности получить большое сжатие.

<sup>3</sup> Ракеты на жидком топливе с непрерывным горением имеют сравнительно высокий к. п. д.

<sup>4</sup> Ракеты на жидком топливе, взрывные, имеют в камере сгорания сравнительно низкую температуру.

Корпус ракеты имеет 6 плавников. Два из них, по достижении ракетой потолка, расправляются и превращают ракету как бы в планер, допуская плавный спуск на землю.

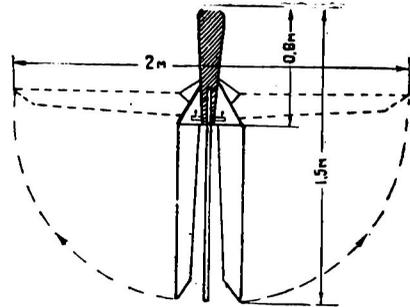
Приводим описание некоторых опытов.

1. Ракета была укреплена дюзой вверх и подожжена. Продолжительность горения была 11.5 сек.

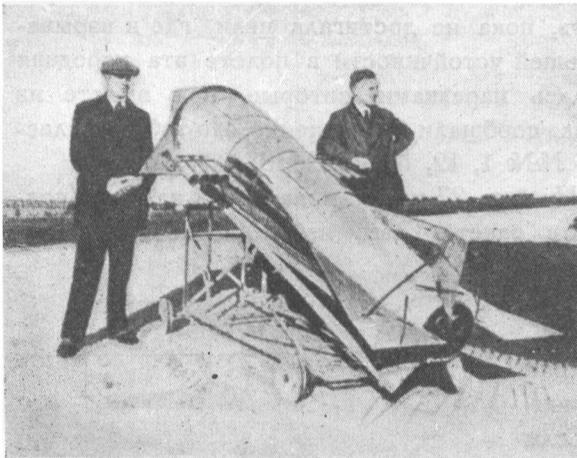
2. Следующая ракета имела длину 1.9 м. Подъем ее происходил с быстрым нарастанием скорости до высоты 2 км.

3. Далее были пущены еще три ракеты, с постепенно возрастающими зарядами. Из них вторая и четвертая поднялись на большую высоту, третья же разорвалась на высоте 15 м и без вреда для окружающих.

4. Взлет модели пассажирской ракеты (из дерева). В головку ее были положены почтовые открытки. На высоте 2 км ракета расправила плавники и, описав спираль, плавно опустилась на землю.



Фиг. 24.



Фиг. 25.

Пороховая ракета Цуккера. На фиг. 25 изображена многодюзная ракета Цуккера, опыты с которой делались в 1933 г. в Куксгафене. В аппарате имеются сзади 4 толкающих ракеты и с обоих боков по 4—тянущих. Всего 12 ракет. По таблице классификации это №№ 1, 14, 19, 20, 21, 23.

Почтовая пороховая ракета Шмидля. Эта ракета, совершила ряд удачных полетов с почтой в Австрии. Длина ракеты 170 см, диаметр спереди 24.5, сзади — 23.5 см. При спуске ракета плавно спускалась на парашюте. Нагрузка письмами колебалась на полет от 28 до 283.

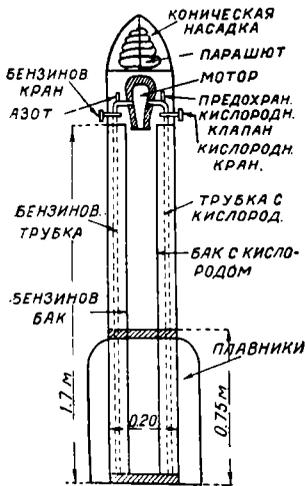
5. Наконец, была пущена еще почтовая ракета, которая на высоте расправила все плавники под углом так, что, падая, начала вертеться как волчок и парашютировать, медленно снижаясь. По таблице классификации это № 1, 12, 15, 23, 39. Тиллинг, при своих опытах, достигал высоты подъема до 8 км.

К сожалению, 10 октября 1933 г. в его лаборатории произошел взрыв, и изобретатель погиб.

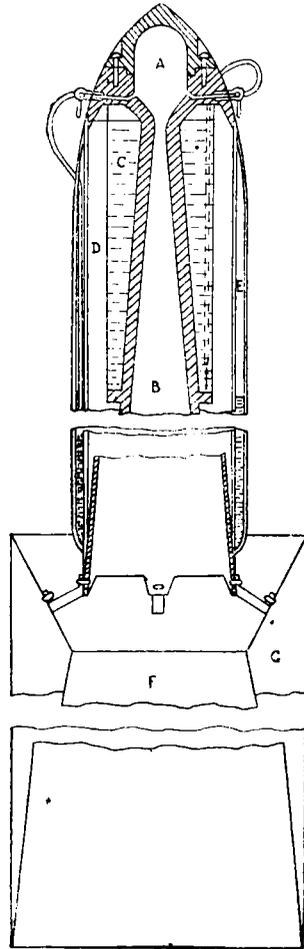


Таким образом, увеличение расхода массы казалось бы весьма благоприятным для повышения тяги ракеты, но не следует упускать из виду, что часть тепловой энергии ракеты будет тратиться на преодоление трения между воздухом и газом и на смесь их. Поэтому случаи, когда подобное устройство будет выгодным, следует определить, исходя из термического расчета ракеты и на основании опытов.

По этому принципу инж. Корт (Германия) сконструировал ракету и произвел в 1932 г. с нею ряд опытов по определению коэффициента полезного действия ракеты с подсосыванием. На основании своих опытов Корт приходит к заключению, что до скоростей 2000 м/сек. устройство подсосывания может принести выгоду. По таблице классификации это №№ 3, 10, 11, 15, 42.



Фиг. 28.



Фиг. 29.

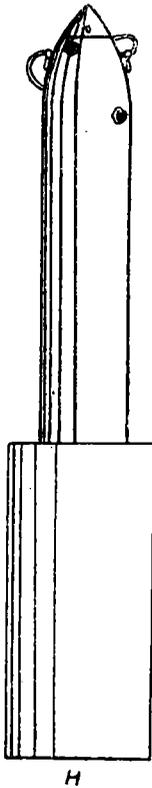
### с) Жидкостные ракеты.

На фиг. 28 изображен разрез тянущей ракеты американца Булля. Мотор помещается в голове ее. Горючее (жидкий кислород и бензин) помещается под давлением газа в двух вертикальных трубах и подается через внутренние узкие трубки в камеру сгорания. Внизу имеются плавники, вверху — помещение для парашюта.

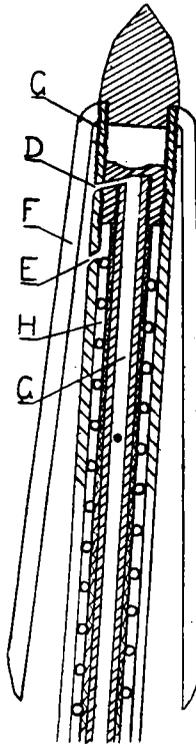
Ракета Шмидта и Пендрей. В 1933 г. в США была построена ракета на жидком топливе. Высота ее 1.7 см, диаметр—0.2 м, вес—9 кг, подъемная сила—27 кг, проектируемая высота полета—8 км. Спуск предположен на парашюте. Ракета (фиг. 29 и 30) состоит из двух частей:

вверху находится мотор и длинная дюза, окруженная трубчатым баком. Буквы на фигуре обозначают следующие части:

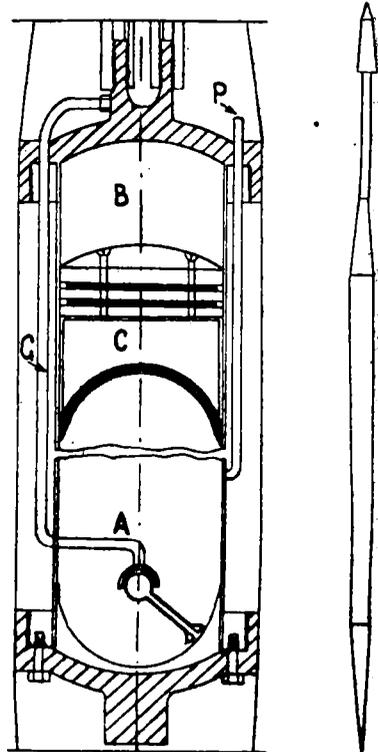
*A* — камера сгорания, *B* — дюза, *C* — бак с бензином, *D* — бак с азотом под большим давлением, *E* — бак с кислородом, *F* — трубка Вентури, *G* — парашют и инструмент, *H* — общий вид ракеты.



Фиг. 30.



Фиг. 31.



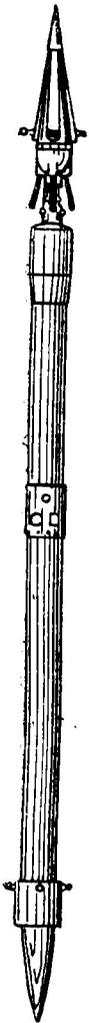
Фиг. 32.

Горючее (бензин) поступает в камеру сгорания под давлением азота. В нижней части находится продолжение дюзы. Наружный воздух, поступающий в кольцевое отверстие между нижней и верхней частями, смешивается с продуктами горения и извергается вниз. Это устройство служит для устойчивости полета в воздухе. По таблице классификации это №№ 3, 10, 13, 15, 23, 42.

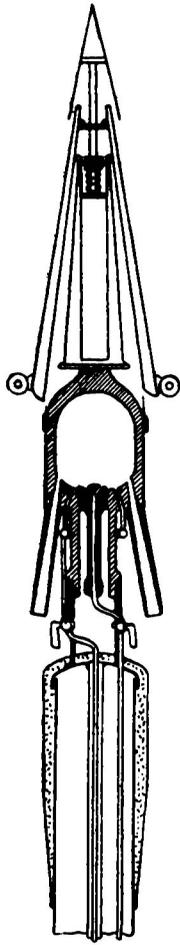
Корпус ракеты сделан из алюминия. На фиг. 30 изображены: слева — общий вид ракеты, справа — внутренний мотор ее.

Ракета Пирса, Карвера и Шашнера. На фиг. 31 изображена схема ракеты, построенной в 1933 г. американцами Пирсом, Карвером и Шашнером.

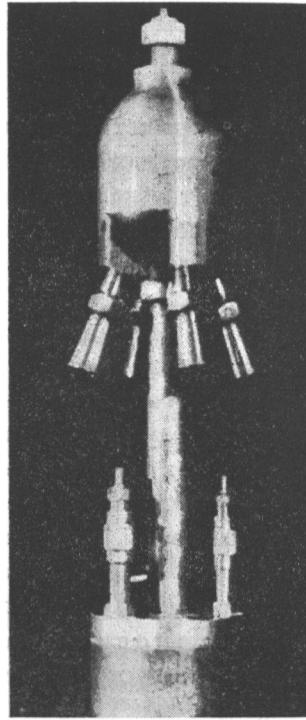
Двигатель ее состоит из конуса вместо обычной камеры сгорания и дюзы. Горючее подводится к вершине конуса через кольцевые отверстия.



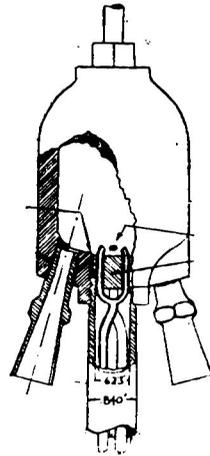
Фиг. 33.



Фиг. 34.



Фиг. 35.



Фиг. 36.

*D* и *E*. Горение происходит в конусе, который, таким образом, служит и камерой сгорания и дюзой. Бензин помещается в баке *B*, жидкий кислород в продолжении *A* того же бака фиг. 32. Они разделены между собой поршнем *C*. Под давлением паров кислорода бензин и кислород должны поступать в верхний конус, *G* — трубка, подводящая кислород, *H* — трубка, подводящая бензин, *P* — предохранительный кислородный клапан, *R* — общий вид ракеты. По таблице классификации это №№ 3, 13, 15, 22, 42.

Четырехмоторная ракета Аренса, Маннинга, Биста и Шеста. На фиг. 33—36 изображена схема построенной в 1933 г.

Четырехмоторная ракета Аренса, Маннинга, Биста и Шеста. На фиг. 33—36 изображена схема построенной в 1933 г.

в США ракеты Аренса, Маннинга, Биста и Шеста. Высота ее 3 м, диаметр 0.25 м. Горючим служит бензин и жидкий кислород. Высота полета намечена до 8 км. Ракета состоит из трех частей.

1. Верхняя острая насадка предназначена для рассекания воздуха.

2. Четыре дюзы с четырьмя подводными кислородными и двумя бензиновыми трубками.

3. Приспособление для плавного спуска ракеты на землю. Оно включает в себе четыре лопасти пропеллера, которые расположены у вершины и сложены при взлете. При спуске же они распрямляются и действуют как парашют, сообщая ракете вращение. Баки с горючим помещаются в трубчатой части ракеты.

Позднее в конструкцию ракеты были введены некоторые изменения, относящиеся главным образом к подаче горючего в камеру сгорания. Вместо четырех кислородных и двух бензиновых трубок было устроено по две для каждого горючего. Все они заключены внутри одной общей центральной трубы, соединяющей нижнюю часть ракеты с верхней и идущей к камере сгорания. Интересен примененный способ вбрызгивания горючего в камеру. Они производятся под прямым углом друг к другу.

Пассажирская ракета Небеля. В 1933 г. была начата в Германии постройка стратосферной ракеты инж. Небелем. История этого дела такова.

27 января 1933 г. состоялось соглашение между берлинским ракетным обществом и администрацией г. Магдебурга в Германии о постройке и полете первой пассажирской ракеты. Основой соглашения были следующие условия. Магдебург в лице ряда своих учреждений финансирует все дело, внося на это сумму около 40 000 марок. Берлинское же ракетное общество берет на себя всю технику этого дела.

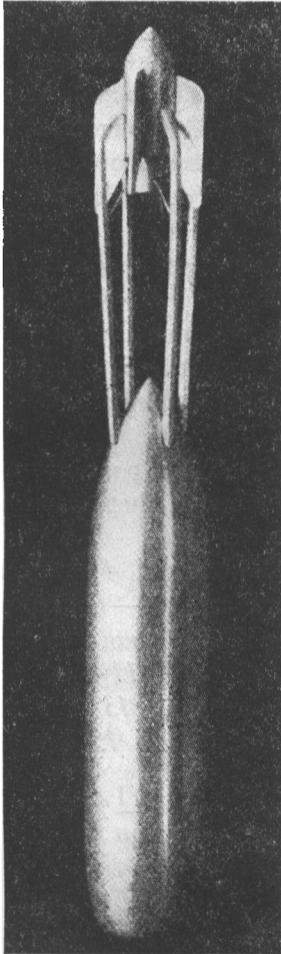
Сначала были испытаны две опытные небольшие ракеты на жидком топливе (жидкий кислород и бензин), дающие тягу в 250 кг при весе горючего 1.7 кг. На основе опытов с этими ракетами была построена пассажирская ракета, рассчитанная на тягу в 750 кг при весе топлива в 5 кг. Высота ее 8 м, наибольший диаметр 1 м. В голове помещается камера сгорания и дюза, из которой будут извергаться продукты горения. С боку головы прикреплено 4 плавника. К голове на 4 трубчатых стержнях подвешена гондола, закрытая кожухом. В верхней части ее находятся баки с горючим, занимающие больше половины ее объема, а под ними — пилот с парашютом. Горючее по трубкам подается вверх в камеру сгорания. Извергающиеся из головы ракеты газы, температурой до 2000° С, будут частично попадать на расположенный под головой кожух гондолы. Для охлаждения его предвидено особое устройство.

Когда ракета достигнет наивысшей точки подъема, пилот должен выброситься с парашютом через нижнее отверстие в кожухе.

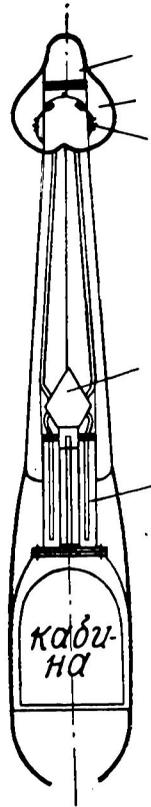
Высота подъема без пассажира намечена 18 км, а с пассажиром 9 км. Данных о полете этой ракеты не имеется.

На фиг. 37—38 изображены общий вид и разрез ракеты. По таблице классификации это №№ 3, 13, 15, 40.

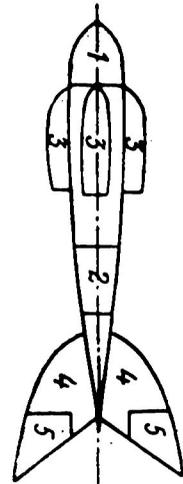
Фоторакета Разумова. На фиг. 39 изображена фоторакета Разумова, спроектированная им для Ленинградского отделения Осоавиахима на высоту полета в 10 км. Высота ракеты 1.2 м, диаметр 0.15 м. Вес ракеты 30 кг, из них топливо (порох) 10 кг. Цифры обозначают следующие части:



Фиг. 37.



Фиг. 38.



Фиг. 39.

1 — головное отделение с фотоаппаратом и парашютом, 2 — гироскоп с тягами к рулям, 3 — дюзы, 4 — стабилизаторы, 5 — рули. По таблице классификации это №№ 1, 13, 17, 23, 25, 35.

Первая советская ракета. В 1933—1934 г. в Москве Научно-исследовательским реактивным институтом была выстроена и испытана в полете до высоты в 10 км ракета на жидком топливе, напоминающая по внешней форме ракету Оберта (фиг. 46). Доклад об этой ракете был сделан Тихонравовым на I Всесоюзной конференции по изучению стратосферы.

Ракета Винклера. Германский инженер Иоганн Винклер построил и осуществил удачный подъем ракеты, работавшей на жидком

топливе в продолжение 8 сек., что соответствовало подъему на 600 м. После многочисленных лабораторных опытов он решил, наконец, перейти к пуску ракет на открытом воздухе. Первый опыт был, однако, неудачен. 21 февраля 1931 г. ракета едва поднялась на высоту нескольких метров и при падении поломалась.

Второй опыт 14 марта 1931 г. закончился полным успехом. Подъем происходил на военном поле около Дессау. Высота ракеты была 0.61 м и диаметр 6.3 м. Горючим служил бензин и жидкий кислород. Зажигание было произведено с расстояния 150 м при помощи электричества. Ракета быстро поднялась, постепенно переходя из вертикального положения в горизонтальное. На высоте 320 м она полетела горизонтально и опустилась в расстоянии 200 м от места старта.

В 1933 г. Винклер построил ракету еще больших размеров. На фиг. 40 изображен ее разрез. Вверху помещен парашют, под ним — бак с жидким кислородом, далее — манометры. Затем бак с метаном, внизу — камера сгорания, дюза и плавники. К сожалению, при взлете, от невыясненной причины ракета взорвалась. По таблице классификации это №№ 3, 12, 15, 23, 42.

Регистрирующая ракета Разумова - Штерна. На фиг. 41 показаны общий вид и продольный разрез этой ракеты. Цифры указывают следующие части:

1 — корпус, 2 — головная часть, 3 — стабилизаторы, 4 — переборка, 5 — изоляция, 6 — ротативно-реактивный двигатель, 7 — цистерна для бензина, 8 — цистерна для бензина, 9 — трубопровод жидкого кислорода, 10 — предохранительный клапан жидкого кислорода, 11 — то же для бензина, 12 — вентиль для наливания жидкого кислорода, 13 — то же для бензина, 14 — запорные краны для жидкого кислорода, 15 — то же для бензина.

Размеры ракеты указаны на чертеже. Полная длина — 2.665 м, длина корпуса — 1.47 м, наибольший диаметр — 0.35 м.

Полный вес ракеты — 90 кг.

Он составляется из следующих весов

	кг
Корпус . . . . .	20.2
Двигатель . . . . .	16.0
Кислород . . . . .	17.5
Бензин . . . . .	4.89
Полезный груз . . . . .	31.41

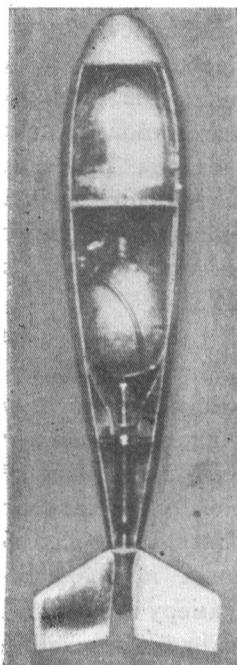
Тяга двигателя — 200 кг при скорости истечения газов 2000 м/сек., наибольшая скорость подъема — 100 м/сек., расчетная высота подъема — 5 км. По таблице классификации это №№ 3, 11, 12, 23, 24, 37.

Ракета на жидком топливе Годдара. В 1919 г. Годдар (США) опубликовал свою работу „Метод исследования верхних слоев атмосферы“. С этого времени он ведет исследования над выработкой

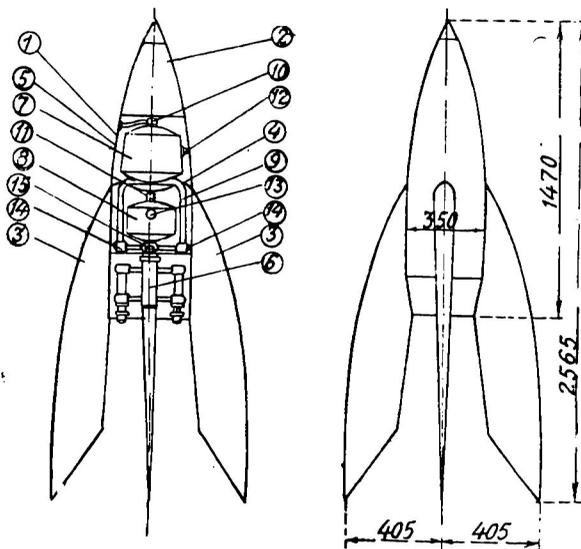
усовершенствованных ракет, пользуясь поддержкой Смитсоновского ин-та (в Варчестере), который до 1929 г. ассигновал на работы Годдара 1200 долл.

Результатом работ и опытов Годдара как в лаборатории, так и в полетах ракет явились такие достижения:

- 1) был найден наивыгоднейший угол раструба дюзы, извергающий из ракеты продукты горения;
- 2) достигнута непрерывность горения топлива;
- 3) разработана теоретическая сторона вопроса.



Фиг. 40.



Фиг. 41.

Сначала Годдар применял в качестве горючего разные виды порохов, но затем перешел к жидкому топливу, именно к смеси жидкого водорода и жидкого кислорода.

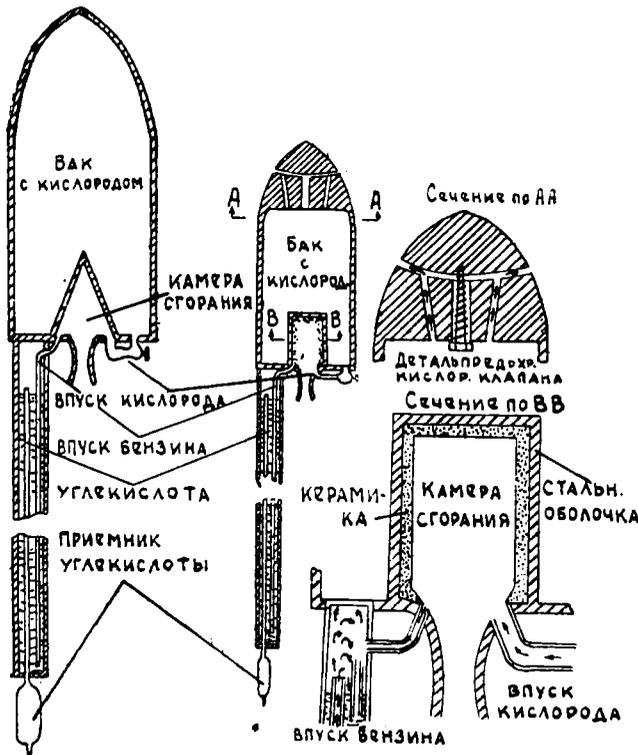
Напомним, что температура жидкого водорода  $25.2^{\circ}\text{C}$  и удельный вес его 0.07, вид бесцветный, а жидкого кислорода  $-181^{\circ}\text{C}$ , уд. вес 1.2, вид — прозрачно-голубой.

После серии предварительных опытов Годдар приступил к своему официальному опыту 27 июля 1929 г. близ Варчестера.

Ракета высотой 2.75 и диаметром 0.8 м заключала в себе парашют-барометр и фотокамеру. Для пуска ее была выстроена специальная стальная башня высотой 12.2 м, к которой по рельсам была подвезена ракета. В назначенный момент жидкая горючая смесь водорода и кислорода была подожжена, причем взрывы были не непрерывные. Гром от взрывов был слышен за несколько километров. Поднявшись на некоторую высоту, ракета выбросила парашют, который благополучно опустил на землю оболочку с приборами.

## Немецкие опытные ракеты „Мирак“

В виду новизны и большого интереса работ, производимых германским о-вом изучения реактивного полета, приведем описание и схематические чертежи (не в масштабе) реактивных двигателей трех последова-



Фиг. 42.

тельных ракет „Мирак“ конструкции инж. Небеля и Риделя. Это описание и чертежи заимствованы нами из доклада Э. Пендрей, сделанного им в американском межпланетном о-ве 1 мая 1931 г.

Первая ракета „Мирак“ (фиг. 42) была сделана из алюминия и имела три части: верхнюю с баком для кислорода, нижнюю — для бензина и среднюю — камеру сгорания. Последняя имела конусообразную форму и была устроена из тяжелых сплавов меди без всякой формовки внутри.

Два бака были сделаны из дюрала; верхний заключал около литра жидкого кислорода, нижний — около полулитра бензина.

Кислород загонялся в камеру сгорания давлением своих же паров, которые быстро образовывались при закрытии выходного отверстия.

Бензин нагнетался углекислотой (газом) и подводился к камере сгорания небольшим сифоном. Благодаря такому простому устройству Небель и Ридель удачно избежали в конструкции насоса, который представлял большую трудность для Оберта.

Вес ракеты с горючим был около 3 кг. Опыты, произведенные с нею на весах, дали подъемную силу в  $4\frac{1}{2}$  кг; иными словами, если бы ракета во время опытов не была привязана, то она улетела бы.

Конструкторы полагали, что кислород нуждается в некотором подогревании, чтобы он развил достаточное давление, камера же сгорания, наоборот, нуждается в охлаждении. Благодаря этим соображениям камера

была вдвинута в бак с кислородом. Однако это устройство оказалось неудовлетворительным: кислород чрезмерно нагревался, в то время как его согреть совсем не следовало, охлаждение же камеры было недостаточно.

Кроме того, и коническая форма была плохой, углы внизу ее мешали быстрому выходу газов и сильно понижали силу тяги. Кроме того, оказалось необходимым увеличить объем в середине и у верха камеры для лучшей смеси и взрыва.

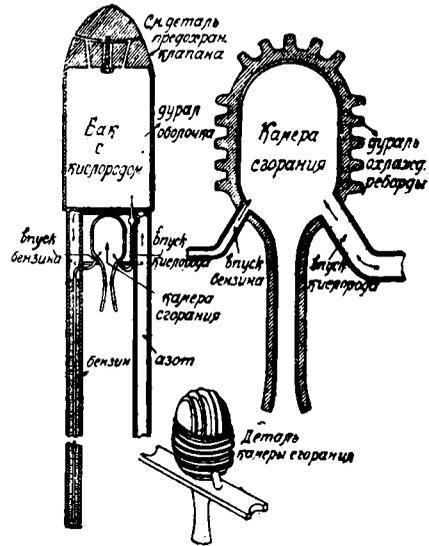
В результате в баке с кислородом развивалось настолько сильное давление, что бак разрывался, и это показало, что ракета нуждается в предохранительном клапане.

Тогда была построена ракета „Мирак“ № 2 (фиг. 42 справа). На чертеже показано простое устройство клапана у верха бака: этот клапан открывался при давлении 6 атм., соответствующим прочности стенок. Бак для бензина и его приспособление остались прежними, камера же сгорания подверглась коренному изменению: она попрежнему осталась в баке с кислородом, но была сделана из стальной оболочки, обертывающей керамиковую формовку, которая препятствовала передаче тепла кислороду. Форма камеры была цилиндрической и соответственно большего объема, чем в „Мирак“ № 1, хотя вес „Мирак“ № 2 был и больше веса „Мирак“ № 1, однако подъемная сила последней была гораздо выгоднее. Она также могла бы летать и только лишь благодаря слабости конструкции она разорвалась до полета.

Причиной взрыва „Мирак“ № 1 был кислородный бак, а „Мирак“ № 2— камера сгорания: вследствие непрочности керамики сталь начинала размягчаться, а высокая температура послужила причиной взрыва всей ракеты.

„Мирак“ № 3. Конструкция этой ракеты была изменена в отношении бака с бензином и формы и положения мотора (фиг. 43). Вместо одного нижнего бака было устроено два, уравновешивающих друг друга. В одном помещался бензин, а в другом — азот под давлением. Трубка соединяла оба бака так, что газ, давя на бензин, нагнетал его в камеру при открытии клапана. Азот был применен вместо углекислоты потому, что он оказался более надежным и давал сразу требуемое давление.

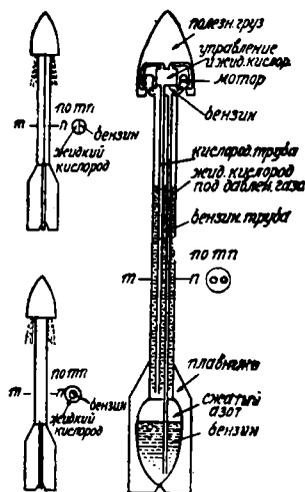
Сама камера имела яйцевидную форму, точнее цилиндрическую с шаровыми концами. Устроена она была из дюраля с внутренней



Фиг. 43.

прокладкой из меди. Горло у сопла несколько больше и выхлопная труба длиннее, чем у прежних двигателей, медная внутренняя прокладка шла к дюзе до выхода. Толщина ее была около 1.7 мм.

При опытах наблюдалось интересное явление. В то время как давление в камере достигало от 12 до 20 атм., давления для нагнетания горючего требовалось гораздо меньше. Это объяснялось токами газа в камере, образующими подсосывание у устья трубки, подводящей горючее. Вес ракеты „Мирак“ № 3 с горючим около 4 кг. В ней помещаются: литр кислорода и 0.5 л бензина. Азот в баке находится под давлением



Фиг. 44.

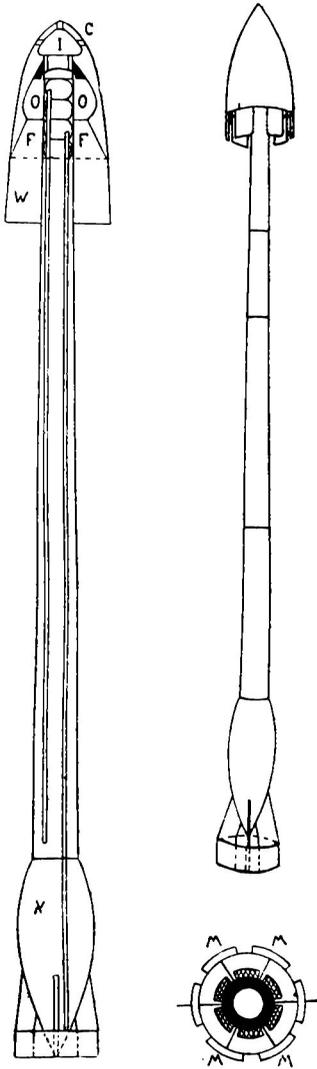
от 10 до 12 атм. Предохранительный клапан у вершины кислородного бака открывается при опасном давлении. Давление в камере благодаря сжатию струи у горла будет выше, чем в прежних ракетах „Мирак“ и достигает, вероятно, до 20 атм. Опыты показали, что чем выше в камере давление, тем длиннее должна быть дюза; хотя испытание с „Мирак“ № 3 еще не производилось, однако подъемная сила его ожидается около 10 кг. При тяге 8 кг ускорение „Мирак“ № 3 будет равно земному при старте.

Величина ускорения конечно возрастает при горении, в особенности благодаря малому весу ракеты. При старте вес горючего равен 3.2 кг, а вес самой ракеты 2.4 кг. В конце горения ускорение будет по теории равно двойному земному.

Продолжительность горения „Мирак“ № 3 ожидается 32 сек. при расходе кислорода, по объему в 4 раза большем, чем бензина. Теоретически „Мирак“ № 3 должен подняться на высоту около 5 км, но сопротивление воздуха уменьшит эту высоту до 3 км. Хотя эти результаты и покажутся на первый взгляд небольшими, но не будем забывать, что ведь опыты велись с ракетами „Мирак“, т. е. с минимальными ракетами („Minimum-Rakete“), и что при увеличении их размеров, например вдвое, баки с горючим и камера увеличиваются меньше, чем в два раза. С увеличением размеров отношение веса конструкции к весу топлива будет все меньше и меньше. Например, для поднятия ракеты на высоту 25 км потребуется ее размеры увеличить по сравнению с „Мирак“ № 3 лишь в три раза.

Типы ракет „Мирак“. На фиг. 44 показано три типа двухмоторных опытных тянущих немецких ракет на жидком топливе (бензин и кислород), именно изображена ракета с двумя моторами в голове, к которым подается бензин, помещенный в хвосте, по трубе, идущей внутри стержня ракеты. Внутри же этого стержня находится жидкий кислород,

подающийся в моторы по другой трубке. Подача бензина и кислорода происходит под давлением газа. На других фигурах показаны варианты размещения бензина и кислорода в стержне ракеты. По таблице классификации это №№ 3, 13, 16, 23.



Фиг. 45.



Фиг. 46.

Ракеты Оберта. На фиг. 45 изображены общий вид и разрез регистрирующей ракеты Оберта. Хотя в источнике и не дано описания этой ракеты, но можно предполагать следующее ее устройство. Вверху помещаются научные приборы, далее — бензин, подающийся по центральной вертикальной трубке вниз через левый вентиль в камеру сгорания (с черными стенками). Под бензином сжатый азот, который по двум вертикальным трубкам идет вверх и выдавливает бензин в камеру сгорания. Под азотом — жидкий кислород, подающийся через правый

вентиль в камеру сгорания, откуда продукты взрыва вылетают через дюзу наружу. По таблице классификации это №№ 3, 12, 15, 23, 37.

Оберт вместе с инж. Небелем и Риделем в 1930—1931 гг. работали также над постройкой опытной минимальной ракеты (Minimum-Rakete „Mirak“), которая, по их предположению, должна пролететь до высоты 20 км фиг. 46. Горючим для нее взяты бензин плюс жидкий кислород. Размеры ракеты 2,5 м × 0,25 м. Вес пустой ракеты — 7 кг, полной — 35 кг.

В голове ракеты помещен парашют для спуска ее на землю и измерительные приборы. Самый пуск предположен с особого станка. Дюза ее устроена из стали. Оболочка — из сплава магния. В ней помещены два бака: один с бензином, другой — с жидким кислородом. Особенные трудности представляли устройства предохраняющих от взрыва указателей давления и предохранителей от просачивания паров бензина и кислорода. Пока в виде предохранителя для бензинного бака принят патрон с углекислым газом. Далее были устроены особые электрические приспособления для открывания и опорожнения баков. Работы велись на ракетном поле близ Берлина. Следует заметить, что до постройки этой ракеты испытано несколько дюз (щелевая, коническая, холодно-газовая). Наилучшие результаты дала коническая дюза: при зарядке в 6 кг жидкого кислорода и 1 кг бензина она давала постоянную тягу 7 кг в продолжение 90 сек. Спуск производился на парашюте.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Какие же выводы можно сделать на основании приведенной картины способов и аппаратов, предложенных для завоевания стратосферы?

Исходя из условия, что, по мере возрастания высоты, плотность воздуха, сопротивление движению в нем уменьшаются, основываясь на вышеописанных свойствах аппаратов, можно себе представить следующую картину завоевания по высоте стратосферы аппаратами разных типов.

Ниже всех будут летать те аппараты, поддержание и передвижение которых основаны на наличии окружающего воздуха. К таким аппаратам относятся все аппараты с двигателями, для работы которых необходим воздух, и с воздушными винтами.

Наиболее реальными являются такие перспективы: до высоты в 20—25 км возможны полеты стратопланов с винтомоторной группой, далее, до высоты 50 км, возможны полеты реактивных стратопланов, и, наконец, еще выше — полеты ракет. Основными проблемами, подлежащими разрешению для освоения стратосферы, в настоящее время являются: теоретическое и экспериментальное изучение аэродинамики больших скоростей, освоение винтомоторной группы для больших высот, теоретическое и экспериментальное изучение работы ракет на жидком топливе и изучение свойств стратосферы при помощи баллонов-зондов, стратостатов и регистрирующих ракет.

Ф. ФРАНКЛЬ

## АЭРОДИНАМИКА БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ

(Газовая динамика)

Проблема полета в стратосфере на стратопланах и ракетах ставит в порядок дня изучение аэродинамики больших скоростей (газовой динамики).

Дело в том, что при скоростях полета порядка 100—300 км в час влияние сжимаемости так незначительно, что можно от него отвлечься. Если же скорость все больше приближается к скорости звука (при нормальной температуре — около 1000 км/ч.), влияние сжимаемости сказывается все сильнее; наконец, когда скорость превышает скорость звука, законы движения качественно совершенно изменяются.

Учение о движении газов со скоростями, близкими к скорости звука или превосходящими ее, называется газовой динамикой в отличие от обыкновенной аэродинамики, в которой сжимаемость воздуха не принимается в расчет. Показателем влияния сжимаемости является отношение скорости к скорости звука, так называемое число Бэрстоу.

Газовая динамика, возникшая в начале этого века на основе потребностей паротурбинной техники — один из наиболее типичных примеров влияния техники на теоретические исследования. Одной из первых работ в этой области была докторская диссертация акад. С. А. Чаплыгина „О газовых струях“ (1902), которая дает теоретический расчет расходного коэффициента при истечении газов через диафрагмы, а также расчет давления газовой струи, набегающей на пластинку (то и другое в плоскопараллельном потоке при дозвуковой скорости). Эта остроумная работа до сих пор, к сожалению, осталась почти неизвестной и не нашла ни экспериментальной проверки, ни применений. Экспериментальная проверка будет теперь проведена в трубе больших скоростей ЦАГИ.

Одним из наиболее интересных открытий этого периода возникновения газовой динамики является открытие стационарных газовых движений с сверхзвуковой скоростью. Еще в 1902 г. общераспространено было представление, что сверхзвуковые течения не могут быть стационарными (установившимися), а всегда связаны с колебаниями. Такие течения впервые были установлены в так называемых с о п л а х Л а в а л я, подводящих пар

к рабочему колесу паровой турбины. Эти сопла вначале суживаются, а потом расширяются.

Если пар или воздух истекает из котла через такое сопло в пространство, в котором давление (так наз. „противодавление“) достаточно низко, тогда скорость истечения вдоль оси сопла нарастает. В самом узком месте она равняется скорости звука, а потом достигает сверхзвуковой скорости.

Такие сопла необходимы для получения равномерных, параллельных струй сверхзвуковой скорости. Они применяются, кроме паровых турбин, еще

1) в ракетах, где большая скорость истечения необходима для достижения большой тяги,

2) в аэродинамических трубах больших скоростей, ибо переход от модели крыла, поставленной в эту трубу, к натуре закономерен только, если числа Бэрстоу для модели и природы одинаковы. Поэтому, если я хочу найти коэффициент подъемной силы крыла при сверхзвуковой скорости полета, я должен его модель испытывать в трубе также при сверхзвуковой скорости потока.

Второе, очень важное открытие, это — открытие так наз. стационарных скачков уплотнения. Это явление заключается в том, что сверхзвуковые течения могут в определенном месте внезапно перейти в дозвуковые. Так бывает, например в соплах Лавала, если противодавление не достаточно низко. Тогда в начале сопла все происходит, как обыкновенно: скорость растет, в самом узком месте она равняется скорости звука и за этим местом нарастает дальше, но в определенном месте находится такая поверхность раздела („скачок уплотнения“), что налево от нее скорость еще сверхзвуковая, а направо дозвуковая. Произведение скорости перед и за скачком равняется квадрату критической скорости, т. е. скорости в самом узком месте сопла. Точно так же, как скорость скачет вниз, плотность, давление и температура воздуха скачут вверх. Это явление, уже раньше предсказанное математиком Риманом, было впервые экспериментально установлено крупнейшим специалистом по паровым турбинам Стодолой (A. Stodola).

Такие же скачки уплотнения образуются перед тупыми телами, находящимися в сверхзвуковом потоке, или, что по существу одно и то же, перед телами, летящими в воздухе со сверхзвуковой скоростью (снаряд, ракета). Они образуют перед телом такую головную волну, что перед ней влияние тела совершенно не сказывается, а при переходе через нее скорость изменяется скачкообразно по величине и направлению. Эти головные волны были открыты Э. Махом. Они играют существенную роль для объяснения так наз. волнового сопротивления, которому подвержены тела, летящие со сверхзвуковой скоростью.

В настоящее время газовая динамика широко разработана также применительно к авиации. Главная работа в этом направлении была проделана знаменитым немецким аэродинамиком Прандтлем (Prandtl) и его

школой (Meyer, Steichen, Ackeret, Buseman), Карманом, английскими учеными Глауэрт (Glauert) и Тейлор (Taylor), а в последнее время также в СССР. В Ленинграде по газовой динамике работает И. А. Киббель; в Москве, в ЦАГИ, создана специальная бригада по большим скоростям во главе с инженером-коммунистом А. П. Кожевниковым. В ЦАГИ теоретическую работу по газовой динамике вели акад. С. А. Чаплыгин, П. А. Вальтер, Р. Н. Алексеева, М. В. Келдыш и сам автор.

Перейдем к главным достижениям газовой динамики, имеющимся в данное время.

Прежде всего Прандтлем и Глауэртом разработана хорошая приближенная теория крыла при больших, но еще дозвуковых скоростях. Ее результат заключается в том, что крыло действует, как утолщенный профиль, с увеличенным углом атаки. Это увеличение угла атаки и толщины зависит от числа Бэрстоу и растет вместе с ней по очень простой формуле; при скорости, равной половине скорости звука, это увеличение уже равняется приблизительно  $13\%$ . Отсюда видно, что, например у винтов, для которых окружные скорости концов лопастей, равняющиеся  $0.7$  скорости звука, являются совершенно обычными; эту поправку надо обязательно принимать в расчет. Теория Прандтля-Глауэрта выведена и экспериментально проверена для тонких крыльев (дужек) с малым углом атаки,<sup>1</sup> именно такие крылья являются наиболее выгодными. Более точный метод, годный для любых крыльев, так наз. метод последовательных приближений, разработан рядом авторов (Тэйлор, Вальтер и др.); его математическую правомерность (сходимость последовательных приближений) доказали Келдыш и автор. Этот метод, однако, является очень громоздким.

Детально разработаны простые графические методы расчета сверхзвуковых течений. Законы, которые управляют сверхзвуковыми течениями, математически значительно проще тех, которым подчиняются звуковые течения. Эти методы основаны на использовании так наз. линий Маха. Это — стационарные звуковые волны, которые характерны для установившихся сверхзвуковых течений. Остановимся вкратце на этом явлении.

Представим себе, что в плоскопараллельном<sup>2</sup> потоке сверхзвуковой скорости  $w$  метров в секунду находится маленькое препятствие  $A$ . Возмущение потока, вызванное этим препятствием, распространяется со скоростью —  $a$  метров в секунду. В течение одной секунды, таким образом, образовалась волна с радиусом  $a$  метров; одновременно центр волны уплыл на  $w$  метров. В виду того, что  $w$  больше  $a$ , препятствие  $A$  не охватывается нашей волной. По истечении двух секунд волна имеет радиус  $2a$ , центр уплыл на  $2w$  м и т. д. Все эти волны (круги) имеют, как общие

<sup>1</sup> Угол атаки — под которым воздушный поток встречает крыло.

<sup>2</sup> Плоскопараллельным течением в гидродинамике называют такое течение, которое достаточно рассматривать в одной плоскости: во всех плоскостях, параллельных к ней, картина течения совершенно та же. Плоскопараллельным течением является, например, обтекание крыльев очень большого (бесконечного) размаха.

касательные, две прямых. Это и есть линии Маха, о которых мы говорили. Подобные стационарные волны можно, например, наблюдать в ручейках на улицах, образующихся при дожде. Они исходят от мелких камешков, расположенных в них. Разница между этими волнами и волнами в воздухе заключается только в том, что последние возникают вследствие упругости воздуха, а первые вследствие тяжести воды. Вышеописанные головные волны также родственны с линиями Маха: первые вызываются большими, а последние малыми (строго говоря бесконечно малыми) препятствиями.

Пользуясь этими линиями Маха, Прандтль и Буземан разработали свой графический метод для плоскопараллельных течений, который имеет ряд приложений, например к теории крыла с острой передней кромкой при сверхзвуковых скоростях. Ниже мы показываем два примера этого метода (фиг. 1, 2). На фиг. 1 крыло является пластинкой, поставленной в поток под определенным углом атаки. От передней кромки наверху исходит непрерывный пучок линии Маха, а внизу — скачок уплотнения. На задней кромке мы имеем обратное явление (наверху скачок, внизу непрерывный пучок волн). Сила, действующая на крыло, происходит от разницы между давлениями на его нижнюю и верхнюю сторону и направлена нормально к нему. Поэтому всегда имеется сопротивление (волновое), которое происходит от горизонтальной составляющей этой силы. В этом и заключается принципиальная разница между работой крыла при до- и сверхзвуковой скорости: крыло бесконечного размаха, если отвлечься от сравнительно малой силы трения, не дает при хорошей обтекаемости никакого сопротивления, а только подъемную силу, в то время как при сверхзвуковой скорости появляется волновое сопротивление. Фиг. 2 показывает обтекание крыла, профиль которого образован из двух круговых дуг. На ней видны головная волна и линии Маха.

Эти методы проверены опытом и дали хорошие результаты.

Что касается крыла, то теория показывает, что коэффициенты подъемной силы и волнового сопротивления падают при растущей скорости — явление, хорошо известное баллистикам из опыта.

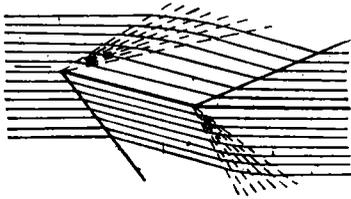
В СССР эти работы в последние два года были развиты в следующих направлениях:

Метод Прандтля-Буземана годится только для потенциальных течений.

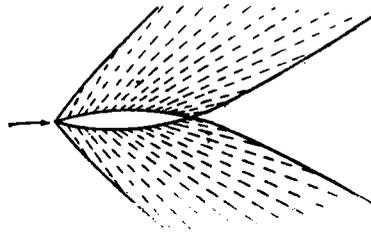
Потенциальными течениями, в отличие от вихревых, называются такие течения, в которых частицы подвергаются только деформации, но не вращению.

Потенциальными течениями являются, например, обтекание крыла при дозвуковой скорости и течения в соплах. Обтекание тел при сверхзвуковой скорости, однако, не является точно потенциальным, так что теория крыла, построенная на методе Прандтля-Буземана, является только первым, хотя и очень хорошим приближением к действительности. Киббель впервые нашел дифференциальное уравнение, пригодное также

для вихревых течений, а автору удалось обобщить метод Прандтля-Буземана так, что теперь можно рассчитывать обтекание крыла при сверхзвуковой скорости, учитывая завихренность потока. Далее, автор нашел графический метод расчета сверхзвуковых течений с осевой симметрией, который дает возможность найти волновое сопротивление ракет (снарядов)



Фиг. 1.



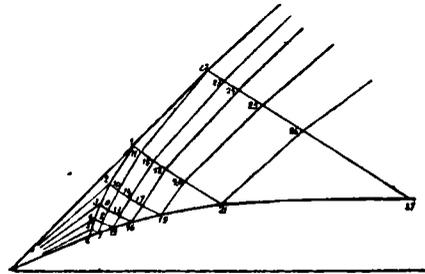
Фиг. 2.

с острой головкой (см. фиг. 3, где видны головная волна и линия Маха, исходящие с поверхности снаряда), а также наивыгоднейшую форму сопла ракеты. В сотрудничестве с инженером-комсомолкой Алексеевой я доказал также сходимость (математическую правомерность) этих методов в ряде случаев, в которых она еще не была доказана. Наконец, Киббель нашел новый, очень простой вывод этих графических методов, который разрешает ряд обобщений.

Экспериментальная работа по газовой динамике ведется в специальных аэродинамических трубах больших скоростей.<sup>1</sup> Такие трубы построены в Германии, Англии, Америке, за последнее время также в СССР. Вследствие больших мощностей, требуемых для поддержания

таких скоростей, они имеют сравнительно небольшие размеры: диаметры от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров. Существует несколько типов таких труб; трубы мгновенного действия, как труба Аккерета в Прандтлевской лаборатории в Геттингене, где воздух проходит из атмосферы через трубу в котел, из которого выкачан воздух.

В Америке и Англии имеются трубы постоянного действия, к которым подает воздух турбокомпрессор. Наконец, в этих странах имеются трубы, построенные на принципе инжектора: струя, вытекающая из атмосферы, вступает в трубу и опять отбрасывается в атмосферу.



Фиг. 3.

<sup>1</sup> Как в обыкновенных аэродинамических трубах, через такую трубу пропускается поток постоянной скорости, в который ставится неподвижная модель крыла, ракеты и т. д. Наблюдая возникающие воздушные силы, мы можем делать выводы относительно воздушных сил в натуре, где, наоборот, воздух находится в покое, а крыло движется.

В СССР построены трубы разных типов: одна в Харькове, работающая нагнетанием, одна в ЦАГИ, работающая отсасыванием (турбоэксгаустор сосет воздух через трубу), и, наконец, еще одна труба в Москве, построенная молодым инженером Ю. А. Победоносцевым, которая пользуется одновременно нагнетанием и подогревом воздуха посредством сжигания топлива.

Наблюдение в таких трубах ведется весами и динамометрами, а также специальными оптическими методами (метод Тёплера, интерференционный метод и т. д.), которые позволяют делать видимым течение воздуха.

Все названные трубы только в последние месяцы построены, и в них эксперименты только развертываются. Основной задачей дня является скорейшее развертывание эксперимента.

Рядом с этим остается нерешенным еще ряд важных теоретических задач.

Назовем важнейшие из них:

1) Обтекание крыла при больших дозвуковых скоростях, когда около передней кромки образуется область сверхзвуковой скорости.

Дело в том, что коэффициент сопротивления достигает своего максимума при околосзвуковых скоростях; техника заинтересована в том, чтобы этот максимум по возможности снизить. Источником этого увеличенного сопротивления являются скачки уплотнения. Поэтому интересно исследовать, при каких скоростях они впервые появляются.

2) Обтекание тупых тел при сверхзвуковых скоростях.

До сих пор исследован только случай остроконечных дужек с достаточно острым углом у передней кромки и в случае осевой симметрии тел с достаточно острой головкой. В этом случае головная волна исходит с головки, при недостаточно острых или тупых телах волна отделяется от головки. Предельный носовой угол, при котором тело еще может рассматриваться как острое, зависит от скорости и идет к нулю, когда скорость сверху приближается к скорости звука.

Большая величина сопротивления при околосзвуковых скоростях несомненно связана с этим явлением.

3) Уточненная теория крыла при дозвуковых скоростях.

До сих пор употребляемая теория Прандтля-Глауэрта является только первым приближением. С другой стороны, строго обоснованный метод последовательных приближений для практики слишком громоздок. Желательно найти теорию более точную, чем первая и менее сложную, чем вторая.

4) Пространственные течения при дозвуковых скоростях с применением к крылу конечного размаха и винт. Надо отметить, что и в случае несжимаемой жидкости здесь существуют только приближенные теории.

5) Пространственные течения при сверхзвуковых скоростях. Таким течением является обтекание ракетоплана и др. Решение этой задачи сводится к решению нелинейных уравнений в частных производных второго порядка в трех независимых переменных.

До сих пор известны только решения для линейных уравнений. Было бы желательно решить эту задачу графическим методом конечных разностей.

6) Пространственные течения с до- и сверхзвуковыми скоростями одновременно.

а) Винт при дозвуковой скорости полета и сверхзвуковой скорости концов лопастей. Характер движения воздуха в этом случае даже качественно неизвестен. Известно только, что при этих условиях коэффициент полезного действия винта падает.

б) Обтекание косо обуреваемого вращающегося снаряда.

Задача актуальна потому, что снаряд всегда обладает вращением и в общем случае не летит по направлению своей оси.

7) Турбулентность в сжимаемом газе.

Значение этого вопроса для изучения сопротивления при больших скоростях понятно. В частности интересно исследовать турбулентный пограничный слой.

На эти задачи, по моему, следует направить главные усилия в тесной увязке теоретической и экспериментальной работы.

---



В. Ф. КУСТОВ

## К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ БАЛЛОННЫХ ТКАНЕЙ

Для поддержания в воздухе аэростатов применяют легкие аэростатные газы, заключенные в специальную оболочку, изготовленную из баллонной ткани (аэростатной материи). К баллонным тканям конструкторами аэростатов предъявляются три основных требования: они должны 1) обладать достаточной прочностью; 2) иметь наименьшую газопроницаемость; 3) иметь наименьший вес.

Количественное выражение этих требований зависит от назначения аэростата и от конструкции его.

Конструктору также приходится считаться со структурой нитей и ткани, с поведением тканей при натяжении 1, 2 (деформация тканей, удлинение тканей).

Таким образом, основные требования к тканям сводятся к определенным механическим свойствам их. Ни химический состав, ни какая-либо химическая характеристика не интересуют конструктора. Это и понятно, так как конструктор, требуя гарантии в определенной газопроницаемости, при определенном весе ткани, мало интересуется химическим составом.

С химическим составом ткани приходится считаться инженеру-производственнику и в особенности эксплуатационнику, так как при эксплуатации аэростата под влиянием атмосферных и других воздействий на баллонную ткань с нею происходят изменения физико-химического порядка, отражающиеся прежде всего на газопроницаемости ткани, а иногда и на прочности ее.

При изготовлении баллонных тканей для удовлетворения двух основных требований — прочности и газонепроницаемости — приходится пользоваться двумя различными материалами: материалом, удовлетворяющим требованию прочности и образующим скелет ткани, и материалом, удовлетворяющим требованию газонепроницаемости — пленкообразователем. Соответственно с этим и самый процесс производства баллонных тканей в основном состоит в том, что легкая, но прочная бумажная или шелковая ткань пропитывается пленкообразующим составом.

Как при изготовлении, так и при хранении и эксплуатации баллонных тканей нас, химиков, интересует, прежде всего, газопроницаемость их.

Основная цель моего доклада это обратить внимание на необходимость научного подхода к изготовлению газонепроницаемых, легких, выдерживающих неблагоприятные условия хранения и эксплуатации тканей. Применяемые в настоящее время ткани изготавливаются по эмпирическим рецептам, проработанным в основном еще на заре развития воздухоплавания, как, например:

каучук пара . . . . .	4.000	сера . . . . .	0.400
парафин . . . . .	0.030	окись магния . . . . .	0.170

По употребляемым для получения газонепроницаемости материалам баллонные ткани подразделяются на ткани прорезиненные, лакированные и ткани-микст. Лакированные ткани, применявшиеся еще при изготовлении первых аэростатов, представляют лаки с льняным маслом и могут иметь значение при удачном рецепте и в настоящее время. При развитии в последнее время промышленности целлюлозных лаков сделано много заявок на применение простых и сложных эфиров целлюлозы в изготовлении баллонных тканей. Прорезиненные баллонные ткани весьма эластичны, не слипаются; лакированные ткани значительно труднее изготовить так, чтобы они сохраняли эластичность продолжительное время. После того как при развитии учения об адсорбционных явлениях было установлено, что баллонная прорезиненная ткань является газонепроницаемой вследствие поглощения газов каучуком, были запатентованы рецепты с различными добавками с целью воспрепятствовать растворимости газа в каучуке: в качестве таких добавок в последнее время применяют клеи, растительные и животные белки с добавкой глицерина или полигликолей, вискозу (3—15). В одном из патентов известная фирма. Goodyear Tira & Rubber Co решила сразу „убить трех зайцев“: по этому патенту применяют весьма сложное покрытие из каучука, белков и лаков (16).

Следует обратить внимание на то, что по какому бы то ни было рецепту изготовление баллонной ткани требует таких материалов, как: целлюлоза, каучук, белки, лаки, клеи, относимых химиками к одной группе — к группе высокомолекулярных соединений.

В современной жизни человека указанные нами материалы как естественного, так и искусственного происхождения играют большую роль, и неудивительно, что на химию высокомолекулярных соединений обращается все больше и больше внимания. И при разрешении вопроса о баллонных тканях необходимо исходить, на основании достижений химии высокомолекулярных соединений, как в том случае, когда мы стремимся получить тонкое пленочное газонепроницаемое покрытие, так и в том случае, когда мы желаем иметь это покрытие устойчивым как в условиях атмосферы, так и в условиях стратосферы.

Ответить на вопрос, который ставит перед нами воздухоплавание и который заключается в том, чтобы дать рецепт изготовления газоне-

проницаемой ткани для наших аэростатов и стратостатов, должны наши специалисты по высокомолекулярным соединениям.

Наша промышленность умеет получить ткань с весьма малой газопроницаемостью, но нам необходимо, чтобы при хранении и эксплуатации газопроницаемость не увеличивалась. Я уже указывал, что пленки из чистого каучука довольно газопроницаемы, эфиры целлюлозы дают менее газопроницаемые пленки, и в последнее время найдено, что белковые пленки весьма мало газопроницаемы. Невольно приходят на память опыты J. R. Katz'a (17—19), H. Zocher'a (20—21), E. Gortel'я (22—29) и других с пленко-образованиями каучука, эфиров целлюлозы и белковых материалов: в то время как каучук по Landmuir'овскому методу не дает растеканий на поверхности, некоторые ацетилцеллюлозы дают слой в 8—9 Å, белки дают слой 10—20 Å. Во всяком случае тщательное изучение пленочных покрытий даст ответ на вопрос о наименьшей газопроницаемости.

Более серьезным является вопрос об устойчивости баллонных тканей в различных условиях атмосферы. Здесь мы также встречаемся с явлением, общим для всех высокомолекулярных соединений, а именно все высокомолекулярные соединения, как, например, целлюлоза, каучук, нитроклетчатка (порох, целлулоид) и др., с течением времени изменяют свое физико-химическое состояние. Резинщики такое изменение называют старением каучука, пороховщики — нестойкостью нитроклетчатки. Как причина, так и процесс „старения“ высокомолекулярных соединений, а также удовлетворительные методы борьбы с ним до сих пор далеко не выяснены. Баллонная ткань, как комплекс высокомолекулярных соединений, в весьма большой степени подвержена старению, и борьба со старением ее является тем более необходимой, что уже самая начальная стадия старения, неотмечаемая никаким изменением ткани и газонепроницаемой прослойки на ней, весьма сильно отражается на газопроницаемости ткани. Как разложение лаковых покрытий, так и старение каучука, весьма возможно, имеют аналогичный процесс. Нами были проведены некоторые опыты с прорезиненными тканями, и потому я останавливаюсь на старении каучука в условиях стратосферы. В зависимости от природных свойств каучука, от применяемой рецептуры и, возможно, от технологического процесса, баллонная материя теряет газопроницаемость по мере старения резиновой прослойки. Таким образом, если отнести изменение газопроницаемости за счет старения каучуковой прослойки, необходимо иметь в виду те факторы из атмосферных явлений, которые способствуют старению. К числу таких факторов следует отнести: наличие в атмосфере активного кислорода, значительные колебания температуры и влажности, влияние лучистой энергии. Если эти факторы в условиях тропосферы оказывают на резину воздействие в течение более или менее продолжительного времени, то в условиях стратосферы, вследствие значительного повышения интенсивности некоторых воздействий, вполне возможно преждевременное старение резины.

Хотя количество кислорода в атмосфере меньше, чем в тропосфере, и составляет 15% при 85% азота (24), но, вследствие пониженной температуры и наличия значительного количества активного кислорода, приходится считаться, прежде всего, с влиянием кислорода на баллонную материю. Температура стратосферы, в среднем составляющая — 55° (25), приближается к критической температуре каучука (—67°), при которой каучук настолько изменяет свои свойства, что рвется при растяжении на 10% (26).

В виду того, что содержание озона в стратосфере может быть настолько значительно, что даже различают озоновую прослойку на высоте 20—50 км (27—33), с этим фактором необходимо считаться, принимая во внимание абсорбцию кислорода каучуком (34). Обращая внимание на старение резины в условиях стратосферы, следует иметь в виду также и довольно пониженное давление атмосферы, составляющее на:

15 км	89.66 мм
20 „	40.99 „
30 „	81.63 „

Наконец, значительное количество лучей с короткими длинами волны в стратосфере является также одним из факторов, которые могут оказать, так или иначе, влияние на изменение газопроницаемости баллонной материи. Значение наличия лучей с короткой длиной волны повышается вследствие комбинированного воздействия при наличии других факторов. Опытами Асано (35) установлено, что при действии ультрафиолетовых лучей с длиной волны 2000—3000 Å происходит полимеризация каучука; в присутствии же кислорода происходит окисление (старение) каучука. Наличие в стратосфере значительного количества космических лучей и значительная ионизация атмосферы по сравнению с тропосферой заставляют думать о возможном влиянии также и этих факторов на изменение структуры пленки и, соответственно, изменение газопроницаемости. Ионизация воздуха, уменьшаясь до высоты 1700 м, затем увеличивается, и уже на высоте 9 км избыток ионизации составляет 80 ионов см<sup>3</sup> (36). Суммарная потеря газа через баллонную ткань складывается как результат нескольких процессов: вследствие абсорбции газа, вследствие диффузии и вследствие наличия повреждений пленочного покрытия. Что диффузия далеко не является основным процессом газопроницаемости, видно из того, что двуокись углерода, тяжелый газ, в три раза быстрее проходит через резину, чем водород, а пары воды даже в пятьдесят раз (37). В виду того, что газопроницаемость, вследствие диффузии и абсорбции газа, можно принять при постоянных условиях величинами постоянными, то повышение газопроницаемости после хранения некоторого времени баллонной материи следует отнести за счет каких-то особых изменений в пленочном покрытии. Можно полагать, что такие изменения происходят вследствие тех или иных атмосферных воздей-

ствий на резину, выражающихся в появлении на пленочном покрытии мелких трещин. Некоторые авторы (Шенард, Крабль и Моррис) приписывают образование трещин влиянию солнечного света, другие (Россем, Крабль) — влиянию озона (38) и еще некоторые (Вурм и Мерц) объясняют (39) образование трещин не влиянием озона, а вследствие высыхания эфирных масел каучука, а также вследствие влияния влажности. Конечно, в действительности, появление трещин является результатом весьма сложного взаимодействия атмосферных условий, приводящего к старению каучука. Определение газопроницаемости позволяет отметить самую раннюю стадию старения: малейшее нарушение пленочного покрытия, совершенно не обнаруживаемое по внешнему виду, методом определения газопроницаемости устанавливается весьма легко.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Нижеописанные опыты производились с образцами баллонной материи в Аэростатической лаборатории Института гражданского воздушного флота (завед. К. Е. Кирпичников). Образцы материи испытывались на газопроницаемость при помощи интерферометра (40—41), затем производилась соответствующая обработка, и после этого опять определяли газопроницаемость. В виду того, что нашей задачей было отметить возможность только первой стадии, влияние различных агентов на баллонную материя, то обработка обычно не была продолжительной.

**Влияние вакуума.** На высоте в 20 км мы имеем вакуум около 41 мм. Мы, в своих опытах, имели вакуум около 40 мм.

**Методика опыта.** Образцы баллонной материи, предварительно испытанные на газопроницаемость, были положены в эксикатор, из которого затем удалялся воздух водоструйным насосом. Эксикатор с образцами был оставлен при комнатной температуре (при рассеянном дневном освещении) на двое-трое суток; после этого образцы вновь поверялись на газопроницаемость. Как видно из приводимой таблицы (стр. 700), через двое суток особых изменений не произошло; через трое суток отмечается небольшое повышение газопроницаемости.

**Влияние кислорода.** В виду того, что кислород абсорбируется резиной в весьма значительных количествах, то прежде, чем обрабатывать образцы в атмосфере озона, воздействие которого хорошо известно, мы решили поставить опыты с кислородом. Эти опыты показали, что в течение первых суток нет особых изменений, но после этого времени начинается весьма сильное воздействие, что видно из таблицы.

**Влияние ионизации гамма-лучами.** Эти опыты были любезно поставлены проф. А. Б. Вериге в Гос. Радиовом институте. Они различаются по продолжительности обработки и по интенсивности. Как видно из таблицы, в течение первых суток отмечается небольшое повышение газопроницаемости, а при более продолжительном воздействии газопроницаемость уже значительно возрастает.

Сводная таблица опытов по газопроницаемости баллонных тканей

№№ опытов	Метод обработки	Газопроницаемость л/м <sup>2</sup> в сутки при 15° С		
		До обработки	После обработки	Отношение $\frac{b}{a}$
1	Вакуум 48 час. . . . .	28.1	28.6	1.04
2	„ 72 „ . . . . .	15.25	20.2	1.32
	Гамма-лучи, интенсивность :			
3	10 <sup>5</sup> ионов 23 час. . . . .	12.1	16.3	1.34
4	10 <sup>6</sup> „ 23 „ . . . . .	18.8	29.6	1.57
5	10 <sup>6</sup> „ 92 „ . . . . .	24.4	81.9	3.40
6	10 <sup>8</sup> „ 92 „ . . . . .	18.6	79.0	4.30
7	10 <sup>9</sup> „ 92 „ . . . . .	17.8	78.0	4.38
	Обработка кислородом в течение :			
8	12 час. . . . .	15.0	Без особых изменений	
9	18 „ . . . . .	15.0		
10	48 „ . . . . .	19.25	85.5	4.41
11	72 „ . . . . .	17.2	98.5	5.68

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уже на основании этих опытов можно заметить, что баллонная материя в течение первых суток обладает способностью сопротивления различным агентам, и только через 20 час. начинается изменение газопроницаемости. Конечно, в стратосфере, при комбинированном воздействии всех агентов, тем более в присутствии активированного кислорода, можно ожидать более сильного воздействия их на резину, но, принимая во внимание способность к сопротивлению и непродолжительность полета, можно полагать, что эти воздействия, при условии предварительного, бережного отношения к баллонной ткани до полета, окажутся незначительными. Интересно также отметить, что степень ионизации (105—108) при непродолжительной обработке не имеет особого значения.

Конечно, на основании приведенных опытов трудно делать какие-либо выводы, но во всяком случае они показывают, что изучение воздействия условий атмосферы, а в особенности стратосферы на баллонную ткань, должно быть одной из задач химии высокомолекулярных соединений.

Изучение старения баллонных тканей это — комплексное изучение старения клетчатки, каучука и эфиров целлюлозы. Приведенные выше выдержки из моих работ — грубая наметка по изучению в этой области.

По мере возможности я постараюсь продолжать эти работы, так как считаю, что изучение старения баллонных тканей весьма серьезная и необходимая работа.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1—2. Руд. Вердуччио. Подужесткая система воздушных кораблей. Пер., Л., 1932 г.
  3. А. П. 1827213.
  4. Г. П. 483485.
  5. Г. П. 529277.
  6. Г. П. 542214.
  7. Г. П. 550605.
  8. Г. П. 542214.
  9. Б. П. 350358.
  10. Б. П. 365350.
  11. Б. П. 347735.
  12. Б. П. 284584.
  13. А. П. 1665500.
  14. А. П. 1691764.
  15. Ф. П. 652150.
  16. А. П. 365350.
  17. Katz I. R. und Samuel P. J. Naturw., 16, 592 (1928).
  18. — Lieb. Ann., 472, 241.
  19. — Lieb. Ann., 474, 296 (1929).
  20. Zocher P. und Stiebel F. Naturwiss., 19/672 (1929)
  21. — Z. f. physik. Chem., A. 147, 432 (1930).
  22. Gortel E. und Grendel F. Trans. Faraday Soc., 22, 477 (1926).
  23. — Bioch. Zeit., 201, 391 (1930).
  24. Гесс. Ионизация атмосферы.
  25. Süring H. Lehrbuch d. Meteorologie.
  26. Mark und Valko. Kautschuk, 10, 210 (1930).
  27. Chapman. Phil. Magaz. (7) 10, 369—383 (1930).
  28. Dobson. Proc. Royal. Soc. (Lond.) A. 129, 411—33 (1930).
  29. Fabry Ch. Scientia. 49, 11—22 (1931).
  30. Daurinowsky A. C. R., 191, 859—61 (1930).
  31. Chalorye & Dulois. C. R., 192, 808—10 (1931).
  32. Götz Paul. Naturwissenschaften, 19, 373—4 (1931).
  33. Ruedy Rich. Phys. Rev., 35, 295 (1930).
  34. Linhart G. J. Phys. Ch., 36, 1908—11 (1932).
  35. Keiischiro Asano. Ind. Rubb. Journ., v. 70, 307 (1925).
  36. Мысовский Л. В. Космические лучи.
  37. Chem. & Met. Eng., 23, 17, 71 (1920).
  38. Van Rossem. Kautschuk, 5, 79—86, 60115—17 (1931).
  39. Kautschuk, 8, 73—9 (1932).
  40. Руководство к работам в аэростатической лаборатории. Изд. ИГВФ.
  41. Монография инж. К. Е. Кирпичникова по определению газопроницаемости посредством интерферометра.
  42. Frenzel. Chem. Ztg., 43, 530, (1919).
-



К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

## ДОСТИЖЕНИЕ ВЫСОТ СТРАТОСТАТОМ

Есть несколько способов достижения высот. Перечислим их:

1) Восхождение на горы. Предел — менее 9 км. Трудность — в неимении дорог, низкой температуре, в разреженном воздухе (разрежение около 2.5) и в снежных бурях.

2) Постройка. Высота ее зависит от крепости материала и ее формы. Теоретически высота может достигать десятка километров, но на практике она едва ли превзойдет сейчас 1000 м. Препятствие — в больших расходах при незначительности достижения.

3) Бросание. Препятствие: длинные пушки или другие метательные приборы обойдутся очень дорого. Кроме того, обратный спуск на парашюте рискован.

4) Поднятие на водородном аэростате. Дирижабль, вследствие сложности его устройства, не даст больших высот. Тут пригоднее сферический водородный шар с непроницаемой для газов кабиной или с особым костюмом для людей вроде водолазной скафандры. Пользование кислородом в мягких мешках не позволяет подниматься выше 13—15 км, потому что давление воздуха тут оказывается недостаточным для расширения легких. Аэростат с замкнутой кабиной, вообще, с искусственной атмосферой носит название стратостата.

5) Аэроплан, специально приспособленный для высот, с герметически закрытой кабиной или подобной же одеждой, с постоянным давлением и искусственной атмосферой. Это уже будет стратоплан. Он должен иметь сжиматель для разреженного воздуха и охладитель для сжатого воздуха. Кроме того, он должен выделять и большую мощность на единицу его веса. Все это чрезвычайно затрудняет сооружение высотных аэропланов.

6) Полуреактивный стратоплан. Он описан мною в моих трудах. Тут — естественное охлаждение от выхлопных газов и использование их отдачи. Особый еще прием для предохранения воздушного винта от быстрого вращения и разрыва.

7) Реактивный стратоплан, который может служить и звездолетом или астронавтом, так как не зависит от кислорода атмосферы, ибо запасает его еще перед полетом.

8) Все стратопланы (5—7) имеют крылья, что позволяет им спускаться обратно на Землю планированием.

Это их преимущество перед чисто реактивными аппаратами, спускающимися обратно при помощи парашютов.

Здесь мы имеем в виду заняться одним стратостатом.

9) Полная подъемная сила шара будет

$$(d_a - d_H) \cdot \frac{\pi}{6} \cdot D^3,$$

где  $d_a$  есть плотность воздуха,  $d_H$  — плотность водорода,  $\pi$  — отношение длины окружности к диаметру  $D$  шара.

10) Но если он, поднимаясь, достигнет, на высоте разрежения  $x$ , то внизу, у уровня океана, объем газа будет в  $x$  раз меньше, и потому его подъемная сила  $E$  будет

$$E = (d_a - d_H) \cdot \frac{\pi}{6x} \cdot D^3.$$

Конечно, внизу он будет не полон и можно его пополнить водородом для временного увеличения подъемной силы. Например, для забирая большого балласта или при утяжелении от сырости, дождя и пр. Газ должен при этом свободно выходить через нижнее отверстие в шаре, иначе он может лопнуть. Весь избыток газа при поднятии выйдет наружу, оболочка на высоте и солнце высохнет и при разрежении в  $(x)$  шар будет обладать подъемной силой по формуле (10) (хотя и будет полон). Однако, нельзя рекомендовать излишнее заполнение шара водородом, потому что придется брать большой балласт, и оболочка при полноте может разорваться, так как делается для легкости очень тонкой.

11) Часть ( $K$ ) ее пойдет на поднятие гондолы со всем содержимым, остальная часть ( $K - 1$ ) — на поднятие оболочки с привеской.

12) Следовательно, гондола будет весить  $P = E \cdot K$ .

13) Оболочка же  $P_1 = E \cdot (1 - K)$ .

14) Поверхность ( $A$ ) шара будет равна  $A = \pi \cdot D^2$ .

15) Значит вес единицы поверхности ( $P_1$ ) шара будет  $P_1 = E \cdot (1 - K) : A$ .

16) Отсюда с помощью формулам 14 и 10 получим:

$$P_1 = (d_a - d_H) \cdot (1 - K) \cdot \frac{D}{6x}$$

17) Следовательно, вес 1 м<sup>2</sup> ( $P_1$ ) оболочки стратостата увеличивается с диаметром шара ( $D$ ) и уменьшается со степенью крайнего разрежения ( $x$ ) при поднятии. Легкость оболочки не изменяется, если диаметр ( $D$ ) шара будет возрастать пропорционально желаемому наибольшему разрежению ( $x$ ) и, стало быть, большей высоте поднятия.

18) Из формул 12 и 10 найдем вес гондолы ( $p$ ) с содержимым.

Именно

$$p = \pi \cdot k \cdot (d_a - d_H) \cdot \frac{D^3}{6T}$$

19) Из формул 16 и 18, выключая ( $K$ ), получим:

$$x = \frac{(d_a - d_H) D^3}{6 \left( \frac{P}{\pi} + P_1 \cdot D^2 \right)}$$

20) Здесь мы видим простую зависимость наибольшего достигнутого стратостатом разрежения ( $x$ ) в зависимости от диаметра ( $D$ ) шара, веса гондолы ( $p$ ) и веса единицы поверхности оболочки шара, считая и его привеску.

21) Выведенные формулы дают нам возможность составить таблицу стратостата (см. табл. 1 на стр. 706).

22) Для объема шара ( $V$ ) имеем известную формулу:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot D^3.$$

23) Для поверхности ( $S$ ):

$$S = \pi \cdot D^2.$$

24) Для высоты пустого вытянутого шара ( $h$ ) формулу

$$h = D \cdot \frac{\pi}{2} = D \cdot 1.57.$$

25) Полная подъемная сила определяется по формуле 9. Но она не употребляется для стратостата. Всегда идет в дело только часть ее, не меньшая  $\left(\frac{1}{T}\right)$ .

26) Истинная подъемная сила (на предельной высоте) узнается по формуле [10]. Она зависит от плотности взятого для шара газа. Для достижения наибольшей высоты необходимо употребить легчайший водород. От солнца, особенно в верхних слоях атмосферы, он сильно подогревается, отчего аэростат поднимается выше, чем следует по расчету. Этим пренебрегать не следует. Полезно делать, примерно, третью часть поверхности оболочки черной, а остальную белой или блестящей. Но затруднение в том, что для получения наивысшей температуры водорода приходится поворачивать шар черной частью оболочки к солнцу, что не легко сделать. В тропических странах или у нас летом (в полдень) дело упрощается: надо только макушку шара делать черной, а нижнюю, теневую часть — светлой. Разность температур при этом может достигать выше  $100^\circ \text{C}$ . Напр., в воздухе  $-50^\circ$ , а в оболочке водород может иметь больше  $+50^\circ$ .

27) Вес гондолы ( $p$ ) с содержимым дается. Для баллонов-зондов или радио-зондов он не велик. Для стратостата же он не мал и зависит от числа воздухоплавателей и объема непроницаемой кабины.

Из формулы [19] видно, что для достижения наибольшей высоты вес гондолы должен быть наименьшим.

Поэтому шары-зонды и радио-зонды должны подниматься на большую высоту, чем стратостаты с людьми и тяжелой кабиной.

28) Из той же формулы 19 видно, что разрежение ( $T$ ) увеличивается с уменьшением веса  $1 \text{ м}^2$  оболочки ( $P_1$ ) и с увеличением диаметра ( $D$ ) шара.

Приводим таблицу 1.

Таблица 1

Стратостаты						
Диаметры шара в метрах						
1 . . . . .	25	30	35	40	45	50
Высота растянутого пустого шара.						
2 . . . . .	39	47	55	63	70	78
Объем шара в $\text{м}^3$						
3 . . . . .	8131	14 137	22 449	33 510	47 712	65 450
Поверхность в $\text{м}^2$						
4 . . . . .	1964	2828	3848	5028	6362	7856
Подъемная сила полного шара в кг. Для $1 \text{ м}^3$ принимается 1.2 кг						
5 . . . . .	9817	16 964	26 939	40 212	57 254	78 540
Вес гондолы $p = 1 \text{ т}$ . Вес $1 \text{ м}^2$ оболочки $P_1 = 300 \text{ г} = 0.0003 \text{ т}$ . Разрежение ( $x$ )						
6 . . . . .	6.18	9.19	12.5	14.94	19.67	23.41
Высота поднятия в км						
7 . . . . .	15	17.5	19	20	21.5	23
Вес гондолы $p = 500 \text{ кг} = 0.5 \text{ т}$ . Вес $1 \text{ м}^2$ оболочки $P_1 = 200 \text{ г} = 0.0002 \text{ т}$						
Разрежение $x$ и высота поднятия будут:						
8 . . . . .	11.0	15.9	21.2	26.7	32.3	37.9
9 . . . . .	18.5	21	22	23.5	24.5	26
Вес гондолы $p = 200 \text{ кг} = 0.2 \text{ т}$ . Вес $1 \text{ м}^2$ оболочки $P_1 = 200 \text{ г} = 0.0002 \text{ т}$						
Разрежение ( $x$ ) и высота будут:						
10 . . . . .	16.57	22.14	27.87	33.33	38.94	44.36
11 . . . . .	21	22.5	24	25	25	27
Вес гондолы $p = 200 \text{ кг} = 0.2 \text{ т}$ . Вес $1 \text{ м}^2$ оболочки $100 \text{ г} = 0.0001 \text{ т}$						
Разрежение ( $x$ ) и высота поднятия будут:						
12 . . . . .	24.76	34.1	45.1	57.3	69.3	79.7
13 . . . . .	23	25	26.6	28	29	50
Вес гондолы $p = 100 \text{ кг} = 0.1 \text{ т}$ . Вес $1 \text{ м}^2$ оболочки $= 50 \text{ г} = 0.00005 \text{ т}$						
Разрежение ( $x$ ) и высота поднятия будут:						
14 . . . . .	49.6	70.8	92.6	115	138	160
15 . . . . .	27	29	30.5	32	33	34

29) Табл. 1 дает по порядку строк следующее:

1 строка. Диаметр вполне надутого шара в метрах. Такой вид он имеет только на высоте при достижении разрежения ( $x$ ). У уровня океана он почти пуст.

2 строка. Высота растянутого пустого шара.

3 строка. Объем шара в м<sup>3</sup>. У уровня моря впускается в него газа в ( $T$ ) раз меньше.

4 строка. Поверхность шара в м<sup>2</sup>.

5 строка. Подъемная сила наполненного водородом шара у уровня океана (при нормальных условиях). Истинная подъемная сила в ( $T$ ) раз меньше. Чем больше желаемое разрежение ( $T$ ) и высота поднятия, тем меньше подъемная сила одного и того же шара и тем тоньше должна быть его оболочка. Напр., для достижения высоты 85 км., где разрежение достигает миллиона, оболочка шара должна быть в миллион раз тоньше обыкновенной (см. табл. 2 на стр. 708).

6—7 строки. Разрежение и высота поднятия, предполагая вес гондолы в 1 т и вес м<sup>2</sup> оболочки в 300 г.

8—9 строки. То же, но при весе гондолы (с содержимым) в 500 кг и весе 1 м<sup>2</sup> оболочки в 200 г (почти столько весила оболочка стратостата СССР). Разрежение ( $T$ ) от 11 до 38, а высота поднятия шара от 18 до 26 км.

10—11 строки. То же, но при весе гондолы с 200 кг. Высота поднятия от 21 до 27 км. Но при таком весе может подняться только один человек в замкнутой кабине. При крайнем поднятии над головой воздухоплавателя будет только  $\frac{1}{44}$  часть атмосферы (по массе).

12—13 строки. То же, но при вдвое более тонкой оболочке. Разрежение ( $x$ ) доходит до 80, а высота — до 30 км.

14—15 строки. То же, но еще уменьшаем вдвое вес гондолы и вес 1 м<sup>2</sup> оболочки. В таком случае может подняться только один человек в предохраняющей одежде (вроде скафандры). Разрежение доходит до 160, а высота — до 34 км.

30) Дальнейшее увеличение размеров оболочки может дать еще большее разрежение и высоту.

При составлении табл. 1 мы пользовались табл. 2.

В ней высота над уровнем океана дана в километрах. Предполагается, что температура равномерно понижается от нуля до —75° С.

Далее, т. е. выше 15 км., мы принимаем ее постоянной. Вторые строки указывают на разрежение или относительную обратную плотность воздуха, а не на обратное давление. Обратное давление будет немного больше, благодаря пониженной температуре. Т. е. давление уменьшается в большее число раз, чем показано в таблице. Мы его не приводим, потому что для авиации в отношении сопротивления наибольшее значение имеет плотность среды.

Таблица 2

Тропосфера, от 0 до — 75° С					
Равномерное понижение температуры					
Высота . . . . .	1	2	3	4	5
Разрежение . . .	1.11	1.23	1.37	1.53	1.72
Высота . . . . .	6	7	8	9	10
Разрежение . . .	1.93	2.16	2.44	2.75	3.12
Высота . . . . .	11	12	13	14	15
Разрежение . . .	3.55	4.04	4.61	5.29	6.10
Стратосфера, —75° С					
Высота . . . . .	16	17	18	19	20
Разрежение . . .	7.25	8.62	10.21	12.14	14.41
Высота . . . . .	21	22	23	24	25
Разрежение . . .	17.12	21.46	24.15	28.65	30.70
Высота . . . . .	26	27	28	29	30
Разрежение . . .	40.5	48.1	57.1	67.6	80.6
Высота . . . . .	31	32	33	34	35
Разрежение . . .	95.2	113.4	134.8	160.0	190.5
Высота . . . . .	36	37	38	39	40
Разрежение . . .	226.2	268.8	319.5	378.8	450.4
Высота . . . . .	42	44	46	48	50
Разрежение . . .	637	893	1264	1782	2519
Высота . . . . .	52	54	56	58	60
Разрежение . . .	3546	5000	7040	10 000	13 720
Высота . . . . .	65	70	75	80	85
Разрежение . . .	37 880	78 740	185 900	439 000	1 040 000
Высота . . . . .	90	95	100		
Разрежение . . .	2 487 000	5 814 000	137 020 000		

31) Сделаем еще расчет на шары-зонды. Допустим:  $D = 5$  м.; вес гондолы  $p = 1$  кг  $= 0.001$  т; вес  $1$  м<sup>2</sup> оболочки  $25$  г  $= 0.000025$  т. Разрежение ( $T$ ) будет  $26.2$ , а высота поднятия —  $23.5$  км. При ( $D$ ) в  $10$  м  $X = 70.7$ , а высота  $29.3$  км.

32) Как видно, достижимая высота очень далека не только от космических высот, но и от пределов, или верхних границ атмосферы. Все же при достижении, примерно,  $40$  км высоты, над головой воздухоплавателя остается только  $\frac{1}{450}$  доля всей массы атмосферы. Но (по высоте ее) над головой будет лежать еще слой в  $500$  км, а может быть и больше.

33) Проникновение через всю атмосферу и за нее, т. е. в пустоту, возможно с помощью реактивных аэропланов с запасным кислородом. Стратопланы же обычного типа или полуреактивные, использующие кислород атмосферы, не могут достичь пределов атмосферы и тем более залететь в пустоту. Но они могут конкурировать со стратостатами и, главное, достичь скоростей самостоятельного движения в несколько сот метров в секунду.

И. А. КИББЕЛЬ

## К ВОПРОСУ О СОПРОТИВЛЕНИИ ПРИ СКОРОСТЯХ, БЛИЗКИХ К СКОРОСТИ ЗВУКА

1. Скорости, о которых я буду говорить, ничтожно малы по сравнению со скоростями, интересующими астрономов (падение болидов, метеоритов), но довольно значительны по сравнению со скоростями движения современных самолетов. Аэроплан, покрывающий 250 км в час, делает около 68 м в секунду; рекордная, достигнутая в тропосфере, скорость самолета это — примерно 250 м/сек. Скорость же звука в атмосфере при температуре в 0° будет, как известно, 330 м/сек.

При подсчете подъемной силы и сопротивления крыла обычного самолета предполагается, вообще говоря, что воздух есть идеальная, несжимаемая жидкость, и задача сводится к решению уравнения Лапласа  $\nabla^2 \Phi = 0$  для определения потенциала скоростей  $\Phi$  (т. е., в конце концов, к задаче конформного отображения) с учетом влияния вязкости лишь в пределах так наз. пограничного слоя.

Принцип подобия нас учит, что с увеличением скорости эффект вязкости уменьшается, но зато сжимаемость начинает играть большую роль: Закон Бернулли позволяет получить также и количественные критерии, для жидкости идеальной, но несжимаемой

$$p = p_0 + \rho_0 \frac{v_0^2}{2} \quad [1]$$

(набегание на пластинку) ( $p$  — давление,  $p_0$ ,  $\rho_0$ ,  $v_0$  давление, плотность и скорость вдали от пластинки), а для идеальной, движущейся адиабатически и сжимаемой:

$$p = p_0 \left\{ 1 + \frac{k-1}{2} \frac{v_0^2 \rho_0}{k p_0} \right\}^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = p_0 + \frac{\rho_0 v_0^2}{2} \left[ 1 + \frac{v_0^2}{4a_0^2} + \dots \right] \approx p_0 + \frac{\rho_0 v_0^2}{2} \left( 1 + \frac{v_0^2}{4a_0^2} \right), \quad [2]$$

где

$$a_0^2 = k \frac{p_0}{\rho_0} = \text{квадрат скорости звука,}$$

и давление будет отличаться меньше чем на 1% от давления, вычисленного по формуле [1], лишь если

$$\frac{v_0^2}{4a_0^2} < \frac{1}{100}, \text{ т. е. } v_0 < \frac{1}{5} a_0 \approx 68 \text{ м/сек.}$$

Таким образом, при скоростях близких, к скорости звука, а о них я хочу говорить подробнее, сжимаемость учитывать необходимо.

2. Уравнения движения сжимаемой идеальной жидкости имеют вид: (ограничиваемся стационарными и адиабатическими движениями и отбрасываем действие сил):

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} &= 0 \\ u \frac{\partial}{\partial x} \frac{p}{\rho^k} + v \frac{\partial}{\partial y} \frac{p}{\rho^k} + w \frac{\partial}{\partial z} \frac{p}{\rho^k} &= 0 \end{aligned} \right\} [3]$$

Это система уравнений, содержащая пять функций и их производные первого порядка по трем координатам. Постараемся решить для нее задачу Коши. Последняя для нашей системы заключается в определении искомых функций по данным значениям их  $u_0, v_0, w_0, p_0, \rho_0$  на некоторой поверхности

$$f(x, y, z) = C. \quad [4]$$

Напомним, что идея решения задачи Коши заключается в возможности последовательного определения, при помощи заданной на поверхности [4] системы искомых функций  $u_0, \dots$ , всех производных всех порядков от искомых функций и в составлении затем ряда, представляющего однозначное и непрерывное решение в области  $(x, y, z)$ , близкой к поверхности [4], обращаясь на поверхности в  $u_0, \dots$ . Всегда ли возможно, однако, нахождение при помощи [3] всех производных? Чтобы ответить на этот вопрос, сделаем замену переменных, беря вместо  $x, y, z$  —  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ , где

$$x = \bar{x}; \quad y = \bar{y}, \quad \bar{z} = f(x, y, z),$$

причем  $f(x, y, z)$  есть левая часть уравнения [4]. Полагая теперь,  $u(x, y, z) = \bar{u}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ , ... мы очень легко запишем условие, что  $u$  задано на поверхности [4]; действительно, там  $\bar{z} = C$  и значит надо лишь написать  $\bar{u}(\bar{x}, \bar{y}, C)$ . Таким образом, условия Коши будут  $\bar{u}(\bar{x}, \bar{y}, C) = \bar{u}_0(\bar{x}, \bar{y})$ , ... заданные функции от  $\bar{x}, \bar{y}$ , а это значит, что мы можем простым дифференцированием  $\bar{u}_0, \dots$  найти значения производных по  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  от наших функций на поверхности [4]. Остается найти лишь частные производные по  $\bar{z}$  (действительно,  $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} \frac{\partial f}{\partial x}$ , таким образом, зная производные вида  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}}$  и  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}}$  и зная уравнение поверхности [4], можем найти все произ-

водные вида  $\frac{\partial u}{\partial x}$ ). Чтоб сделать это, обращаемся к уравнениям [3], каковые можно переписать в виде

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{\rho} f_x \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}} &= (\bar{u} f_x + \bar{v} f_y + \bar{w} f_z) \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} + \dots; \\ -\frac{1}{\rho} f_y \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}} &= (\bar{u} f_x + \bar{v} f_y + \bar{w} f_z) \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{z}} + \dots; \\ -\frac{1}{\rho} f_z \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}} &= (\bar{u} f_x + \bar{v} f_y + \bar{w} f_z) \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}} + \dots; \\ f_x \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} + f_y \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{z}} + f_z \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}} + \dots &= 0; \\ (\bar{u} f_x + \bar{v} f_y + \bar{w} f_z) \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z} \rho^k} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad [5]$$

(выписаны лишь члены, содержащие дифференцирование по  $\bar{z}$ ). Получаем систему 5 алгебраических уравнений (5) для определения первых пяти производных  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}}$ ,  $\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{z}}$ ,  $\frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}}$ ,  $\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}$ ,  $\frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}}$  и, если определитель этой системы будет отличен от нуля, производные могут быть без труда найдены. Дифференцируя затем [3], можем аналогичным путем найти вторые производные и т. д. Задача Коши будет затем решена.

Посмотрим однако, может ли оказаться, что определитель системы (5) обращается в нуль.

Элементарный подсчет показывает, что определитель этот равен:

$$(f_x^2 + f_y^2 + f_z^2) v_n^2 \left( v_n^2 - \frac{kp}{\rho} \right), \quad [6]$$

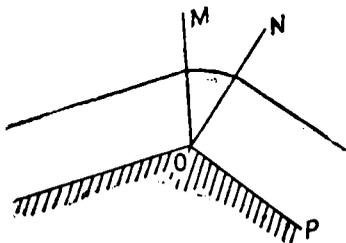
где  $v_n$  нормальная к поверхности [4] составляющая скорости движения жидкости (мы отбросили черту над буквами). Таким образом, видим, что если на  $f=C$

$$|v_n| = a \sqrt{\frac{kp}{\rho}}, \quad [7]$$

то задача Коши для поверхности  $f=C$  решена быть не может. Поверхность носит тогда, как известно, название характеристической поверхности. Если во всех точках пространства  $v(x, y, z) < a$ , то, какую бы поверхность через данную точку  $M$  мы ни провели, всегда будет  $|v_n| \leq v < a$ , и нигде определитель [6] в нуль не обращается — задача Коши может быть всегда решена.

Вообразим, напротив, движение, в котором скорость в каждой точке превосходит местную скорость звука ( $v > a$ ). Какую бы точку жидкости мы ни взяли, всегда найдется теперь поверхность, проходящая через эту точку, и такая, что на ней выполняется [7]. Так как решение задачи Коши становится теперь неопределенным, мы не можем ручаться за однозначность движения, определяемого значениями функций  $u_0$ ,  $v_0$ ,  $w_0$ ,  $p_0$ ,  $q_0$ ,

заданными на этой поверхности. Физический смысл таков: при наличии всюду скоростей, больших скорости звука, мы можем иметь два различных движения, переходящие одно в другое вдоль характеристической поверхности. Пример: плоское движение, причем газ движется прямолинейно и равномерно вдоль оси  $X$ , а затем начинает обтекать тупой угол (вершина  $O$ ). Если  $P = \text{const}$ , то характеристики, в силу [7], прямые. Проведем одну из них  $OM$  через  $O$  (фиг. 1). Начиная от этой характеристики, прямолинейное движение газа начнет переходить в криволинейное (скорости и давление меняются непрерывно), с тем, чтобы потом — вдоль новой характеристики  $ON$  перейти в прямолинейное движение, параллельное стенке  $OP$ .



Фиг. 1.

3. При изучении стационарных движений мы встречаемся с двумя сортами величин. Одни, как, например, скорость, давление, плотность, будут, вообще говоря, иметь разные значения в разных точках одной и той же линии тока. Другие — на каждой

линии тока сохраняются. К числу последних принадлежит, очевидно, в силу последнего из [3], отношение

$$\vartheta = \frac{P}{\rho^{\frac{1}{k}}} \quad [8]$$

(величина, просто выражаемая через одну только энтропию), а также величина  $i_0$ , входящая в интеграл Бернулли:

$$\frac{v^2}{2} + \frac{k}{k-1} \vartheta p^{\frac{k-1}{k}} = i_0 = \frac{v^2}{2} + \frac{1}{k-1} a^2 \quad [9]$$

( $i_0$  — полная энергия единицы массы  $= \frac{k}{k-1} RT_0$ ). Эти последние величины, переносимые без изменения частицами, играют, при наличии безгранично простирающихся линий тока, роль своеобразных условий на бесконечности; их принято в газовой динамике считать известными функциями координат. Легко показать, например, что в потенциальном движении

$$\vartheta = \text{const} \quad \text{и} \quad i_0 = \text{const}, \quad [10]$$

тогда как в случае вихревого потока одна из величин  $\vartheta$  или  $i_0$  обязательно отлична от постоянной.

Интегрирование системы [3], даже после того, как даны функции  $\vartheta$  и  $i_0$ , представляет весьма большие трудности. С наибольшей полнотой изучены в настоящее время плоские безвихревые движения. Здесь имеются общие результаты, касающиеся движений со скоростями, хотя и значительно меньшими, нежели звуковые, но когда сжимаемостью уже пренебречь нельзя (работы Франкля и Келдыша). Затем идет весьма мало

освещенная область скоростей близких к скорости звука, но еще дозвуковых и, наконец, наиболее подробно исследованная картина движений со скоростями, всюду превышающими скорость звука. Значительно меньше изучены более сложные случаи движений вихревых (плоских), что же до движений пространственных, то здесь велись, главным образом, исследования потоков осесимметрических (вихревых или безвихревых) при наличии всюду сверхзвуковых скоростей.

Мы имеем в виду подробно остановиться на плоской вихревой задаче со сверхзвуковыми скоростями.

4. Предполагая, что движение происходит в плоскости  $(XY)$ , рассмотрим характеристики, вернее линии пересечения характеристических поверхностей с плоскостью  $(X, Y)$ . Представляя уравнение характеристик в виде

$$y = Y(x), \quad [11]$$

будем в силу [7] для тангенса наклона характеристик иметь

$$Y' = \frac{uv \pm \sqrt{v^2 - a^2}}{u^2 - a^2} = A(u, v, i_0) \quad [12]$$

(характеристику, отвечающую  $Y'$  со знаком „+“, будем дальше называть характеристикой первого семейства, со знаком „—“ — характеристикой второго семейства). Покажем, как при помощи характеристик может быть решена задача обтекания произвольного контура при наличии всюду сверхзвуковых скоростей. Пусть в среде с данным распределением температур  $T_0 = \frac{k-1}{kR} i_0$ , давления  $\rho_0$  и плотности  $\varrho_0$  движется, со скоростью  $v_a$ , параллельно оси  $X$ , контур  $L$ . Будем считать крыло неподвижным, а воздух набегающим на крыло со скоростью  $v_0$ , в сторону противоположную движению крыла. Характеристики первого семейства  $L'$  (фиг. 2) и второго семейства  $L''$ , выходящие из  $P$ , могут быть найдены из дифференциальных уравнений

$$Y' = \frac{1}{\sqrt{v_0^2 - a_0^2}} \quad \text{и} \quad Y' = -\frac{1}{\sqrt{v_0^2 - a_0^2}}.$$

Если бы мы сумели найти все характеристики „справа“ от  $L'$  и  $L''$ , то мы нашли бы и линии тока, ибо, как это видно из [7], скорость всегда направлена по биссектрисе угла между характеристиками, выходящими из данной точки. Чтобы найти все характеристики, привлекаем плоскость скоростей  $(u, v)$  (фиг. 3). Вдоль всякой линии:  $du = \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy$ , вдоль характеристики —  $du = \left( \frac{\partial u}{\partial x} + Y' \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx$ , где  $Y'$  определяется из [12]. Система уравнений гидромеханики, в соединении с этими выражениями, для  $du, dv, \dots$  (удобно при этом использовать [8] и [9]) даст, по исключении всех производных и выражений  $dp, d\varrho$  связь между  $du, dv$  и  $dx$  вида:

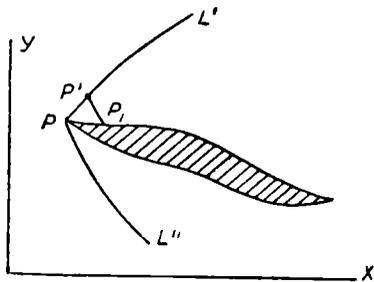
$$Bdu + Cdv = Ddx \quad [13]$$

(только вдоль характеристик!), где

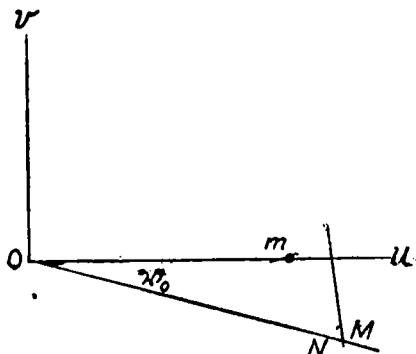
$$B = B(u, v, i_0) \quad C = C(u, v, i_0) \quad D = D(u, v, i_0, \vartheta, \frac{\partial i_0}{\partial x}, \frac{\partial \vartheta}{\partial x}, \dots)$$

$B$  и  $C$  имеют различный вид для первой и для второй системы характеристик.

Обращаясь к нашей задаче, берем  $P'$  близко к  $P$  на  $L'$  и, используя [12], проводим через нее элемент характеристики второго семейства до пересечения с контуром в точке  $P_1$ . В  $P_1$  известно направление скорости; его отметим в плоскости  $(u, v)$  прямой  $OM$ . В этой последней плоскости построим точку  $m$ , дающую  $v_0$  (ось  $u$ ) и отойдя на расстояние  $\left| \frac{Ddx}{\sqrt{B^2 + C^2}} \right|$  ( $dx$  — раз-



Фиг. 2.



Фиг. 3.

ность абсцисс точки  $P_1$  и  $P$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  — рассчитываются в  $P'$ ), проведем элемент прямой  $Bu + Cv = \text{const}$  до пересечения с прямой  $OM$  в точке  $N$ . Абсцисса и ордината точки  $N$  дадут нам скорости в точке  $P_1$ , давление же определится по закону Бернулли [9]. Теперь по [12] можем построить характеристику первого семейства, проходящую через точку  $P_1$  и т. д. Задача будет решена.

Аналогичным методом решается осесимметрическая пространственная задача (движение снаряда), а так же как плоское, так и пространственное осесимметрические внутренние задачи (сопла, ракеты). Метод этот для простейшего случая плоских безвихревых движений был дан Busemann'ом, а для вихревых и осесимметрических был весьма остроумно обобщен Франклем.

5. До сих пор мы не говорили об одной весьма важной особенности, характеризующей движение со сверхзвуковыми скоростями — о возникновении так называемых сильных разрывов (скачков уплотнения). На характеристиках функции  $u, v, w, p, \varrho$  остаются непрерывными, и лишь их различные производные могут терпеть разрыв (отсюда получают разные решения слева и справа от характеристики). Но при обтекании контура, вообще говоря, всегда окажется так, что характеристики одного и того же семей-

ства начинают пересекаться; здесь возникает разрыв самих искомых функций — „сильный разрыв“. Уравнения гидродинамики, написанные в виде интегралов, позволяют связать величины разрывов наших пяти элементов пятью соотношениями, в которые входит еще и наклон поверхности разрыва. Наличие разрыва давления сильно меняет картину распределения давления на крыле, прибавляя как бы новое сопротивление („волновое сопротивление“); еще сильнее меняется распределение скоростей. Так, для случая движения в стратосфере ( $T_0 = 220^\circ$ ,  $a_0 \approx 297$   $p_0 = 50$  мм) со скоростью в 400 м/сек. получаем, при так называемом прямом ударе (т. е. непосредственно перед тупым профилем)  $u = 184$  м/сек.,  $p \approx 119$  мм,  $T \approx 272^\circ$ . В случае, когда и после прохождения разрыва скорость всюду остается сверхзвуковой, задача может быть решена путем обобщения графического метода, изложенного выше. Поверхность разрыва действует при этом как своеобразный контур, положение и форма которого неизвестны, но на котором заданы не только направления, но и величина скорости. Однако (см. пример), если обтекаемый контур имеет тупую переднюю часть или если он образует большой угол с направлением потока, то, после прохождения через разрыв, скорости обязательно обратятся в области, близкой к передней части контура, в дозвуковые. Мы возвращаемся, таким образом, вновь к задаче о движении с дозвуковыми, близкими к скорости звука, скоростями, но с тем усложнением, что здесь речь идет о движении со скоростями частью до-, а частью сверхзвуковыми. Задача эта до сих пор не решена. Отдельные частные решения, на которых я не могу здесь подробно останавливаться, были получены (в эксплицитной и аналитической форме) в Ленинграде.

Я позволю себе обратить внимание Конференции на то, что решение этой проблемы в общем виде представляет, на мой взгляд, самую важную, самую актуальную задачу аэродинамики полета в стратосфере.



Ю. А. ПОБЕДОНОСЦЕВ

## ТРУБА СВЕРХЗВУКОВЫХ СКОРОСТЕЙ

„Аэродинамика стратосферм есть аэродинамика больших скоростей“.

(Из доклада Ф. И. Франкля на Конференции по стратосфере при Академии Наук СССР).

Аэродинамика сверхзвуковых скоростей является новой, сравнительно слабо изученной, областью современной аэродинамики и обязана своим возникновением, с одной стороны, запросам внешней баллистики и, с другой стороны, прогрессивному развитию современного самолетостроения.

Скорость полета современных гоночных самолетов на сегодняшний день достигает порядка 205 м/сек., что составляет  $\frac{3}{5}$  от скорости звука. Концы лопастей воздушных гребных винтов работают при скоростях, близких к скорости звука. И наконец в последнее время все чаще и чаще рассматриваются проекты стратопланов, снабженных ракетными двигателями, с помощью которых становится реальным осуществление в стратосфере скоростей полета, на много превосходящих скорость звука.

В том случае, когда скорость движения какого-либо тела в воздухе превосходит скорость распространения звука в последнем, аэродинамические явления, происходящие при этом, не имеют ничего общего с хорошо известными нам аэродинамическими явлениями, сопутствующими полету современного самолета с дозвуковой скоростью. Изучение явлений при сверхзвуковых скоростях базируется на совершенно ином основании, нежели это принято в обычной аэродинамике, где, при сравнительно небольших скоростях движения, сжимаемостью воздуха можно свободно пренебрегать, не делая тем самым больших погрешностей в исследованиях.

При сверхзвуковых скоростях сжимаемостью воздуха пренебрегать не приходится. С достаточной для наших исследований точностью воздух в довольно широких пределах температуры и давления можно уподобить идеальному газу и все изменения состояния его принимать аналогичными изменениям идеального газа.

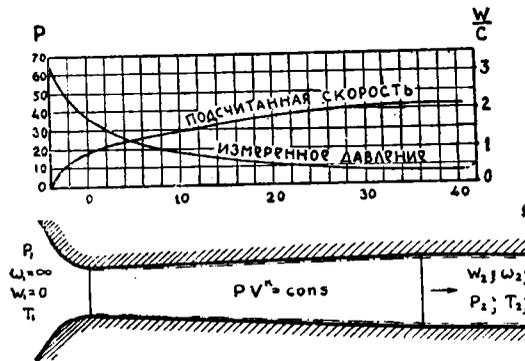
Принято считать, что сжатия и расширения воздуха, имеющие место при сверхзвуковых скоростях, протекают при отсутствии теплообмена, по адиабатическому закону. Тогда как известно, что соотношение между

давлением воздуха  $p$  и его удельным объемом  $v$  выражается уравнением адиабаты

$$p v^k = \text{const},$$

где отношение теплоемкостей  $k$  принято в дальнейшем везде равное 1.4.

Для того, чтобы получить поток воздуха, обладающий сверхзвуковой скоростью, необходимо пропустить воздух через расширяющийся насадок, обычно именуемый соплом Лавала, по имени автора, впервые применившего его в турбиностроении.



Фиг. 1. Сопло Лавала. — — размеры сопла, в котором адиабатическое расширение газа дало бы такое же распределение давления, принимая скорости по сечению постоянной, т. е. не учитывая пограничного слоя.

Такое сопло изображено на фиг. 1. Между сечениями  $\omega_1$  и  $\omega_2$  для этого необходимо создать разность давлений  $p_1 - p_2$  с таким расчетом, чтобы отношение  $\varepsilon = \frac{p_1}{p_2} \gg 1.9$ . Расширяясь от давления  $p_1$  до давления  $p_2$ , воздух будет охлаждаться, вследствие того, что часть внутренней энергии воздуха, о количестве которого мы судим по температуре его, будет при расширении переходить в кинетическую энергию движущейся массы.

Посмотрим, какой необходимо будет создать перепад давлений и как велико будет охлаждение воздуха, если мы захотим получить различные скорости потока, кратные скорости распространения звука  $c_2$  в сечении  $\omega_2$  при вновь полученной температуре  $t_2$ .

При адиабатическом изменении состояния идеального газа имеем: отношение абсолютных температур

$$\frac{T_1}{T_2} = \alpha = \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} \quad [1]$$

и скорости течения

$$w_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1}} \cdot \sqrt{gkRT_1} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad [2']$$

Выражение  $\sqrt{gkRT_1}$  есть не что иное, как скорость звука  $c_1$  в сечении  $\omega_1$  при температуре  $T_1$ . Подставляя вместо  $T_1$  температуру  $T_2$  из уравнения [1] и делая соответствующие преобразования, получим

$$w_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1}} \cdot \sqrt{gkRT_2} \cdot \sqrt{\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1}, \quad [2]$$

откуда нетрудно найти требуемое  $\varepsilon$  для достижения интересующей нас относительной скорости  $\frac{w_2}{c_2}$ ,

$$\varepsilon = \left[ 1 + \frac{k-1}{2} \left( \frac{w_2}{c_2} \right)^2 \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad [3]$$

В табл. 1 даны вычисленные значения отношений  $\varepsilon$  и  $\alpha$  для различных  $\frac{w}{c}$ , вычисленные по уравнениям [1] и [3].

Таблица 1

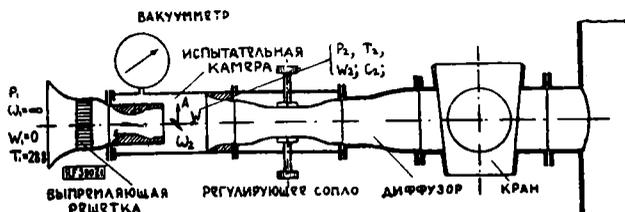
$\frac{w}{c}$	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$\varepsilon = \frac{\rho_1}{\rho_2} \dots \dots$	1.89	3.66	7.80	17.00	36.90	76.50	152.00
$\alpha = \frac{T_1}{T_2} \dots \dots$	1.200	1.450	1.800	2.225	2.800	3.450	4.200

Из этой таблицы мы видим, что для достижения всего лишь трехкратной скорости звука необходимо уже тридцатисемикратное расширение воздуха, причем абсолютная температура воздуха при этом уменьшается в 2.8 раза.

Указанный перепад давлений можно осуществить различно, например за счет давления  $p_2$ , оставляя давление  $p_1$  равным атмосферному, как это и осуществляется в Геттингенской лаборатории Прандтля.<sup>1</sup> Но при этом мы получим чрезвычайно разреженный поток воздуха, при трехкратной скорости звука соответствующий давлению всего лишь 0.027 атмосферного давления и обладающий температурой в  $-170^\circ \text{C}$ .

Скорость звука при температуре  $-170^\circ \text{C}$  равна 206 м/сек., и следовательно абсолютная скорость потока будет всего лишь 618 м/сек.

На фиг. 2 приведена схема скоростей трубы Геттингенской лаборатории. Небольшим насосом в течение значительного промежутка времени из котла емкостью 10 м<sup>3</sup> откачивается воздух до тех пор, пока давление в котле не станет на много меньше половины атмосферного.



Фиг. 2. Схема трубы, работающей на разрежение атмосферного воздуха.

<sup>1</sup> „Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens“, Bd. 4, № 2, 1933 г.

Затем посредством крана полость котла быстро сообщается с атмосферой через скоростную трубу. Пока давление в котле не достигло половины атмосферного, расход воздуха через трубу остается постоянным, и следовательно режим работы в сечении  $\omega_2$  тоже постоянен.

В рабочей камере, где помещается испытываемая модель, давление соответствует размерам сопла, помещенного перед камерой.

К числу недостатков этой установки следует отнести разреженность потока и, как следствие этого, ничтожную вязкость воздуха и малые значения числа Рейнольдса. Следующим недостатком является наличие чрезвычайно низких температур потока, при которых возможна конденсация паров воды (находящихся в атмосфере) на соприкасающихся с потоком деталях. И, наконец, третьим основным недостатком ее является чрезмерная кратковременность установившегося потока — всего лишь 7—10 сек., после чего требуется опять откачка воздуха из котла.

Этот недостаток полностью устранен в трубе высоких скоростей ЦАГИ путем замены котла и насоса специальным турбоэксгаустером мощностью в 500 л. с.,<sup>1</sup> однако первые два недостатка остаются без изменения и, кроме того, добавляется третий, о котором будет сказано ниже.

Перепад давлений можно также осуществить и за счет предварительного сжатия воздуха с последующим его расширением в сопле до атмосферного давления. По этому пути пошли французский инженер Маньян и американские исследователи, но температуры потока при этом остаются прежние. Для получения больших скоростей, как мы видели выше, нагнетание воздуха должно быть до давления 25—35 атм., а то и выше. Кроме того, за счет низкой температуры и следовательно большой плотности воздуха, при выходе из сопла требуется весьма значительное количество воздуха.

Поэтому в Английской национальной физической лаборатории, при создании трубы высоких скоростей, Стэнтон<sup>2</sup> воспользовался комбинацией двух вышеизложенных методов, а именно, сжимая специальным компрессором воздух до 7 атм., в сопле производил расширение его до давления ниже атмосферного.

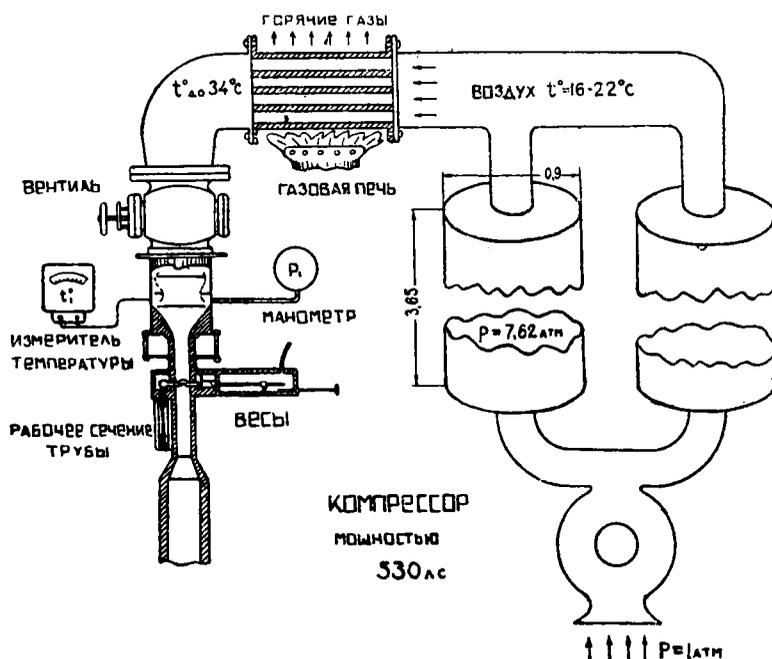
Таким образом, частично был изжит еще один недостаток первой схемы, а именно чрезвычайная разреженность потока.

Кроме того, Стэнтон пытался подогревать воздух до расширения его в сопле путем устройства специальной газовой печи. Однако ему удавалось с трудом повысить температуру всего лишь на 15—20°, так как потребное количество тепла было слишком велико; теплообмен же между стенками газовой печи и быстро протекающим через нее большим количеством воздуха был ничтожен.

<sup>1</sup> Аэро-хроника ЦАГИ, № 53, 1933 г.

<sup>2</sup> Proceeding of the Royal Society of London, 1931, vol. XXXI. T. E. Stanton.

Схема трубы Стэнтона дана на фиг. 3. Компрессор мощностью 530 л. с. засасывает 1.68 кг воздуха в секунду, сжимает его до давления 7.65 атм. и гонит в два резервуара общей емкостью примерно 4.5 м<sup>3</sup>. Из резервуаров по трубопроводу, в который по желанию может быть включена газовая печь, воздух поступает в сопло Лавала. Перед соплом устроен специальный вентиль и успокоитель с перегородками, в котором также производился замер основных начальных параметров потока: тем-



Фиг. 3. Схема трубы Стэнтона построенная в Англии.

пературы и давления. По этим данным и размерам сопла определялись скорость и давление в конце сопла, принимая адиабатический закон расширения воздуха. Давление в рабочей части трубы могло также контролироваться непосредственным измерением.

С помощью своей установки Стэнтону удалось получить относительную скорость потока воздуха до 3.25 при температуре струи порядка  $-170^{\circ}\text{C}$  и давлении  $p_2 = 1/5$  атмосферного. Абсолютное значение скорости при этом было порядка 660 м/сек. и диаметр потока равен 78 мм.

Прежде чем переходить к дальнейшему анализу приведенных схем и выводам из него, необходимо также осветить весьма существенный вопрос мощности, потребной для осуществления трубы по той или иной схеме.

Отвлекаясь от коэффициентов полезного действия всей установки в целом, определим, какой секундной живой силой или, иначе говоря, мощностью обладает сам поток сечением в 1 см<sup>2</sup> при заданных условиях.

Пусть секундная масса воздуха, протекающего через сечение  $\omega_2$  будет

$$m = \rho_2 \omega_2 w_2, \quad [4]$$

где  $\rho_2$  — массовая плотность воздуха в сечении  $\omega_2$ . Тогда секундная живая сила на единицу живого сечения струи будет

$$\frac{N}{\omega_2} = \frac{\rho_2 w_2^3}{2}. \quad [5]$$

Для первой схемы — трубы без подогрева, работающей на засасывании и разрежении атмосферного воздуха, будем иметь:

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1} = \frac{1}{8} \frac{\alpha}{\varepsilon}. \quad [6]$$

Здесь  $\rho_1$  принято равное  $0.125 \text{ кг м}^{-4} \text{ сек}^2$ . для нормальных атмосферных условий ( $p = 760 \text{ мм Нг}$  и  $t = 15^\circ \text{ С}$ ).

Выражая уравнение [5] в технических единицах, а именно: мощность в лошадиных силах,  $\omega_2$  в  $\text{см}^2$ , окончательно получим:

$$\frac{N}{\omega_2} = \frac{1}{12} \left( \frac{w_2}{100} \right)^3 \frac{\alpha}{\varepsilon} \text{ л. с. см}^{-2}. \quad [7]$$

В том случае, когда мы осуществляем схему, работающую путем расширения ненагретого сжатого воздуха до атмосферного давления, будем иметь:

$$\rho_2 = \rho_1 \alpha \quad [8]$$

и следовательно

$$\frac{N}{\omega_2} = \frac{1}{12} \left( \frac{w_2}{100} \right)^3 \cdot \alpha \text{ л. с. см}^{-2}. \quad [9]$$

Если мы теперь захотим во втором случае воздух подогревать до той температуры, которая обеспечила бы нам после расширения нормальную температуру потока, равную  $15^\circ \text{ С}$ , будем иметь:

$$\rho_2 = \rho_1 \quad [10]$$

и

$$\frac{N}{\omega_2} = \frac{1}{12} \left( \frac{w_2}{100} \right)^3 \text{ л. с. см}^{-2}. \quad [11]$$

При этом, однако, не следует забывать, что в этом случае мы должны сообщать секундной массе воздуха, протекающей через единицу площади, определенное количество тепла, которое можно выразить в тепловых единицах:

$$\frac{Q}{\omega_2} = \frac{mg}{\omega_2} C_p (T_1 - T_2) = \rho_1 g C_p T_1 \left( 1 - \frac{1}{\alpha} \right) w_2 \text{ кал. м}^{-2} \text{ сек}^{-1}. \quad [12]$$

Или же, переводя это количество тепла в единицы работы и подставляя численные значения:  $g = 9.81$ ,  $C_p = 0.24$  и  $T_1 = 288$ , получим выражение, аналогичное предыдущим:

$$\frac{N_i}{\omega_2} = 4.83 \left(1 - \frac{1}{a}\right) \frac{\omega_2}{100}. \quad [13]$$

Следовательно мощность потока за счет компрессора составит всего лишь

$$\frac{N_k}{\omega_2} = \frac{N}{\omega_2} - \frac{N_i}{\omega_2}. \quad [14]$$

В таблице 2 даны значения  $\frac{N}{\omega_2}$ , вычисленные по вышеприведенным выражениям: 7, 9, 11, 13 и 14.

Таблица 2

$\frac{w}{c}$	1	2	3	Примечание
Без подогрева				
$t_2$ °C . . .	— 31	—110	—172	$t_1 = 15$ °C = const
$w_2$ м/сек. .	312	510	605	При $\frac{w}{c} = \infty$ ; $w_2 \rightarrow = 760$ м./сек.;
$\frac{N}{\omega_2}$ л. с./см <sup>2</sup>	1.60	2.62	1.44	при разрежении $p_1 = 1$ атм. = const.
$\frac{N}{\omega_2}$ л. с./см <sup>2</sup>	3.02	19.6	52.3	при нагнетении $p_2 = 1$ атм. = const.
С подогревом				
$t_1$ °C . . . .	70°	240	550	$t_2 = 15$ °C = const.
$w_2$ м/сек. .	340	680	1020	$c_2 = 340$ м./сек. = const.
$\frac{N}{\omega_2}$ л. с./см <sup>2</sup>	3.28	26.3	88.4	Полная мощность потока
$\frac{N_i}{\omega_2}$ . . . . .	2.22	14.4	32.0	За счет подогрева
$\frac{N_k}{\omega_2}$ . . . . .	1.06	11.9	56.4	За счет компрессора

Из табл. 2 мы видим, какие огромные мощности потребны для того, чтобы создать поток воздуха со сверхзвуковой скоростью при сравнительно малых размерах струи.

В самом деле, потребная мощность должна быть не менее, чем мощность самого потока. Так, например: чтобы создать постоянный поток воздуха с трехкратной при атмосферном давлении звуковой скоростью сечением всего лишь 100 см<sup>2</sup>, мощность компрессорной установки должна быть больше 5.5 тыс. л. с.

Практика работы в аэродинамических трубах показывает, что большую часть времени работы с ней отнимает препарировка и установка испытуемой модели, наладка и тарировка измерительной аппаратуры ее и т. п.

Сам же отсчет измеряемых сил в скоростном потоке при известном желании может быть сделан достаточно быстро, например, путем применения синхронных самопишущих приборов или фотографирования визуальной измерительной аппаратуры. Таким образом, получается, что фактически труба работает сравнительно небольшой короткий промежуток времени, все же остальное время мощность, потребная для приведения потока в движение, бездействует. Естественно, что подобная пиковая нагрузка энергетических источников да еще такой огромной мощности, как мы видели выше, не предвещает быть рентабельной. Поэтому невольно напрашивается иное решение вопроса, а именно создание достаточно компактных и емких аккумуляторов энергии, где в течение промежутка времени, необходимого для установки модели и тарировки измерительных приборов, могла бы накапливаться исподволь энергия от непрерывно действующего энергетического источника сравнительно малой мощности.

В нужный момент необходимо, чтобы накопленная энергия могла быть взята большими порциями для обеспечения больших потребных мощностей потока.

Вторым не менее важным выводом из табл. 2 следует, что если бы удалось разрешить задачу сообщения необходимого количества тепла воздуху перед его расширением, то при той же мощности компрессорной установки можно было бы осуществить скорости потока на много больше по своему абсолютному значению, чем скорости при холодном дутье, не говоря уже о возможности в широких пределах менять число Рейнольдса при одной и той же относительной скорости.

Анализируя все вышеизложенное, приходим к выводам, что труба сверхзвуковых скоростей должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Температура и давление в потоке должны быть близкими к нормальным атмосферным условиям.

2. Необходимо иметь возможность в широких пределах менять давление и температуру в потоке по желанию, независимо одно от другого.

3. Масштабы трубы не должны быть слишком малы: расход воздуха не должен быть меньше 1.5—2 кг/сек. и максимальная относительная скорость потока ниже тройной скорости звука при нормальных условиях.

4. Равномерный установившийся поток должен позволять производить все необходимые замеры интересующих нас величин без ущерба точности эксперимента.

5. Мощность внешнего энергетического источника должна быть не большой по сравнению с рабочей мощностью трубы и обязательно равномерно расположенная во времени.

6. Все устройство трубы сверхзвуковых скоростей должно быть достаточно компактным.

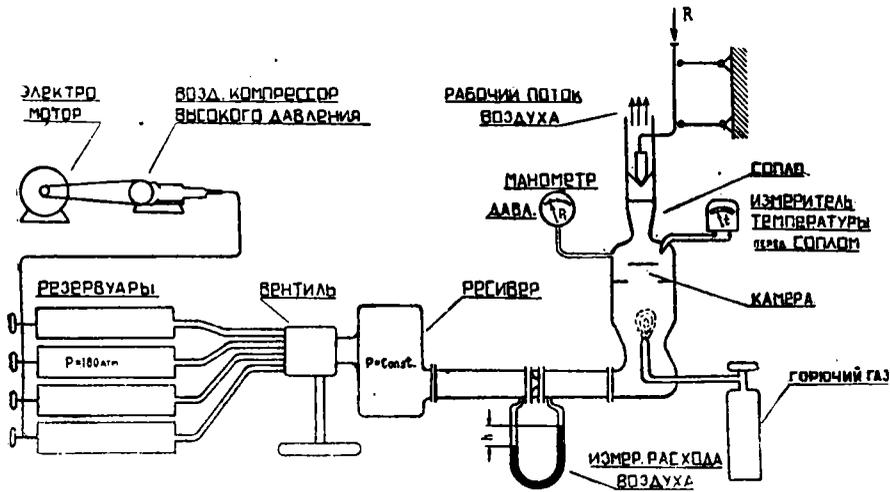
7. При осуществлении трубы необходимо использовать исключительно отечественное оборудование.

Удовлетворение этих требований привело к созданию нижеследующей схемы (фиг. 4).

Небольшой воздушный компрессор накачивает воздух в специальные резервуары до давления 150—180 атм.

Эти резервуары являются компактными аккумуляторами энергии.

Из резервуаров воздух через специальный редуцирующий вентиль поступает в промежуточный ресивер, где посредством указанного вентиля



Фиг. 4. Схема трубы с подогревом воздуха.

поддерживается постоянное давление в течение всего времени работы трубы, необходимого для проведения эксперимента, или же до тех пор, пока давление в резервуарах не сравняется с давлением в ресивере.

Величина давления в ресивере обуславливается требуемой от трубы относительной скоростью потока. Из ресивера воздух поступает под постоянным давлением в специальную камеру и далее в сопло Лавала.

Основным и самым трудным был вопрос осуществления подогрева воздуха. Из табл. 2 видно, что для обеспечения нормальной температуры в потоке, при тройной скорости звука, необходимо нагреть воздух перед выпуском через сопло до температуры 550° С.

Для тех больших секундных расходов воздуха, которые мы имеем в трубе сверхзвуковых скоростей, устройство газовой печи обещало быть громоздким и нерентабельным, что мы и видели на примере трубы Стэнтона.

Поэтому вопрос подогрева воздуха решено было разрешить путем непосредственного введения в протекающий по трубе воздух небольшого количества горючего газа и сжигания его там. Тогда все тепло, выделяющееся при горении, пойдет целиком на повышение температуры вытекаю-

щего воздуха, и необходимо будет уже только обеспечить хорошее перемешивание нагретого и холодного воздуха перед впуском его в сопло. Последнее же не представляло никаких трудностей.

Правда, при подобном решении вопроса, мы в результате получим поток воздуха с примесью продуктов сгорания. Но так как большинство топлив состоит главным образом из углерода и водорода, в результате горения которых получают газообразные продукты горения  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , то в конце концов мы будем иметь воздух всего лишь с несколько повышенным процентным содержанием углекислоты и паров воды.

Как мы увидим ниже, примесь эта на малых скоростях совсем ничтожна, а [при тройной скорости звука меньше, чем 2% по объему.

Кроме того, не исключена также возможность предварительной осушки и очистки от углекислоты воздуха, например, при накачке его в резервуары. Но указанное мероприятие вряд ли потребуется производить, вследствие того, что физическая картина обтекания модели воздухом с таким незначительным количеством примесей двухатомных газов вряд ли будет сильно отличаться от обтекания воздухом с нормальным процентным содержанием их и уж во всяком случае будет гораздо ближе к истине, чем обтекание разреженным холодным воздухом в описанных выше схемах.

Табл. 3 показывает процентное содержание одного из горючих газов, выраженное в объемном отношении  $x\%$ , необходимое для обеспечения требуемого повышения температуры воздуха в камере перед впуском в сопло.

Таблица 3

$W =$	300	500	700	900	1000	Примечание
$\epsilon = \dots$	1.63	3.47	8.08	19.8	48	$t_2 = +15^\circ \text{C}$ по объему
$t^\circ \text{C} \dots$	73	156	270	455	622	
$x\% \dots$	0.15	0.38	0.69	1.10	1.63	

Реальное осуществление указанной схемы нашло себе следующее выражение. Компрессор был взят тот, который имелся „под руками“, производительностью всего лишь  $10 \text{ м}^3$  в час при  $p_{\text{max}} = 250 \text{ атм}$ . Мощность для него требовалась всего лишь 8 л. с. Однако даже и этот маленький компрессор по настоящий момент обслуживает эксперименты в трубе совершенно свободно. Времени, идущего на тарировку приборов, монтаж модели и подготовку эксперимента, вполне достаточно для того, чтобы этот компрессор исподволь наполнил резервуары воздухом в нормальное рабочее время. При этом в запасе остаются еще две рабочих смены, в течение которых компрессор бездействует.

Воздушный аккумулятор составлен из резервуаров, аналогичных резервуарам, употребляющимся на дизельных станциях для пуска дизелей в ход, общая емкость их составляет 180 кг воздуха при давлении в 150 атм. Таким образом, реально может быть использовано около 150 кг воздуха, остальные же 30 кг будут всегда оставаться в батарее.

Редуцирование воздуха из резервуаров в ресивер производится обычным воздушным вентилем, непосредственно в ручную, специально поставленным для этого человеком. Схема всего воздухопровода высокого давления осуществлена так, что основным сопротивлением в нем является вентиль, вследствие чего поддержание необходимого давления в ресивере удается осуществлять достаточно точно и не представляет особых трудностей.

Промежуточный ресивер взят емкостью немного меньше  $0.1 \text{ м}^3$ , так как работа с ресивером большей емкости показала, что в этом случае получается значительная инертность при изменениях давления вентилем и не так легко поддерживать давление постоянным.

Из ресивера воздух по горизонтальной трубе поступает в специальную вертикальную камеру, в которую одновременно подводится необходимое количество топлива, где оно и сжигается.

В верхней части камеры находится крышка с отверстиями для установки измерительной аппаратуры и зажигания. В центре крышки имеется отверстие со специальной резьбой для привертывания различных сопел, рассчитанных на ту или иную скорость.

Перед выпуском воздуха в сопло измеряется его температура и давление, по которым непосредственно контролируется режим работы трубы.

Вся измерительная аппаратура, как характеризующая режим работы трубы, так и регистрирующая интересующие нас показания в скоростном потоке (например, силу, действующую на модель, давление, скорость и т. п.), является визуальной и смонтирована на специальном регистрационном щите. Кроме этого щита, имеется еще пульт управления трубой, где размещены все рычаги и штурвалы, управляющие вентилями, зажиганием и т. п.

Там же для контроля режима работы трубы помещаются некоторые приборы, дублированные с регистрационного щита.

Практика работы с трубой показала, что с управлением трубой вполне справляются два человека, которым дано задание держать нужную температуру и давление. Один из них следит только за давлением и поддерживает его посредством вентиля, другой же — за температурой и зажиганием. Требуемый режим они обычно устанавливают через 5—6 сек. и держат его с достаточной точностью до тех пор, пока не иссякнет весь воздух из резервуаров.

Синхронная регистрация показаний всех контрольно-измерительных приборов производится путем фотографирования регистрационного щита

в момент установившегося режима. Для того, чтобы зарегистрировать одну точку на интересующем нас установившемся режиме, необходимо 12—15 сек., в течение которых, при расходе воздуха 2 кг в сек., уйдет не более 25—30 кг воздуха. Имеющимся запасом воздуха обеспечивается, таким образом, регистрация 5—6 точек за одну накачку резервуаров. Очень часто бывает так: зарегистрировав 2—3 точки, приступают к дальнейшему монтажу нового сопла, установке и тарировке каких-либо дополнительных приборов и приспособлений. За это время компрессор докачивает батарею воздухом опять до полна.

Во время одного из опытов режим работы трубы был на скорости 900 м/сек. По манометру давление воздуха в камере сгорания перед входом в сопло было равно 22 атм. Давление скоростного напора в потоке  $p_H$  по манометру равно 9 атм., что соответствует по формуле Рэля (Rayleigh):

$$\frac{p_H}{p_2} = \frac{k+1}{2} \left(\frac{w}{c}\right)^2 \left[ \frac{4k-2(k-1)\left(\frac{c}{w}\right)^2}{(k+1)^2} \right]^{-\frac{1}{k-1}} = \frac{166.7 \left(\frac{w}{c}\right)^2}{\left[7 - \left(\frac{c}{w}\right)^2\right]^{2.5}}$$

относительной скорости потока, равной  $\frac{w}{c} = 2.65$ . Температуру воздуха перед входом в сопло, равную  $550^\circ\text{C}$ , показывает милливольтметр. Следовательно, после адиабатического расширения в 22 раза мы будем иметь температуру воздуха в потоке

$$T_2 = T_1 \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 288^\circ\text{K},$$

а следовательно скорость звука 340 м/сек. и абсолютную скорость потока:

$$w_2 = 2.65 \cdot 340 = 900 \text{ м/сек.}$$

Кроме того применялись обычные ртутные дифференциальные манометры. Один из них дает посредством дроссельной шайбы в горизонтальной трубе воздухопровода секундный расход воздуха, другой, с помощью трубки вентури в топливном трубопроводе — расход газообразного топлива.

Если на пути скоростного потока поместить преграду, например в виде плоского перпендикулярно-поставленного диска, с помощью которого изменить направление движения потока на  $90^\circ$ , то сила, действующая на этот диск, будет равна секунднему количеству движения.

Зная секундный расход воздуха  $m$ , а также секундное количество движения потока  $J$ , можно третий раз определить абсолютную скорость:

$$w_2 = \frac{J}{m}.$$

Кроме указанной аппаратуры, за окном в настоящий момент установлено сферическое зеркало с радиусом кривизны 7 м, которое позволяет, кроме количественного замера интересующих нас величин, производить также одновременное фотографирование аэродинамического спектра обтекания Теплеровским методом (Schliere-Metode).

Указанные методы были испробованы все и дали вполне удовлетворительное схождение в количественном определении скорости потока.

В дальнейшем при экспериментах решено пользоваться лишь первым методом, а именно замером начальной температуры и давления потока перед входом в сопло.

Испытания трубы показали также, что с помощью описанной установки удается получать без особого труда расходы воздуха до 2 кг в сек., что обеспечивает возможность осуществления следующих диаметров потока при нормальной температуре.

Таблица 3

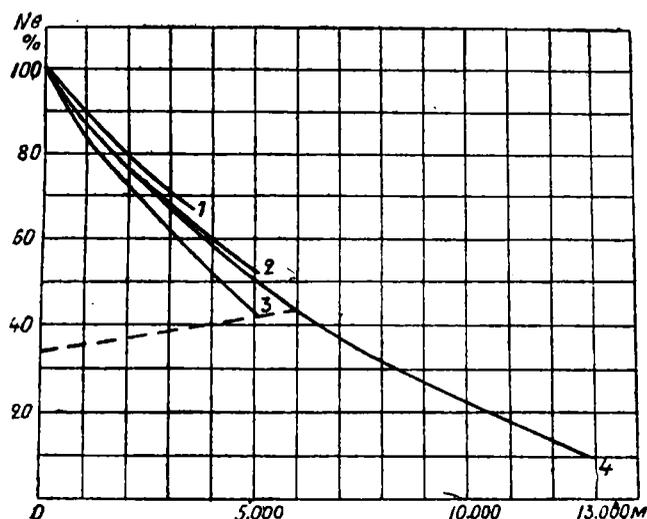
$\frac{w}{c}$	$w$ м/сек.	$\vartheta$ — диаметр поток м			E	Примечание
		$p_2 = 1$ атм.	$p_2 = 0.5$	$p_2 = 0.25$		
1 . . . . .	340	78	110	156	1.89	Секундный расход воздуха $G = 2$ кг сек. $t_2 = + 15^\circ \text{C}$
2 . . . . .	680	55	79	110	7.80	
3 . . . . .	1020	45	64	90	36.90	



Е. БУГРОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛЕТОВ В СТРАТОСФЕРЕ

1. Мощность авиационного двигателя, не снабженного нагнетателем, с подъемом на высоту падает из-за уменьшения веса воздуха, поступающего в двигатель. На фиг. 1<sup>1</sup> приведены кривые падения мощности (ЦИАМ), полученные из испытаний в камере низкого давления и в полете с динамо-



Фиг. 1. Изменение с высотой мощности авиодвигателя, не снабженного нагнетателем.

1 — по американским полетным испытаниям с динамометрической втулкой; 2 — в высотной камере мотора BMW-VI; 3 — то же мотора Либерти; 4 — по советской стандартной формуле; пунктирная кривая — изменение с высотой мощности, необходимой для полета самолета (100%  $Ne$  у земли).

метрической втулкой (американские). На том же графике нанесена кривая изменения мощности по стандартной союзной формуле:

$$Ne_h = Ne_0 \left[ \frac{1}{\eta_{m_0}} \frac{P_h}{P_0} \sqrt{\frac{T_0}{T_h}} - \left( \frac{1}{\eta_{m_0}} - 1 \right) \right],$$

<sup>1</sup> Испытание авиационных двигателей в высотных условиях, под ред. инж. М. М. Масленникова, изд. Госмашиздат, 1933.

где  $N_{eh}$  — мощность двигателя на высоте;  $P_h$  — давление воздуха на высоте по стандартной атмосфере;  $T_h$  — температура воздуха на высоте;  $N_{e_0}$  — мощность двигателя у земли;  $\eta_{m_0}$  — механический коэффициент полезного действия двигателя у земли (принимается равным 0.9),  $P_0$ ,  $T_0$  — давление и температура воздуха у земли; число оборотов двигателя постоянно. Мощность, необходимая для полета самолета, определяется уравнением

$$Nn_h = Nn_0 \frac{1}{\sqrt{\Delta}},$$

где  $Nn_h$  и  $Nn_0$  — потребная мощность на высоте и у земли;  $\Delta$  — изменение плотности воздуха и графически представлена на фиг. 1 (пунктирная кривая). Высота, на которой пересекаются кривые располагаемых (мотор) и потребных (самолет) мощностей, изменяется в зависимости от качества самолета и моторной группы и колеблется для современных самолетов в пределах от 4000 до 8000 м.

Для увеличения потолка самолета необходимо повысить мощность двигателя на больших высотах; в настоящей работе и рассматриваются варианты применения различных нагнетателей для повышения мощности двигателя на больших высотах.

2. В настоящее время наиболее распространенным нагнетателем в авиации является приводной центробежный нагнетатель. Различают невключающийся и включающийся приводной центробежный нагнетатель. Первый через систему зубчатых колес постоянно соединен с двигателем, второй, кроме зубчатой передачи, имеет специальную муфту, которая позволяет выключать нагнетатель при работе двигателя у земли.

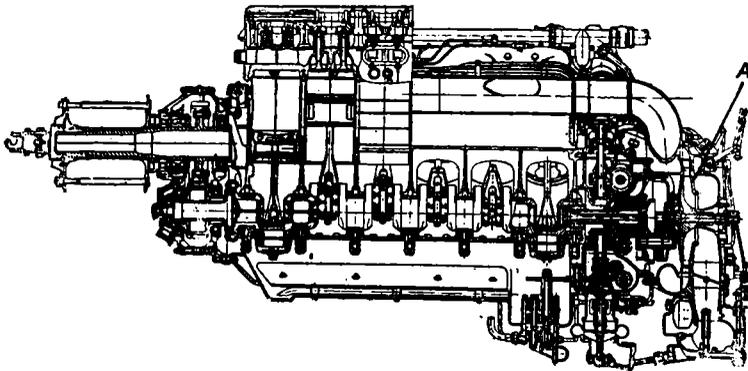
На последних моделях мощных авиационных двигателей, как правило, устанавливается невключающийся приводной центробежный нагнетатель (Н. П. Ц. Н.). Включающийся нагнетатель (В. П. Ц. Н.) на серийные двигатели до сих пор не устанавливался и не устанавливается на моделях 1933 и 1934 гг. из-за недостаточной надежности выключающей муфты.

На фиг. 2 дан чертеж двигателя Ролльс-Ройс-Кестрель (Н. П. Ц. Н.). В табл. 1 приведены основные данные ряда авиационных двигателей с Н. П. Ц. Н.

Таблица 1

Марка двигателя	Мощность	Число оборотов	Высотн. в м	Вес двигателя кг
Райт-Циклон Г-5 . . . . .	620	1900	3840	405
Гном-Рон К-9 . . . . .	600	2300	4000	412
Испано 12-х . . . . .	650	2600	4000	390
Бристоль-Меркур . . . . .	540	2400	4800	425
Ролльс-Ройс-Кестрель . . . . .	580	2250	3500	416

Предельная высотность нагнетателей, приведенных в табл. 1, 4800 м объясняется двумя причинами: 1) чем больше расчетная высота, тем больше мощность, снимаемая с вала двигателя на вращение нагнетателя; для больших высот повышенная мощность, затрачиваемая на вращение нагнетателя с большой высотностью, компенсируется форсированием мощности двигателя до земного значения, но при работе двигателя у земли давление, создаваемое нагнетателем, не используется, мощность же на вращение нагнетателя затрачивается, тем самым снижается мощность двигателя у земли.



Фиг. 2. Двигатель Ролльс-Ройс-Кестрель.

2. В нагнетателе повышается температура воздуха; предельной температурой считается 330—350°K. При расчетной высоте нагнетателя — 4800 м температура воздуха и достигает предельной величины; дальнейшее повышение высотности требует специальных радиаторов для охлаждения воздуха. Из-за приведенных соображений на двигатель и устанавливается одноступенчатый нагнетатель с высотностью до 5000 м.

Потолок самолета при установке двигателя с Н. П. Ц. Н. повышается до 7000—11 000 м (4000—8000 м при двигателе без нагнетателя).

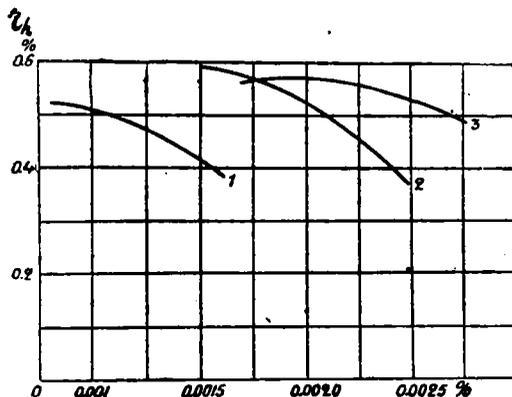
Для достижения больших высот необходим многоступенчатый нагнетатель с радиаторами для охлаждения воздуха.

Повышение давления в одной ступени нагнетателя определяется по уравнению

$$L_{ад} = \frac{R \cdot k}{k - 1} T_h \left[ \left( \frac{P_k}{P_h} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \eta_h \frac{u_2^2}{q},$$

где  $R$  — характеристическое постоянное воздуха 29.3,  $k$  — показатель адиабаты 1.4;  $P_h$  и  $T_h$  — давление и температура на входе в ступень нагнетателя;  $P_k$ ,  $T_k$  — давление и температура на выходе из ступени нагнетателя;  $\eta_h$  — гидравлический коэффициент нагнетателя,  $u_2$  — окружная скорость нагнетателя.

Гидравлический коэффициент полезного действия у выполненных нагнетателей колеблется от 0.47 до 0.6 (см. фиг. 3). Относительный расход воздуха через нагнетатель  $q = \frac{v \text{ сек.}}{n_c D^3}$ , где  $v$  сек. — расход воздуха через



Фиг. 3. Гидравлический к. п. д. нагнетателей по относительному расходу воздуха.

1 — нагнетатель Рато; 2 — Юпитер VII; 3 — ЦААМ.

воздух до начальной температуры на данной высоте, будем иметь, что 2 ступени нагнетателя ( $\eta_h = 0.5$  и  $u_2 = 340$  м/сек.) обеспечивают двигатель давлением на всасывании, равным земному до высоты — 11 300 м, и 3 ступени до высоты  $\sim 16 500$ . При повышении гидравлического коэффициента полезного действия до 0.6 и окружной скорости до 400 м/сек. нагнетатель обеспечивает двигатель давлением на всасывании, равным земному при одной ступени до высоты  $\sim 9500$  м, при двух ступенях до высоты  $\sim 18 000$  м. Просчет может быть сведен в таблицу 2.

нагнетатель м<sup>3</sup>/сек.;  $n_c$  — число оборотов колес нагнетателя;  $D_2$  — диаметр колеса нагнетателя.

Окружные скорости колеса колеблются от 250 до 350 м/сек. Принимая, что  $\eta_h = 0.5$  и окружная скорость  $u_2 = 340$  м/сек., получаем, что одна ступень нагнетателя обеспечивает давление на всасывание мотора, равное земному до высоты  $\sim 5700$  м при отношении давления на входе к давлению на выходе из нагнетателя  $P_k/P_h = 2.05$ . Полагая, что промежуточные радиаторы охлаждают

Таблица 2

Число ступеней нагнетателя, необходимых для обеспечения давления на всасывании мотора, равного земному, при условии охлаждения воздуха в радиаторе после каждой ступени до назначения начальных температур

Нагнетатель имеет	Высотность нагнетателя при		
	одной ступени (в метрах)	двух ступенях (в метрах)	трех ступенях (в метрах)
$u_2 = 340$ м/сек. $\eta_h = 0.5$	5700	11 300	16 500
$u_2 = 400$ м/сек. $\eta_h = 0.6$	9500	18 000	

Вывод из рассмотрения данных табл. 2 таков: чем выше гидравлический коэффициент полезного действия, чем выше окружные скорости, тем тем меньше потребное число ступеней, тем меньше вес нагнетателя, тем компактнее установка.

Совершенно очевидно, что охладить воздух после каждой ступени нагнетателя до начальной температуры практически невозможно и нецелесообразно. При охлаждении воздуха после каждой ступени нагнетателя до температур 275, 300, 325, 350°K будем иметь следующие цифры:

Таблица 3

О влиянии промежуточного охлаждения на высотность нагнетателя  
с  $u_2 = 340$  м/сек.;  $\eta_h = 0.5$

Т° воздуха после промежуточных радиаторов	Высотность нагнетателя без поправки на гидравлические сопротивления в радиаторе; после		
	2-й ступени	3-й ступени	4-й ступени
275° K . . . . .	10 500	14 700	18 800
300 „ . . . . .	10 100	14 000	17 700
325 „ . . . . .	9 750	13 300	17 000
350 „ . . . . .	9 450	12 900	16 300

Следовательно, чем интенсивнее охлаждение воздуха в промежуточных радиаторах, тем эффективнее работает нагнетатель, тем меньше потребное число ступеней, тем меньше вес нагнетателя. При этом выводе нужно лишь учитывать, что при увеличении интенсивности охлаждения воздуха размеры радиаторов увеличиваются. Минимальный вес установки (нагнетатель-радиатор) и оптимальная температура охлаждения воздуха должны быть определены для конкретного варианта.

Мощность двигателя на расчетной высоте определяется по

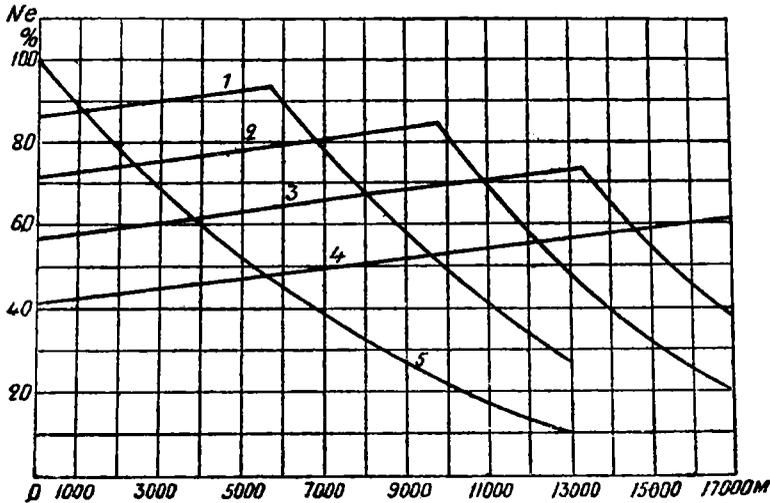
$$Ne_h = Ni_0 \left[ \frac{P_k}{P_0} \sqrt{\frac{T_0}{T_k} \frac{\varepsilon - \sqrt[n]{P_n/P_k}}{\varepsilon - 1} + \frac{P_k - P_h}{P_{i_0}}} \right] - N_r - N_c$$

В этом уравнении:

$Ne_h$  — эффективная мощность двигателя на расчетной высоте,  $Ni_0$  и  $P_{i_0}$  — индикаторная мощность и индикаторное давление двигателя у земли (без нагнетателя);  $P_k$  — давление воздуха после нагнетателя;  $T_k$  — температура воздуха после нагнетателя и радиатора; (принимается за 325°K)  $P_0$  и  $T_0$  — давление и температура воздуха у земли,  $P_h$  и  $T_h$  — давление и температура на расчетной высоте (по стандартной атмосфере),  $N_r$  — работа трения, принимаемая за постоянную величину,  $n$  — число оборотов двигателя (предполагается постоянным),  $N_c$  — мощность затрачиваемая на нагнетатель

$$N_c = \frac{L_{вд} G_{сек.}}{75 \eta_c},$$

где  $L_{ад}$  — адиабатическая работа на сжатие и выталкивание воздуха,  $G_{сек.}$  — секундный расход воздуха через нагнетатель,  $\eta_c$  — эффективный коэффициент полезного действия нагнетателя. На фиг. 4 представлен ряд кривых, показывающих изменение мощности двигателя по высоте (при  $n = const$ ), подсчитанных по приведенным формулам при температуре на всасывание мотора  $T_k = 325^\circ$ . У земли мощность определялась при температуре  $T_0$ , полагая, что воздух поступает в двигатель помимо нагнета-



Фиг. 4. Изменение с высотой мощности (без учета поправки на гидравлические сопротивления в радиаторе для воздуха) двигателя, снабженного невыключающимся приводным центробежным нагнетателем:

1 — одноступенчатым; 2 — двухступенчатым; 3 — трехступенчатым; 4 — четырехступенчатым; 5 — двигатель без нагнетателя.

теля. Мощность на высотах выше расчетной определялась по обычной формуле:

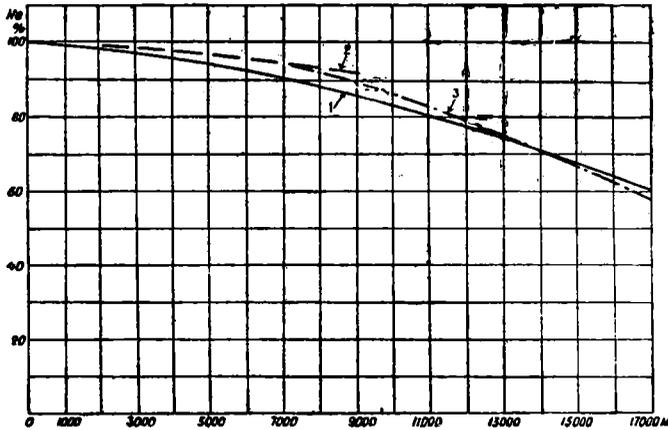
$$N_{e_h} = N_{i_{расч.}} \frac{P_h}{P_{h_{расч.}}} \sqrt{\frac{T_{h_{расч.}}}{T_h}} - N_r.$$

За 100% принималась эффективная мощность двигателя у земли без нагнетателя.

Из рассмотрения кривых можно сделать следующий вывод: чем выше расчетная высота, тем меньше мощность двигателя, передаваемая на винт, на высоте  $\sim 17000$  она равна  $\sim 50\%$  мощности от земной. У земли мощность двигателя меньше, чем на расчетной высоте и при расчетной высоте 17000 составляет  $\sim 41\%$  от мощности двигателя без нагнетателя.

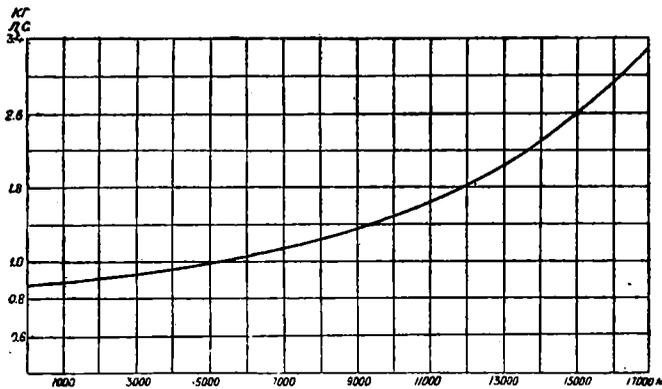
Огибающая кривая мощности фиг. 4 дана на фиг. 5. Там же нанесены кривые измерения мощности с невыключающимся приводным центробежным нагнетателем по иностранной литературе.

Расход топлива на л. с/ч. по мере увеличения высотности нагнетателя будет увеличиваться и при уменьшении мощности на расчетной высоте до 50% будет равен, примерно, двойной величине сравнительно с расходом топлива для двигателя без нагнетателя у земли.



Фиг. 5. Предельное значение мощности двигателя на расчетной высоте при условии установки на двигатель нагнетателей с различной высотностью: (1) по подсчетам автора, (2) Schey (S. A. E. май 1931 г.), (3) Hansen (Forschung, № 344, май 1931 г.).

Оценить вес нагнетателя, радиаторов и т. д. чрезвычайно трудно. В установке Фарман нагнетатель имеет вес ~ 1 кг/л. с. нагнетателя.



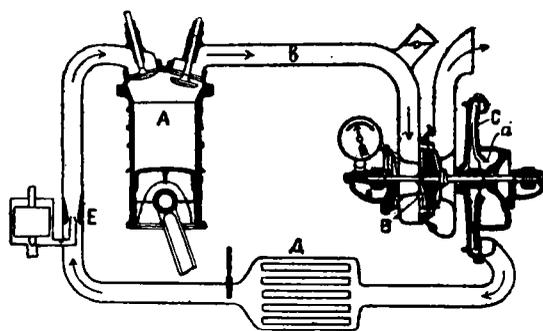
Фиг. 6.

Условно оценивая вес нагнетателя, радиаторов для воздуха и т. д. в 1 кг/л. с. мощности, затрачиваемой на вращение нагнетателя, будем иметь следующее изменение веса моторной группы с увеличением высотности двигателя (фиг. 6).

Веса, приведенные на фиг. 6, имеют лишь относительное значение, показывающее, что с увеличением высотности двигателя вес моторной группы на л. с. растет. При весе 3 кг/л. с. на расчетной высоте 15 км потолок самолета 15 000 м является реальным.

Выключающийся приводной центробежный нагнетатель (В. П. Ц. Н.), как уже отмечено выше, принципиально ничем не отличается от не выключающегося, кроме дополнительной муфты между мотором и нагнетателем. Муфта позволяет выключать нагнетатель на земле и включать нагнетатель на некоторой высоте на полное число оборотов или вначале на пониженное и при дальнейшем подъеме на высоту увеличивать число оборотов до расчетных. При многоступенчатом нагнетателе возможен вариант муфты, позволяющий включать ступени нагнетателя постепенно на разных высотах.

Характеристика мотора В. П. Ц. Н. значительно улучшается, особенно у земли. Мотор у земли отдает 100% возможной мощности. При простейшей



Фиг. 7.

А — цилиндр двигателя; б — выхлопной трубопровод, подводящий сгоревшие газы к турбине; В — турбина; С — нагнетатель; а — всасывающий патрубок нагнетателя; D — воздушный радиатор; е — карбюратор.

муфте (при одновременном включении всего нагнетателя на полное число оборотов) высотой включения нагнетателя будет точка пересечения высотной характеристики обычного мотора без нагнетателя с высотной характеристикой мотора с В. П. Ц. Н. (фиг. 4).

Высотная характеристика мотора с В. П. Ц. Н. представляет ломаную линию, которая имеет значительные преимущества перед ранее рассмотренными характеристиками.

Почему же выключающийся нагнетатель не вошел в эксплуатацию?

Объясняется это тем, что надежно работающей муфты с малым весом до сих пор не построено.

Имеется много схем и предложений по механическим и гидравлическим муфтам. Но обычно эти муфты или имеют большой вес, или ненадежны в работе.

Совершенно очевидно, что в ближайшие годы эта задача будет решена и мы будем свидетелями значительного улучшения качеств самолета (потолок, скороподъемность, скорость).

3. Турбокомпрессор. Турбокомпрессор (Рато) состоит из турбины В (фиг. 7) и нагнетателя С. Сгоревшие газы из мотора (фиг. 7) поступают в турбину, и мощность турбины передается на колесо нагнетателя. Диск турбины и колесо нагнетателя имеют обычно общий вал.

Турбокомпрессор чрезвычайно остроумная машина. Используя энергию выхлопных газов, турбокомпрессор управляется простейшими средствами путем перепуска частично или полностью сгоревших газов в атмосферу. Выключение турбокомпрессора у земли и включение его на высотах не представляют никаких затруднений.

Перемена режима двигателя (число оборотов) не влияет резко на турбокомпрессор, поэтому возможно повысить окружную скорость вращения колеса нагнетателя. Указывают<sup>1</sup> окружную скорость при перегрузках в 670 м/сек. при отношении давлений на выходе из нагнетателя и входе в нагнетатель равном 4.75.

К недостаткам турбокомпрессора нужно отнести высокие температуры 600—700° С диска и кожуха турбины и трубопроводов, подводящих сгоревшие газы к турбине.

Для столь высоких температур трудно подобрать материал, надежно работающий продолжительное время. К тому же нагретые до высоких температур детали повышают возможность возникновения пожара на самолете.

К недостаткам турбокомпрессора нужно отнести и сравнительно низкий коэффициент полезного действия этого агрегата.

При построении высокой характеристики двигателя с турбокомпрессором мы пользуемся уравнением Рато

$$\left[ \left( \frac{P_k}{P_h} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \tau \left[ 1 - \left( \frac{P_h}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right],$$

где  $P_k$  — давление после нагнетателя;  $P_h$  — давление атмосферы на высоте;  $P_p$  — давление перед турбиной.

$$\tau = \eta_c \eta_t \frac{T_r}{T_h} (1 + e + S - f),$$

где  $\eta_c$  — к. п. д. нагнетателя;  $\eta_t$  — к. п. д. турбины;  $T_r$  — температура сгоревших газов перед турбиной;  $T_h$  — температура атмосферного воздуха;  $e$  — коэффициент, учитывающий приращение количества газа, проходящего через турбину сравнительно с нагнетателем;  $S$  — коэффициент, учитывающий различие теплоемкостей воздуха и сгоревших газов;  $f$  — коэффициент, учитывающий неплотности в газопроводах. Выполненные авиационные компрессоры имеют высотность 3000—5000 м, т. е.  $\tau = 1-1.2$ .

Однако Рато<sup>2</sup> в своей предсмертной работе отмечает значительное возрастание кажущегося коэффициента полезного действия турбины при пульсирующем потоке сгоревших газов — на 30—40%. Для сохранения пульсирующего потока Рато рекомендует сгоревшие газы от каждого цилиндра проводить к турбине индивидуальным патрубком.

Заключение Рато следующее.

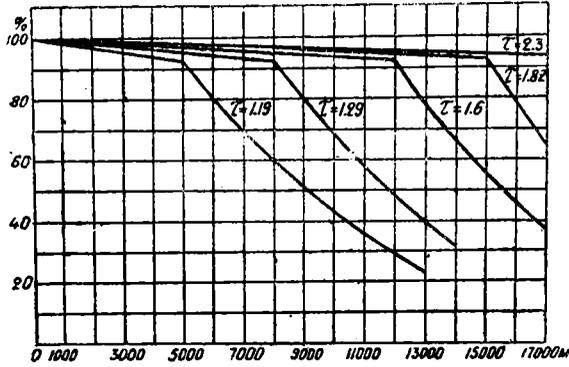
При пульсирующем потоке, при хорошо спроектированных турбине и нагнетателе можно получить коэффициент  $\tau = 2.2$ , с высотностью турбокомпрессора 18 000 м.

Фирма Потез построила 12-цилиндровый двигатель с горизонтальным расположением цилиндров; двигатель снабжен турбокомпрессором с использованием пульсирующего потока.

<sup>1</sup> Кергон. Турбовоздуховки и турбокомпрессоры.

<sup>2</sup> Le genie civil. 1930, № 7, 15/II.

Fadden<sup>1</sup> отмечает, что при конструировании двигателя Потез большое внимание было уделено указаниям Рато и считает, что при удачном кон-



Фиг. 8.

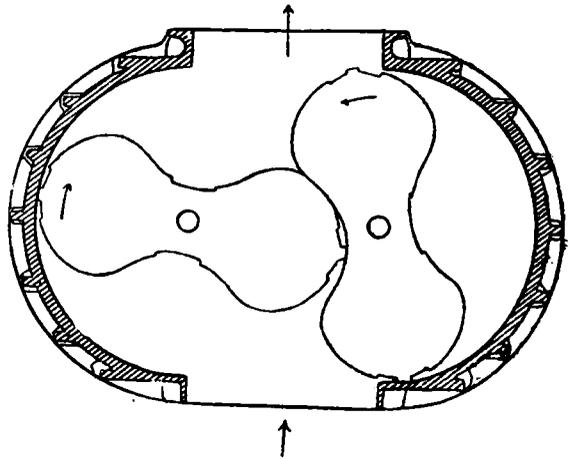
структивным оформлении турбокомпрессор найдет широкое применение в высотных полетах. Высотные характеристики двигателя с турбокомпрессором представлены на фиг. 8. Приведенные на фиг. 8 высотные характеристики двигателя с турбокомпрессором представляют значительный интерес для высотных полетов (ср. с высотными характеристиками на фиг. 4). Даже при условии, что в авиационных турбокомпрессорах<sup>2</sup> не удастся получить коэффициент  $\tau=2.2$  и реальным окажется турбокомпрессор с  $\tau=1.6$ , двигатель с турбокомпрессором на высоте  $\sim 15000$  м будет по мощности равноценен двигателю с не выключающимся приводным центробежным нагнетателем. В земных же условиях двигатель с турбокомпрессором будет иметь очевидное преимущество в мощности (100% вместо 57% для двигателя с Н. П. Ц. Н.).

#### Нагнетатель Рута.

Нагнетатель Рута является объемным нагнетателем; принцип действия его очевиден из схемы на фиг. 9.

Мировой рекорд высоты 8 V 1929 г.  $H=12326$  м поставлен американцем Соусек с двигателем, снабженным нагнетателем Рута.

Однако полеты в стратосфере с этим типом нагнетателя вряд ли будут иметь место. Дело в том, что рекордные полеты ставились на одноместных самолетах без герметической кабины; вес рекордных самолетов уменьшался до крайних пределов с тем, чтобы на больших высотах потреб-



Фиг. 9.

<sup>1</sup> S. A. E., 1933 г., декабрь.

<sup>2</sup> Рато сделал свои выводы на основании опытов со стационарными турбокомпрессорами для судовых дизелей.

ная мощность была минимальная. При условии, что повышение давления на всасывании двигателя сравнительно с атмосферным давлением не достигает значительных величин, нагнетатель Рута является эффективным. При работе у земли нагнетатель Рута поглощает мощность лишь на преодоление механических потерь, т. е. нагнетатель не требует выключающей муфты.

При повышении отношений давлений в нагнетателе эффективность его уменьшается.

Работа, затрачиваемая на сжатие воздуха в нагнетателе, определяется уравнением

$$N_c = C \frac{(P_k - P_h)}{\eta_{eR}}$$

Для малых отношений давлений  $\frac{P_k}{P_h}$  для нагнетателя Рута  $N_c$  оказывается меньше, чем для центробежного нагнетателя, в виду высокого коэффициента полезного действия. При увеличении же отношения давлений  $\frac{P_k}{P_h}$  — разность  $(P_k - P_h)$  растет, коэффициент полезного действия падает и отношение  $\frac{P_k - P_h}{\eta_{eR}}$  растет значительно быстрее, чем аналогичный множитель в уравнении для центробежного нагнетателя.

При условии, что давление на всасывании двигателя поддерживается равным земному  $P_0$ , будем иметь следующие отношения мощностей на нагнетатель, правда, при некотором произволе в выборе коэффициентов.

Нагнетатель	Мощность (л. с.) на нагнетатель для расчетной высоты	
	5 700 м	13 300 сек.
Центробежный . . . . .	13.6	43.2
Объемный Рута . . . . .	11.2	65.7

Большую мощность, поглощаемую нагнетателем Рута на больших высотах, можно значительно понизить, сконструировав нагнетатель со специальными клапанами, но нагнетатель Рута, кроме гидравлических недостатков, имеет и конструктивные.

При работе одна сторона кожуха нагнетателя нагревается до температуры выходящего воздуха, зазоры между ротором и статором отклоняются от нормы, значительно ухудшая работу нагнетателя.

Нагнетатель Рута, несмотря на ряд его положительных качеств, до сих пор является экспериментальной машиной и на серийные авиационные двигатели не устанавливается.

Интересно отметить, что последние рекорды высоты: 16 IX 1932 г. англичанин Увинс — 13 404 м; 28 IX 1933 г. француз Лемуан — 13 661 м

поставлены с невыключающимся приводным центробежным нагнетателем.

**З а к л ю ч е н и е.** Возможно построить стратоплан с потолком 15 000—18 000 м при установке на него авиационного двигателя, снабженного специальным нагнетателем.

1) Приводной центробежный нагнетатель, вращаемый специальным мотором (не работающим на винт), может быть спроектирован и построен в наиболее короткие сроки с минимумом исследовательской и экспериментальной работ.

2) Выключающийся приводной центробежный нагнетатель, при удачном конструктивном оформлении муфты, значительно упростит и улучшит винто-моторную группу и стратоплан, особенно для условий взлета с земли. Нужно усиленно работать над выключающей муфтой.

3) Турбокомпрессор требует наибольшей исследовательской и экспериментальной работы, но вычеркивать его из перечня работ по стратосфере не следует, потому что при коэффициентах турбокомпрессора, которые называет Рато, стратостат с авиационным двигателем и турбокомпрессором будет представлять изящную машину с хорошими показателями.

4) Нагнетатель Рута имеет наименьшие перспективы для стратосферных полетах на мощных машинах, потому что для освоения нагнетателя со специальными клапанами потребуется большая экспериментальная и исследовательская работа.

Параллельно с работами над моторной группой необходимо работать и над другими вопросами, тесно связанными с моторной группой, а именно:

5) Радиаторы для охлаждения воздуха, воды и масла при современных схемах и конструкциях получаются столь значительными, что размещение их на стратоплане представляет большое затруднение при большом весе.

Необходимо работать над определением коэффициентов теплопередачи при переменной плотности воздуха и искусственным повышением коэффициента теплопередачи, что значительно упростило бы стратоплан.

6) Питание двигателя топливом потребует специальной схемы.

7) Будут затруднения и с вопросами смазки (высокие температуры масла на поверхностях трения и низкие в трубопроводах).

8) Система зажигания без переделки работать не будет.

9) Без винта с поворотными лопастями полет в стратосфере невозможен. Этому вопросу необходимо уделить наибольшее внимание.

*Дополнение.* При питании двигателя на больших высотах кислородом, без добавления инертных газов, индикаторный коэффициент полезного действия будет равен 0.17 (у земли 0.32) при температурах сгорания  $\sim 4000\text{--}4500^\circ\text{K}$ , выхлопа  $\sim 2500^\circ\text{K}$  из-за малого количества газа и высоких температур цикла.

Такой цикл для двигателя является неприемлемым, и этот вариант отпадает.

---

При замкнутой системе трубопроводов, при подаче во всасывающую трубу охлажденных сгоревших газов, коэффициент полезного действия и двигателя достигает нормальных земных значений.

Но установка получается сложная с большим весом.

Расход топлива и кислорода повышается до 1 кг на л. с./ч. Вес баллонов газообразного кислорода или сосудов для жидкого кислорода плюс машина для превращения жидкого кислорода в газообразный — оказывается весьма значительным.

Если учесть вес радиаторов для охлаждения сгоревших газов и сложность всей установки, то приходим к выводу, что питание двигателя кислородом вряд ли окажется эффективным при полетах в стратосферу.

---



О. Н. РОЗАНОВ

## ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРАТОПЛАНА

### СТРАТОПЛАН И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

При полете в стратосфере на конструкцию самолета влияет целый ряд факторов, вызванных свойствами этой стратосферы. Приблизительно можно считать началом стратосферы 11 000 м. Принято в расчетах считать температуру стратосферы постоянной и равной  $-56.5^{\circ}\text{C}$ , что соответствует средним наблюдаемым цифрам. Давление воздуха в стратосфере значительно ниже земного и находится по формуле:

$$P_h = P_{11000} \cdot e^{-\frac{h-11000}{6350}} = 169.6 e^{-\frac{h-11000}{6350}},$$

где  $h$  — высота,  $P_h$  — давление на этой высоте и  $P_{11000} = 169.6$  мм.

В нижеприведенной таблице указаны давления воздуха в стратосфере по стандартной атмосфере:

высота	= 11 000	12 000	13 000	14 000	15 000	16 000	17 000	18 000	19 000	20 000
давление	= 169.6	144.8	123.7	105.6	90.25	77.1	65.9	56.2	48.0	41.0

Состав воздуха в нижних слоях стратосферы почти идентичен составу его у земной поверхности, изменяясь в более высоких слоях. Исчерпывающих данных мы пока не имеем, ограничиваясь предположениями, о которых можно найти в специальных трудах по строению атмосферы. Весьма низкое давление, имеющее место даже в самых низких слоях стратосферы, вызывает необходимость в устройстве кабины, где искусственно должно поддерживаться давление, пригодное для жизни находящихся в кабине людей. Недостаток кислорода для дыхания чувствуется уже на высоте 8000 м, и при полетах выше этой высоты необходима кислородная маска или закрытая герметическая кабина. Давление 125 мм, т. е. выше 13 тыс. м высоты не переносится человеческим организмом, и необходимость герметической кабины становится очевидной.

Царящая на высоте стратосферы низкая температура требует обогрева кабины, с другой же стороны, солнечные лучи, не проходя через большие массы воздуха и действуя на стратоплан, вызывают сильное нагревание его, так что возникает вопрос об охлаждении кабины или

об. отражении лучей от поверхности стратоплана. Низкая температура окружающей среды также вызывает необходимость наличия герметической кабины.

Будем считать стратопланом такой самолет, который, во-первых, может летать в стратосфере, т. е. на высоте выше 11 тыс. м, и, во-вторых, который снабжен герметической кабиной с искусственно поддерживаемой в ней давлением, температурой и количеством кислорода для нормальной жизни людей, в ней находящихся. Таким образом, самолет англичанина Увинса Виккерс „Веспа“, на котором он 16 IX 1932 г. близ Лондона поднялся на 13 404 м и самолет француза Лемуана „Потез 50“, которым был побит предыдущий рекорд высоты, поднявшись на 13 661 м 28 IX 1933 г. близ Орлеана, оба они, с открытой кабиной, не считаются нами стратопланами, хотя и летали оба в стратосфере.

Введя такое понятие стратоплана, посмотрим, каким конструктивным требованиям он должен удовлетворять в части как непосредственно конструкции его, так и работы винта и мотора.

Основные конструктивные требования к стратоплану, с точки зрения конструкции его, сводятся, главным образом, к устройству кабины. Герметичность кабины, работа ее на давление изнутри, обеспеченность быстрого открывания люков на случай аварии, безотказность работы приспособлений, регулирующих состав воздуха и температуру, достаточный обзор — вот основные требования к кабине стратоплана.

Запас кислорода должен рассчитываться из условий

$$Q = kqhn, \quad [1]$$

где  $q$  — количество кислорода, поглощаемого одним человеком в один час,  $h$  — количество часов полета в стратосфере,  $n$  — количество людей и  $k$  — коэффициент запаса. Поглотители углекислоты также должны обладать соответствующей поглотительной способностью.

В случае устройства компрессионной кабины (см. ниже), мощность вентилятора должна рассчитываться, исходя из условий, что для 1 чел. в 1 час необходимо иметь 40 перемен воздуха, при объеме кабины в  $1.0 \text{ м}^3$ , при нормальном атмосферном давлении (760 мм). Тогда при объеме кабины в  $v \text{ м}^3$  для  $n$  человек необходимо иметь  $40 \frac{n}{v}$  перемен воздуха в 1 час. Воздух должен компрессором сжиматься и подаваться в кабину при нормальном давлении. При сжатии воздух будет нагреваться, так что в этом случае необходимо охлаждать его. Герметичность люков (дверей), окон, проходов для деталей управления, соединительных швов обшивки — накладывает на конструкцию ряд особенностей, отличающих ее от обычных конструктивных форм самолетостроения, не исключая и гидросамолетостроения.

Низкое давление среды оказывает сильное влияние на работу винтомоторной группы. Бензиновый взрывной двигатель быстро теряет свою мощность с высотой. Нижеследующая таблица иллюстрирует падение мощ-

ности нормального бензинового мотора с высотой, взятой из „Самолето-строение“ стр. 42:

высота в метрах	0	2000	4000	6000	8000	10 000
отнош. $\frac{N_H}{N_0}$	1.0	0.774	0.592	0.446	0.331	0.242

аналогичные цифры дают и иностранные источники (NACA Report, 295; Rep. of memorandum, 1141).

Падение мощности делает невозможным применение нормального мотора, и появляется требование использовать мотор высотный, с тем или другим типом нагнетателя, т. е. с подачей в карбюратор воздуха, сжатого до нормального давления или даже сверхнормального.

Мало того, расчеты показывают, что требуется многоступенчатый компрессор (стратоплан Фармана). Только при этом условии можно говорить о возможности осуществления стратоплана с бензиновым мотором.

Однако компрессорное устройство мотора дает, во-первых, большой добавок веса и, во-вторых, потребляет большую мощность мотора, так что беспредельно поддерживать мощность мотора мы не можем. Все это ограничивает возможность применения бензинового двигателя. Подробнее вопрос о моторе освещается в специальном докладе, посвященном этой теме.

Повидимому некоторые перспективы сулят паровые двигатели, мощность которых от давления не зависит, а также еще в большей мере двигатели реактивные. Останавливаться на этих вопросах мы здесь не будем, отсылая интересующихся к специальным статьям по этому вопросу.

Воздушный винт работает различно в средах разной плотности. Чем меньше плотность воздуха, тем шаг винта и диаметр его должны делаться все больше и больше. Винт нормального типа не удовлетворяет условиям работы в стратосфере и одновременно работы у земли ни в коей мере. Необходимость винта регулируемого шага сама собой очевидна. Такой винт увеличивает диапазон высот, где он может применяться; однако и для него полностью связать удовлетворительную работу в стратосфере (max. шаг) с работой у земли (minim. шаг) нельзя, и существуют пределы возможного применения винта как движителя. Некоторые расчеты показывают, что винтом можно пользоваться до высот не более 20—30 тыс. м. В настоящее время винты еще не полностью изучены: так, мы не знаем достаточно хорошо работу их на очень больших шагах. Можно предполагать, что дальнейшие работы над винтами дадут возможность несколько увеличить диапазон их использования.

Конструктивно винты регулируемого шага в настоящее время разработаны достаточно хорошо за границей (особенно США), так что в этом отношении затруднений нет.

Район возможного использования винта был бы увеличен, если бы, помимо регулировки шага, мы могли бы регулировать диаметр винта, но это вряд ли конструктивно выполнимо.

Другое важное препятствие в применении винта на стратопланах это — большие окружные скорости. Неизбежно большой диаметр винта, сравнительно большая скорость вращения его и большая поступательная скорость стратоплана вызывают большие окружные скорости на концах лопастей, скорости звуковые или даже сверхзвуковые. Известно, что при скорости в 90% от скорости звука и выше коэффициент полезного действия винта быстро падает. В целях уменьшения окружных скоростей применение многолопастных пропеллеров и редукторов будет, повидимому, необходимо.

Не разбирая здесь вопросов винта, отсылаем интересующихся к специальным статьям по этому вопросу.

Большой диаметр винта вызывает необходимость иметь высокое шасси, ноги которого благодаря этому будут тяжелее нормального (работа на продольный изгиб). Высокое шасси, если его делать не убирающимся, будет вызывать излишне большое лобовое сопротивление, а если его сделать убирающимся, то появляется затруднение в его уборании (требуется большое помещение для убирания шасси).

#### КЛАССИФИКАЦИЯ СТРАТОПЛАНОВ

На сегодняшний день не представляется возможным дать исчерпывающую классификацию типов стратопланов. Однако можно считать установленным, что стратоплан может проектироваться с одной из следующих целеустановок: 1) достижения макс. возможно большой высоты, оставляя все остальные лётные данные на второй план, 2) достижения на заданной высоте полета макс. возможной скорости, при нормальной, в общем, конструктивной схеме самолета с нормальной силовой установкой и 3) то же, но со специальной силовой установкой и с отличными от нормального формами для достижения огромных, неизмеримо больших, чем существуют теперь, скоростей.

Таким образом, мы будем классифицировать стратопланы по трем типам: 1) высотные, 2) скоростные и 3) сверхскоростные. Рассмотрим несколько подробнее все указанные три типа.

1) Высотные стратопланы. Это тип стратоплана, исторически первый, предназначен служить целям изучения стратосферы, с одной стороны, и обучения полетам в ней, с другой стороны. К означенному типу надо отнести существующие стратопланы Юнкерса и Фармана. В означенных типах преследуется основная цель; достижение наибольшей высоты, все же остальное является второстепенным. Поэтому схема самолета и его основные параметры выбираются такими, которые наиболее благоприятствуют достижению потолка. Далее мы подробнее разбираем вопрос о выборе параметров. Нам мыслится, что завоевание стратосферы должно начаться именно с этого типа стратоплана, как наименее сложного в конструктивном отношении, и на котором нужно разрешить основные 3 проблемы: мотора, винта и кабины. Ожидать больших скоростей от данного типа не приходится.

Стратоплан этого типа будет обладать малой нагрузкой, как в смысле экипажа, так и в смысле горючего, и применение его для практических целей вряд ли будет возможно. Это будет чисто экспериментальный самолет, оборудование которого должно состоять из ряда научных приборов для исследовательских целей.

Освоив конструктивно этот тип и научившись летать на нем при всяких условиях, можно будет перейти к следующему этапу развития, именно к

2) скоростному стратоплану. Во Франции Герше строит стратоплан этого типа, но вряд ли опыт будет удачен без предварительного опыта над чисто высотным типом. Скоростной стратоплан должен быстро добираться до заданной высоты и развивать на этой высоте скорость значительно большую, чем в современной транспортной авиации (тропосферной). Возможные величины скоростей анализируются нами дальше. Так как параметры самолета влияют на скорость иначе, чем на потолок, то и общая компоновка машины и соотношение ее размеров второго типа будут другие, чем в типе первом. Вопрос аэродинамического сопротивления играет здесь огромную роль, так что вылизывание форм, выбор дужек и пр. чисто аэродинамические вопросы будут играть здесь доминирующую роль. Шасси необходимо делать убирающегося типа. Устройство винтомоторной группы и кабины аналогично первому типу и основано, собственно, на его изучении. Поэтому здесь надо будет разрешать проблемы только аэродинамические для скоростей предзвуковых (с учетом сжимаемости воздуха) и отчасти тепловые, так как, при таких больших скоростях и при сжимаемости воздуха, в последнем происходят тепловые процессы, и стенки самолета могут сильно нагреваться. Нам мыслится, что развитию второго типа стратопланов должна предшествовать интенсивная работа в аэродинамических лабораториях.

Стратопланы второго типа будут служить практическим целям в гражданской авиации и специальным целям авиации военной.

3) Третий этап развития стратопланов это — переход скоростей за скорость звука, характеризующийся появлением стратопланов сверхскоростных. Этот тип стратопланов еще не вполне ясен при современном состоянии авиационной науки и техники. Одно ясно, что как формы его, так и соотношения размеров в нем будут отличны от общепринятых, так как аэродинамика сверхзвуковых скоростей отлична от дозвуковых. Законы сопротивления при больших скоростях не следуют квадратичному закону, имеющему место при сравнительно малых скоростях. По данным американских и английских опытов, в трубах больших скоростей дужки крыльев должны быть отличными от дужек обычных крыльев. Передняя кромка острая, средняя линия дужки очерчена по кругу с тах. кривизной посередине. Дужка тонкого сечения предпочтительнее толстой. Наличие больших скоростей и тонкое крыло ставят вопрос о прочности и весе крыльев стратопланов сверхскоростного типа. Форма крыла в плане также будет, по видимому, не та, что применяется сейчас. Индуктивное сопротивление

при сверхзвуковых скоростях, вероятно, не имеет того значения, которое придается ему в современной авиации, и удлинение крыла не будет предопределять качество крыла. Поэтому форма крыла в плане, соотношение размаха к хорде и проч. характеристики будут какие-то другие. Фюзеляж, а также другие детали самолета, при сверхзвуковых скоростях, будут иметь формы, непривычные с современной точки зрения. Следовательно, стратоплан третьего типа мыслится как совершенно новый тип летательного аппарата, формы и размеры которого будут отличными по сравнению со стратопланами первых двух типов. Устройство кабины остается такое же, как в первом и во втором типе, только кабина мыслится нам более поместительной, предназначенной для большего числа пассажиров.

Наличие больших скоростей окажет неблагоприятное действие на возможность применения воздушных винтов, в виду того, что относительная скорость лопастей по отношению к воздуху будет здесь выше звуковой, при которой коэффициент полезного действия винта сильно падает. Вопрос этот требует еще весьма глубокой теоретической и экспериментальной работы. Если винт, как движитель, на этом типе стратоплана не сможет быть использован, необходимо будет устанавливать какой-то новый тип движителя. Нам кажется, что наиболее вероятным преемником винтового движителя будет движитель реактивный. При развитии ракетного дела можно представить себе стратоплан будущего, снабженным ракетного типа движителем, причем при подъеме и полете в нижних слоях атмосферы движителями служат винты, вращаемые турбиной, а на высших слоях, в стратосфере, энергия ракетного движителя используется непосредственно в виде реакции, и стратоплан превращается в страто-ракетоплан (патент Годдара США).

Подводя итог первой главе, можно наметить эволюцию развития стратопланов:

Первый этап — высотные самолеты, еще не стратопланы, первые лазутчики в стратосферу. Этот этап уже пройден (Виккерс „Веспа“ и „Потез 50“).

Второй этап — высотные стратопланы — ближайший период, частично уже осуществленный (Юнкерс, Фарман, проекты различных организаций в СССР и др.).

Третий этап — скоростные стратопланы — ближайшее будущее. Уже намечается конструктивное разрешение таких стратопланов и имеются кое-где проекты (Герше).

Четвертый этап — сверхскоростные стратопланы — будущее сравнительно отдаленное. Тип стратопланов этого периода недостаточно отчетлив.

#### МЕТОДИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Первый тип стратопланов с точки зрения аэродинамического расчета не представляет собой каких-либо особенностей по сравнению с нормальным самолетом, поэтому и анализ возможных достижений сравнительно

прост. Наибольшая трудность возникает при построении винтомоторной характеристики, однако и здесь вопрос сводится, главным образом, к задаче винта и мотора, а не самолета.

Труднее дело обстоит со вторым типом стратоплана, где необходимо учитывать сжимаемость воздуха; однако и здесь анализ аэродинамических данных произвести возможно, базируясь на некоторых опубликованных материалах в зарубежных журналах.

Что касается третьего типа, то методика аэродинамического расчета для него еще не ясна, и мы можем только предположительно говорить о возможных достижениях.

Начнем с первого типа. Аэродинамический расчет можно вести обычным путем: построить кривые Пено для разных высот, построить для этих же высот кривые винтомоторных характеристик и, анализируя совместно те и другие, найти max. скорости на всех высотах, скороподъемности, потолок и др. величины, характеризующие самолет с аэродинамической стороны. Кривые Пено и их построение ничем не отличаются от обычного. Если имеется земная кривая Пено, то все скорости и потребные мощности на высотах должны быть умножены на  $\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$ , где  $\rho_0$  — плотность воздуха у земли = 0.125, а  $\rho$  — плотность воздуха на данной высоте.

В следующей таблице приведены значения  $\rho$ ,  $\frac{\rho}{\rho_0}$  и  $\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$ .

Высота	0	5000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
$\rho$	= 0.125	0.0752	0.0421	0.01975	0.00898	0.00409	0.00187
$\frac{\rho}{\rho_0}$	= 1.0	0.6007	0.3366	0.1579	0.0718	0.0327	0.01497
$\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$	= 1.0	1.290	1.724	2.515	3.73	5.52	8.17

Для построения характеристики винтомоторной группы нужно знать характеристику мотора на всех высотах, а также характеристику винта на всем диапазоне углов установки лопасти. Так как винт металлический с регулируемым шагом, то можно воспользоваться графиками испытаний, произведенных в НАСА (Report №№ 306, 350, 351 и др.). К сожалению, в этих данных не имеется испытаний при углах установки, больших  $30^\circ$  и меньших  $10^\circ$ , поэтому мы должны пока ограничиться этими пределами, имея в виду, что в дальнейшем можно будет увеличить диапазон рабочих углов установки лопастей и тем самым улучшить работу винтомоторной группы.

Если известна характеристика мотора, то, пользуясь графиками винтов, указанных выше, и считая, что винт, вообще говоря, работает на всех режимах при наивыгоднейшем угле установки, мы построение характеристики винтомоторной группы делаем методом, приведенным в книге автора „Исследование винтов регулируемого шага“ (стр. 53, изд. УКГВФ, 1933 г.). Если характеристика дана в виде сетки с координатами  $(\beta, \lambda)$  (как обычно

даются серии деревянных винтов), то наиболее выгодная характеристика получается при  $\beta = \text{const}$ , т. е. прочерчивается прямая, параллельная оси абсцисс и читается для разных  $\lambda$  к. п. д.  $\eta$  и углы установки лопасти  $\varphi$ . По  $\lambda$ , полагая число оборотов  $n = \text{const}$ , находим скорость. Данные, таким образом, для построения кривой винтомоторной характеристики имеются. Если при подъеме на высоту мы достигли уже предела тах. угла установки лопасти, то дальнейший подъем совершается уже при постоянном угле установки, именно тах. и построение характеристики делается согласно методу, приведенному на стр. 58 той же книги автора. При полетах у земли на известной высоте мы достигаем такого угла установки винта, который является  $\text{min.}$  для данного винта. В этом случае, на всех высотах ниже данной, угол установки также является постоянным, и построение кривой винтомоторной характеристики происходит согласно стр. 57 той же книги.

Попытаемся найти аэродинамические данные для стратоплана, снабженного некоторым гипотетическим мотором, мощность которого с высотой остается неизменной (многоступенчатый компрессор, паровой двигатель или что-нибудь другое). Для анализа применим метод Oswald'a (Report NASA, № 408), так как этот метод дает нам возможность решить задачу в общем виде для стратопланов, имеющих самые различные параметры, и проанализировать важность этих параметров.

В основу метода Oswald'a положены следующие главные положения:

- 1) часть профильного сопротивления, изменяющаяся с углами атаки крыльев, считается пропорциональной квадрату подъемной силы, почему можно ввести ее в индуктивное сопротивление в виде некоторого множителя  $e$ , называемого Oswald'ом „коэффициентом качества самолета“;
- 2) зависимость мощности мотора от его оборотов по внешней характеристике прямолинейная, что верно для современных моторов ниже номинальной мощности;
- 3) характеристика металлического винта взята по графику из Report NASA, № 306, как типичная для всех металлических винтов.

Oswald вводит в качестве параметров 3 величины: 1) нагрузка на эффективную мощность

$$l_t = \frac{G}{N\eta} \quad [2]$$

- 2) нагрузка на квадрат размаха

$$l_s = \frac{G}{e l^2}, \quad [3]$$

понимая в случае биплана под размахом эквивалентный размах моноплана по Мунку и 3) нагрузка на эквивалентную плоскую пластинку вредных сопротивлений

$$l_p = \frac{G}{1.28 \sigma_1}. \quad [4]$$

Здесь  $G$  — вес самолета в кг;  $N$  — мощность моторов в HP,  $\eta$  — к. п. д. винта на тах. скорости при мощности мотора  $N$ ;  $l$  — эквивалентный раз-

мах;  $e$  — коэффициент качества самолета;  $\sigma_1$  — эквивалентная плоская пластинка вредных сопротивлений, включая сюда же профильное сопротивление крыла, не зависящее от угла атаки.

Затем, вводя основной характеристический параметр

$$\Lambda = \frac{l_s l_t^{4/3}}{l_p^{1/3}}, \quad [5]$$

Oswald выражает все летные свойства самолета в зависимости от этого параметра. Вводя указанные обозначения и пересчитав все величины из английских мер в метрические, мы сможем, основываясь на Oswald'овских общих выражениях, решить задачу и в нашем случае.

Полагаем  $\Delta_0 = \frac{\rho_k}{\rho_0}$  и  $\Delta = \frac{\rho}{\rho_0}$ , где  $\rho_k$  — плотность воздуха на высоте, взятой как основная, а  $\rho$  — на любой высоте и, считая, что мощность мотора постоянна с высотой, мы преобразуем формулы Oswald'a и, вычислив их, изобразим графически.

Нас интересуют в данный момент только скорости и потолок, поэтому за недостатком времени и места анализ произведем только касательно этих свойств стратоплана.

Обозначим через  $T_v$  — отношение располагаемой мощности винтомоторной группы при какой-то скорости к располагаемой мощности при max. скорости полета, т. е.

$$T_v = \frac{N\eta}{N_m \eta_m} = \frac{\eta}{\eta_m}, \quad [6]$$

в виду равенства  $N = N_m$ , так как при винтах регулируемого шага  $n = \text{const}$  и, следовательно,  $N = \text{const}$  на данной высоте. Далее, обозначим через  $T_a$  — отношение располагаемой мощности на некоторой высоте к таковой на расчетной высоте, при постоянной скорости, т. е.

$$T_a = \frac{N_h \eta_h}{N_0 \eta_0} = \frac{\eta_h}{\eta_0}, \quad [7]$$

так как мы приняли, что  $N = \text{const}$  на всех высотах.

Если посмотреть на график № 18 атласа к моей книге „Исследование винтов регулируемого шага“, то можно заметить, что при  $v = \text{const}$  к. п. д. винта, при увеличении высоты, незначительно растет для большинства случаев, но, как видно из кривых, закон изменения весьма неравномерен для разных винтов и формулой трудно выражается. Кроме того, увеличение к. п. д. весьма незначительно. Поэтому мы в дальнейшем примем, что  $\eta = \text{const}$  по высоте при  $v = \text{const}$ .

Тогда имеем

$$T_a = 1. \quad [8]$$

По Oswald'у max. скорость у земли находится из выражения

$$\Lambda = 38.2 \frac{l_s l_t}{v_m} \left( 1 - 0.224 \frac{l_s l_t}{v_m} \right)^{1/3} \quad [9]$$

тах. скорости на высотах находятся из формулы

$$\frac{l_s l_t}{v_m} = 4.1 \frac{T_a T_v \Delta R_{v_m} - \Delta^2 R_{v_m}}{1 - \Delta^2 R_{v_m}^4}, \quad [10]$$

где

$$\Delta = \frac{\rho}{\rho_0} \text{ и } R_{v_m} = \frac{\text{тах. скорость на данной высоте}}{\text{тах. скорости у земли}}.$$

В стратоплане винт должен быть подобран на какой-то высоте; назовем эту высоту „контрольной высотой“, причем работа винта должна обеспечивать возможность взлета у земли и наилучший коэффициент полезного действия на данной высоте полета. Для наших целей мы выбрали за контрольную высоту 11 тыс. м — граница между тропосферой и стратосферой. Дальнейший анализ показал, что условия полета у земли в этом случае достаточно удовлетворительны, и возникла мысль повысить „контрольную высоту“. Взяв за таковую 15 тыс. м, мы имеем все же сносную работу винта у земли, правда на предельных углах установки лопастей, так что, исходя из земных условий, дальнейшее увеличение контрольной высоты нецелесообразно. Благодаря увеличению к. п. д. винта на скоростях, бóльших расчетной, данные при контрольной высоте в 11 тыс. м оказались лучше, чем при 15 тыс. м. Поэтому в дальнейшем будем считать 11 тыс. м основной контрольной высотой.

Обращаясь к выводу формул Oswald'a, можно легко получить зависимость между  $\Delta$  и  $\frac{v_m}{l_s l_t}$ , где  $v_m$  — тах. скорость на контрольной высоте в форме

$$\Delta = 38.2 \left(\frac{1}{\Delta_0}\right)^{1/3} \frac{l_s l_t}{v_m} \cdot \left(1 - \frac{0.244}{\Delta_0} \cdot \frac{l_s l_t}{v_m}\right)^{1/8}, \quad [11]$$

где  $\Delta_0 = \frac{\rho_k}{\rho_0}$  и  $\rho_0$  — плотность воздуха у земли,  $\rho_k$  — плотность воздуха на контрольной высоте.

На фиг. 1 даны кривые  $\frac{v_m}{l_s l_t}$  в функции от  $\Delta$  для случаев контрольных высот 11 тыс. м и 15 тыс. м.

Скорости на высотах, отличных от контрольной, будут получаться по уравнению, аналогичному [10], а именно:

$$\frac{l_s l_t}{v_m} = 4.1 \Delta_0 \frac{T_a T_v \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{v_m} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{v_m}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{v_m}^4} \quad [12]$$

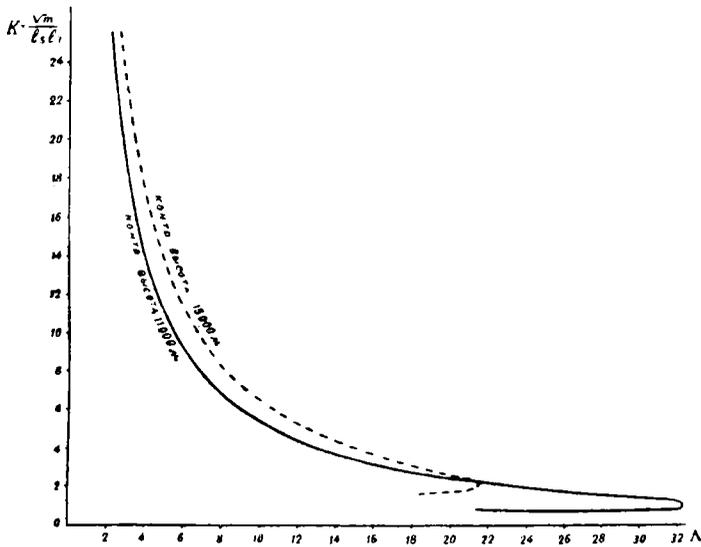
где  $\Delta = \frac{\rho_h}{\rho_0}$ ,  $\rho_h$  — плотность воздуха на высоте  $h$  и  $R_{v_m}$  — отношение тах. скорости на высоте  $h$  к тах. скорости на контрольной высоте, т. е.

$$R_{v_m} = \frac{v_m h}{v_m k}.$$

Подставляя полученное выражение [12] в формулу [11] получим:

$$\Lambda = 156.5 \Delta_0^{2/3} \cdot \frac{Ta Tv \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4} \left( 1 - \frac{Ta Tv \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4} \right)^{1/3} \quad [13]$$

Потолок, следуя методике Oswald'a, находится, воспользовавшись уравнением скорости на потолке и приравняв ее max. скорости на высоте. Уравнение, связывающее относительные плотности воздуха и отношение



Фиг. 1. Зависимость  $k$  от  $\lambda$ .

скорости на потолке к max. скорости на контрольной высоте, в нашем применении будет:

$$Ta Tv \left[ 1 + 3 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4 \right] + \left[ 1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4 \right] R_{vm} \cdot \frac{dT_a T_v}{dR_{vm}} - 4 \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm}^3 = 0. \quad [14]$$

Для данной высоты мы находим по этому уравнению (графически)  $R_{vm}$  и, находя эту точку на кривых  $R_{vm} = f(\Lambda)$ , находим  $\Lambda$ , при котором потолком является взятая высота. Строим график  $H = f(\Lambda)$  (фиг. 2). Анализируя графики винтов, мы приходим, во-первых, к выводу, что на контрольной высоте угол установки лопасти должен быть не велик для того, чтобы при подъеме выше этой высоты, возрастая, этот угол не перешел бы max. предела. Но угол установки не должен быть на пределе min. углов, так как тогда затрудняется подъем от земли.

Примем в дальнейшем, что на контрольной высоте у нас  $C_{sk} = 0.9$ , что для винтов по „Report'у“ 306 дает  $\varphi = 15.5^\circ$ . Это положение лопастей на контрольной высоте, повидимому, является наилучшим. Изменение к. п. д. винта при работе его с регулированием лопастей, при изменении скорости, можно изобразить следующими уравнениями:

$$T_v = \frac{\eta}{\eta_k} = R_v^{0.55} \quad [15]$$

в случае  $R_v < 1$ ;

$$T_v = \frac{\eta}{\eta_k} = 0.158 (R_v - 1) (3 - R_v) + 1, \quad [16]$$

если  $R_v > 1$ .

Полагая  $T_a = 1$  и подставляя эти значения в написанные выше выражения, найдем зависимость  $\Delta$  между  $R_{vm}$  для разных высот

$$\Delta = 156.5 \Delta_0^{2/3} \frac{0.158 (R_{vm} - 1) (3 - R_{vm}) \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm} + \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4} \left( 1 - \frac{0.158 (R_{vm} - 1) (3 - R_{vm}) \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm} + \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4} \right)^{1/3} \quad [17]$$

в случае  $R_{vm} > 1$

$$\Delta = 156.5 \Delta_0^{2/3} \frac{\frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm}^{1.55} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4} \cdot \left( 1 - \frac{\frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vm}^{1.55} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4}{1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vm}^4} \right)^{1/3} \quad [18]$$

в случае  $R_{vm} < 1$ . Уравнения для скорости на потолке будут:

$$3 R_{vн} (0.8 - 0.3 R_{vн}) - 7.6 \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vн}^3 + 3 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vн}^4 (1 + 0.8 R_{vн} - 0.1 R_{vн}^2) + 1 = 0 \quad [19]$$

при  $R_{vн} > 1$  и

$$1.55 + 2.45 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vн}^4 - 4 \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vн}^{2.45} = 0 \quad [20]$$

при  $R_{vн} < 1$ .

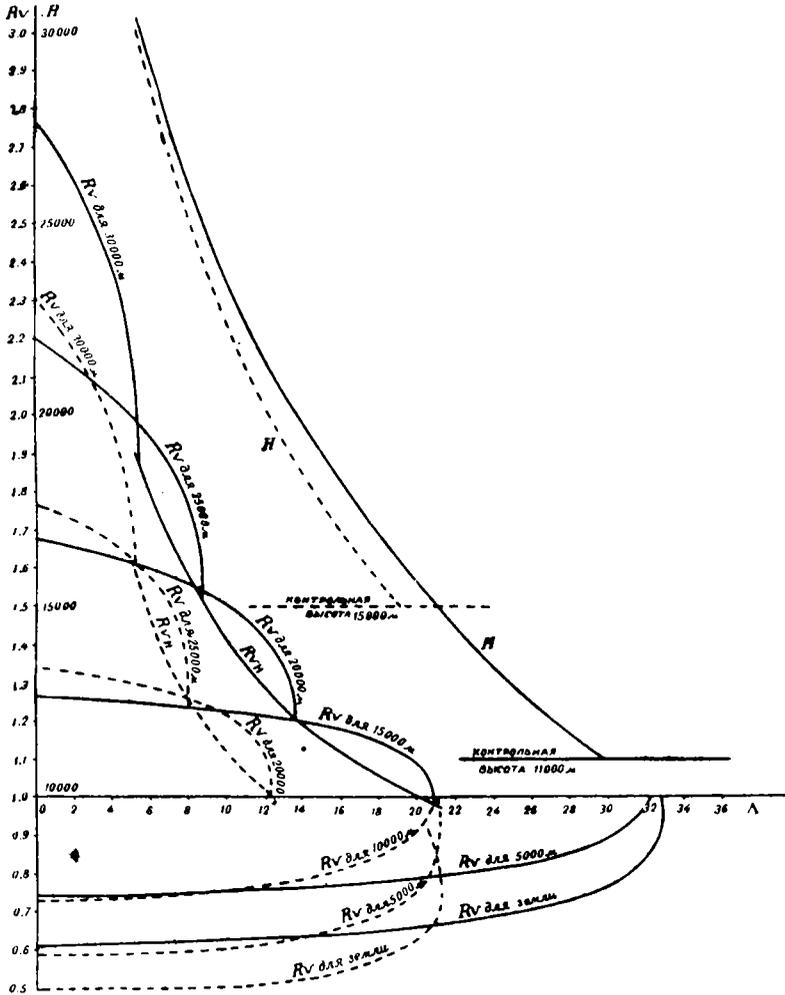
Нами вычислены зависимости по указанным формулам, и кривые изображены на фиг. 2. Там же изображена зависимость между потолками  $H$  и  $\Delta$ . Все вычисления нами проделаны для контрольных высот в 11 тыс. м и в 15 тыс. м. Как видно, 11 тыс. м выгоднее.

Итак, чтобы стратоплан обладал потолком в 30 т. м, надо, чтобы  $\Delta < 5.5$ . При потолке 25 тыс. м  $\Delta < 8.7$ , при потолке 20 тыс. м  $\Delta < 13.7$ , при потолке 15 тыс. м  $\Delta < 21$ . Так как

$$\Delta = \frac{l_s l_t^{4/3}}{l_p^{1/3}} \dots [5]; \quad l_s = \frac{G}{c l^3} \dots [3]; \quad l_t = \frac{G}{N \eta} \dots [2] \text{ и } l_p = \frac{G}{1.28 \sigma_1} \dots [4]$$

и полагая  $e=0.9$  и  $\eta=0.72$  (взято:  $e$  — цифра средняя, приближающаяся к лучшей из Oswald'a, и  $\eta$  — по графикам винтов), имеем:

$$\Lambda = \frac{G}{0.9 l^2} \left( \frac{G}{0.72 N} \right)^{4/3} \left( \frac{1.28 \sigma}{G} \right)^{1/3} = 1.865 \frac{G^2 \cdot \sigma^{1/3}}{l^2 N^{4/3}} \quad [21]$$



Фиг. 2.

или

$$\Lambda = 1.865 \frac{\left( \frac{G}{l^2} \right) \left( \frac{G}{N} \right)^{4/3}}{\left( \frac{G}{\sigma_1} \right)^{1/3}} = 1.865 \Lambda' \quad [22]$$

Таким образом, можно считать следующее:

потолок	30 000	25 000	20 000	15 000
$\Lambda' <$	2.95	4.66	7.35	11.25

Посмотрим, что фактически на самолетах имеется (не стратопланах), если бы мощность мотора не падала с высотой, при всех остальных условиях старых.

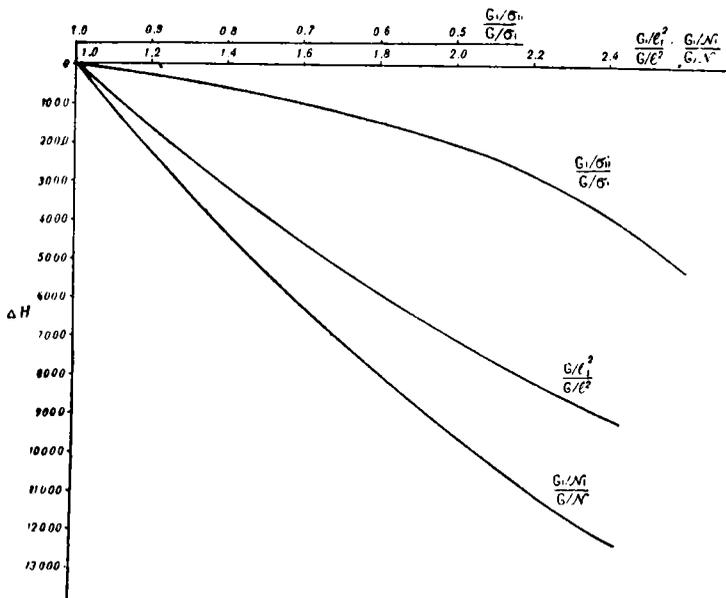
№	С а м о л е т	$\frac{G}{l^2}$	$\frac{G}{N}$	$\frac{G}{\sigma_1}$	$\left(\frac{G}{N}\right)^{4/3}$	$\left(\frac{G}{\sigma_1}\right)^{1/3}$	$\Lambda'$	$\Lambda$	Соотв. потолок
1	Lockheed „Orion“ . . . . .	14.5	4.45	6450	7.29	18.6	5.68	10.58	22 900
2	Lockheed „Electra“ . . . . .	14.55	4.86	6120	8.24	18.3	6.55	12.2	21 200
3	Douglas DC-1 . . . . .	11.85	5.6	4730	9.95	16.8	7.01	13.05	20 500
4	Vultee V-1 . . . . .	15.3	4.7	6790	7.87	18.95	6.35	11.84	21 500
5	Northrop „Delta“ . . . . .	14.9	4.53	6100	7.50	18.3	6.1	11.37	22 000
6	Boeing 247 . . . . .	11.15	5.18	3955	8.95	15.85	6.3	11.74	21 700
7	Fokker F-XX . . . . .	11.7	4.6	3790	7.65	15.55	5.76	10.74	22 700
8	Bernard-80 . . . . .	13.92	3.46	2655	5.24	13.8	5.53	10.3	23 100
9	Dewoitine D-500 . . . . .	10.4	3.46	3160	5.24	14.65	3.72	6.94	27 600
10	Hanriot LH-130 . . . . .	10.43	3.58	2780	5.48	14.05	4.07	7.59	26 700
11	Dewoitine D-430 . . . . .	7.78	5.6	2570	9.95	13.65	5.67	10.56	22 900

Предположим, что нам удастся спроектировать самолет, обладающий наилучшими характеристиками с точки зрения достижения наилучшего потолка. Возьмем  $\frac{G}{l^2} = 7.78$  (по Dewoitine D-430),  $\frac{G}{N} = 3.46$  (по Bernard-80 и Dewoitine D-500),  $\frac{G}{\sigma_1} = 6790$  (по V-1), тогда  $\Lambda' = 2.15$ ;  $\Lambda = 4.01$ , отсюда по графику 2, экстраполируя, находим абсолютный потолок в 33 000 м.

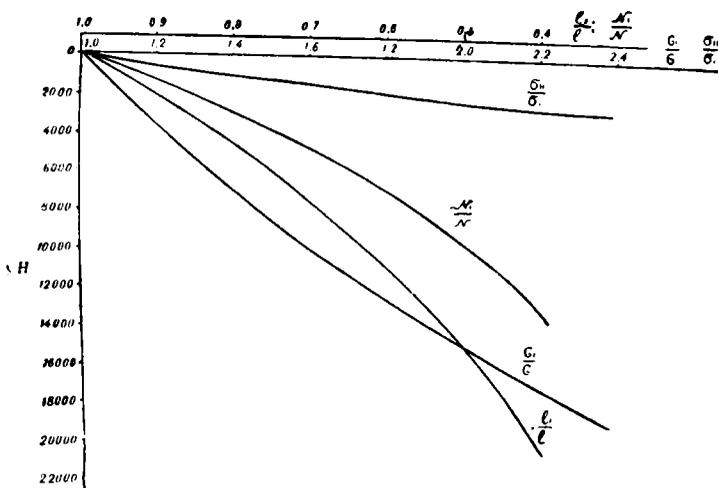
Заметим, что нами это получено в предположении постоянной мощности мотора, возможности совместного удовлетворения найденных величин и пренебрежением падения к. п. д. винта из-за возможных больших окружных скоростей на концах лопастей. Полученный нами потолок является, таким образом, предельным по современному состоянию авиатехники с точки зрения самолета.

Если значения  $\frac{G}{l^2}$ ,  $\frac{G}{N}$  и  $\frac{G}{\sigma_1}$ , отличны от идеальных, то, пользуясь формулой [22], мы можем найти уменьшение потолка при том или другом относительном изменении этих величин. На фиг. 3 построен соответствующий график, который, таким образом, указывает значимость (относительную) этих 3 параметров.

Если воспользоваться формулой [21], то можно непосредственно найти значимость каждой из величин  $G$ ,  $N$ ,  $l$  и  $\sigma_1$  на потолок. На фиг. 4 дан соответствующий график. Из формулы [21] и из графика 4 видно, что вес самолета и размах его в одинаковой степени влияют на потолок.



Фиг. 3. Изменение в потолке в зависимости от изменения основных характеристик (от идеального случая).



Фиг. 4. Изменение потолка при изменении основных параметров (от идеального случая).

Теперь обратимся к скорости. Пусть нам необходимо получить какую-то заданную скорость  $v_0$  на высоте  $h$  (нижней чем потолок).  $\Delta$  определяется по потолку, поэтому мы для данной  $\Delta$  находим  $\frac{v_m}{l_8 l_t}$  из графика 1.

Принимая во внимание, что

$$v_0 = v_m R_{v_m}$$

имеем, обозначив величину

$$\frac{v_m}{l_s l_t} = K, \quad [24]$$

$$\frac{v_0}{R_{v_m} l_s l_t} = K. \quad [25]$$

Условие, чтобы на высоте  $h$  скорость была не ниже  $v_0$ , таково:

$$l_s l_t \geq \frac{v_0}{R_{v_m} K}; \quad [26]$$

обозначив

$$\frac{v_0}{R_{v_m} K} = A, \quad [27]$$

имеем условие для скорости

$$l_s l_t \geq A \quad [28]$$

или

$$\frac{G}{e l^2} \cdot \frac{G}{N \eta} \geq A \quad [29]$$

или, полагая  $e = 0.9$  и  $\eta = 0.72$

$$1.545 \cdot \frac{G}{l^2} \cdot \frac{G}{N} \geq A \quad [30]$$

или

$$\frac{G}{l^2} \cdot \frac{G}{N} \geq \frac{A}{1.545} = A^1. \quad [31]$$

Таким образом, если мы имеем заданный потолок и заданную скорость, то у нас имеется 2 неравенства, дающих пределы для

$$\frac{G}{l^2} \cdot \left(\frac{G}{N}\right)^{1/3} \text{ и для } \frac{G}{l^2} \cdot \frac{G}{N}.$$

Если бы иметь еще заданную скороподъемность, то имели бы третье уравнение, так что задача стала бы вполне определенной, т. е. мы могли бы найти  $\frac{G}{l^2}$ ,  $\frac{G}{N}$  и  $\frac{G}{\sigma_1}$ , которые необходимо иметь, чтоб удовлетворить потолку, скорости и скороподъемности. Здесь мы пока скороподъемностью не занимаемся, так что задача у нас остается неопределенной (имеется два уравнения при трех неизвестных). Однако сочетание их требует вполне определенных границ.

Посмотрим, каковы были бы скорости для действительных самолетов, приведенных нами выше в таблице (самолеты эти одни из наилучших современных машин). Предполагаем, что все размерные и весовые данные остаются нормальными, изменяется лишь винтомоторная группа (постоянство мощности с высотой и подбор винта на контрольной высоте).

№	С а м о л е т	$\frac{G}{N} \cdot \frac{C}{l^2}$ $A^1 = l_s l_t$	$A = l_s l_t$	$\frac{V_m}{l_s l_t}$	V <sub>m</sub> /км 11 000	R <sub>vm</sub>				V <sub>m</sub>			
						0	5000	15 000	20 000	0	5000	15 000	20 000
1	Lockheed „Orion“ .	64.6	99.9	5.1	509	0.63	0.76	1.225	1.485	321	387	624	756
2	Lockheed „Electra“	70.7	109.2	4.6	502	0.635	0.765	1.215	1.41	319	355	610	708
3	Douglas DC-1 . . .	66.4	102.5	4.0	410	0.636	0.77	1.205	1.34	261	316	494	550
4	Vultee V-1 . . . .	72.0	111.3	4.4	490	0.632	0.762	1.215	1.43	310	343	596	701
5	Northrop „Delta“ .	67.5	104.2	4.7	490	0.63	0.76	1.22	1.455	309	372	598	713
6	Boeing 247 . . . .	57.8	89.4	4.5	402	0.63	0.761	1.215	1.435	253	306	489	577
7	Fokker F-XX . . .	53.9	83.5	5.0	416	0.63	0.76	1.225	1.48	262	316	510	616
8	Bernard-80 . . . .	48.2	74.5	5.2	387	0.63	0.76	1.225	1.495	244	294	474	579
9	Dewoitine D-500* .	36.0	55.6	8.0	445	0.62	0.75	1.245	1.58	276	334	554	704
10	Hanriot LH-130* .	37.4	57.8	7.3	422	0.623	0.755	1.24	1.57	263	319	524	663
11	Dewoitine D-430 .	43.6	67.4	5.1	344	0.63	0.76	1.225	1.485	217	262	422	511

Посмотрим, каковы возможные скорости в случае идеализированного стратоплана. Имея  $\Lambda = 4.01$ , мы находим  $\frac{v_m}{l_s l_t} = 14.1$  и так как  $l_s l_t = 41.5$ , то  $v_m = 585$  км/ч. Это на контрольной высоте в 11 тыс. м. Скорости же на других высотах будут такие:

$H =$	0	5000	11 000	15 000	20 000	25 000	30 000
$R_{v_m} =$	0.62	0.75	1.0	1.255	1.63	2.055	2.385
$v_m =$	362	438	585	734	953	1200	1388

Скорость на высоте 20 000 и выше уже такова, что учет сжимаемости воздуха необходим, а потому на самом деле скорости будут ниже указанных.

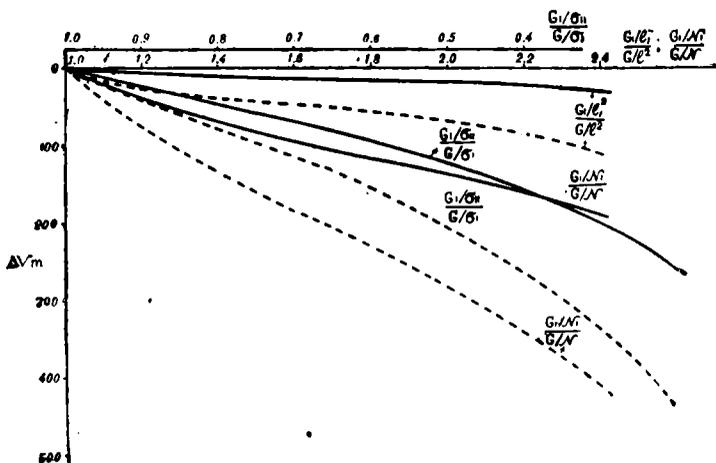
При изменении основных параметров скорости изменятся так, как это указано на графиках (5 и 6).

В конце главы 4-й мы даем некоторые указания относительно поправок к скоростям, благодаря эффекту сжимаемости воздуха.

Эффект сжимаемости сильно искажает результаты расчетов и для скоростных стратопланов введение этого учета необходимо.

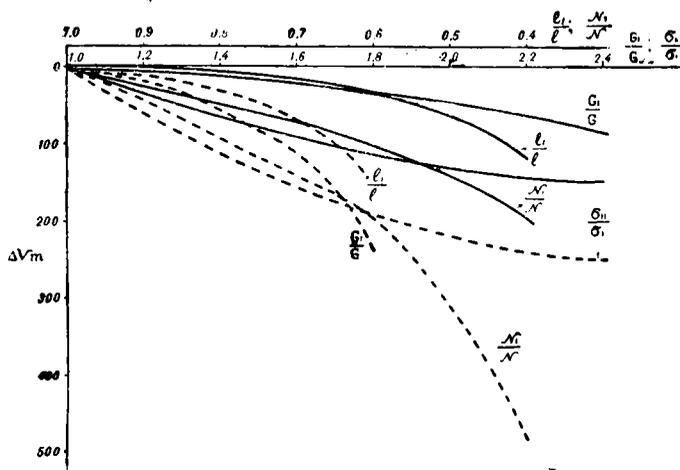
Третий тип стратоплана — сверхскоростный — пока не поддается анализу, и мы поэтому опускаем анализ его до более отдаленных времен.

\* Мах. скорость на 25 000 м D-500 = 837 км/ч. и для LH-130 = 770 км/ч.



Фиг. 5. Изменение скорости в зависимости от изменения основных характеристик (от идеального случая).

— Высота 11000 м. - - - - - Высота 2000 м.



Фиг. 6. Изменение скорости в зависимости от изменения основных параметров (от идеального случая).

— Высота 11 000 м. - - - - - Высота 20 000 м.

### ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СХЕМЫ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Так как потолок и скорость требуют возможно меньшей нагрузки на квадрат размаха, нагрузки на силу и возможно большей нагрузки на паразитную площадь лобовых сопротивлений, то выбор схемы стратоплана и должен базироваться на указанных основаниях. Разберем все параметры в отдельности. 1) Нагрузка на квадрат размаха  $\frac{G}{l^2}$ . Вес самолета  $G$  зависит от полезной нагрузки, а в стратоплане еще в сильнейшей степени от типа винтомоторной группы (см. ниже). Величину  $\frac{G}{l^2}$  можно уменьшить,

увеличивая  $l$ , причем это можно делать, увеличивая  $l$ , при сохранении хорды крыла прежней, тогда будет возрастать площадь крыльев и увеличиваться профильное сопротивление, которое увеличит плоскую пластинку вредных сопротивлений  $\sigma_1$ , так что, улучшая один член, мы ухудшаем другой; увеличивая же  $l$ , при сохранении старой площади, высота дужки крыла падает, возрастает вес, и вопрос прочности крыла становится острым. Сильное увеличение размаха  $l$  может настолько сильно увеличить вес, что дальнейший рост размаха станет невыгодным. В целях уменьшения веса, при возрастании размаха, может быть целесообразнее отказаться от свободнонесущего типа крыла, перейдя на подкосную схему или расчалочную. В этом случае вес уменьшается, и мы можем дать больший размах, тем самым уменьшив  $\frac{G}{l^2}$ ; член  $\frac{G}{N}$  возрастает в случае расчалочного крыла на меньшую величину, чем в случае свободнонесущего. Падение величины  $\frac{G}{\sigma_1}$  дает обратный эффект. Однако, при расчалочном или подкосном крыле, можно толщину крыла выбрать тоньше, уменьшить профильное сопротивление и улучшить данные. Параметр  $\Lambda$  может дать ответ, какая схема лучше.

2)  $\frac{G}{N}$  — нагрузка на мощность — будет меньше при более мощном моторе. Увеличение мощности сопровождается, обычно, увеличением веса за счет 1) увеличения веса всей винтомоторной группы и 2) увеличения веса горючего. Как видно, изменение одной из величин вызывает за собой изменение всех остальных, и обычно эффект от их изменения бывает обратен эффекту от изменения рассматриваемой. Для лучшего  $\frac{G}{N}$  надо, чтобы вес мотора, приходящийся на 1 л. с., был бы по возможности мал.

3) Нагрузка на эквивалентную плоскую пластинку  $\frac{G}{\sigma_1}$  можно изобразить еще так:

$$\frac{G}{\sigma_1} = \frac{1}{\frac{1}{\sigma} + \frac{C_p}{0.64} \cdot \frac{1}{S}}, \quad [32]$$

где  $S$  — площадь крыла,  $\sigma$  — эквивалентная плоская пластинка вредных сопротивлений без крыльев,  $C_p$  — коэффициент профильного сопротивления (minim.). Как видно, надо чтобы  $\frac{G}{\sigma}$  было по возможности большое и чтобы большой была нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  несущей поверхности крыльев. Необходимо уменьшать коэффициент профильного сопротивления  $C_p$ . Уменьшить  $\sigma$  можно хорошим облизыванием машины и уменьшением всяких интерференционных сопротивлений.

$C_p$  можно уменьшить, ставя тонкие крылья. При ограниченной верхним пределом посадочной скорости,  $\frac{G}{S}$  можно увеличить, применяя на крыльях с малой площадью  $S$  специальные устройства для увеличения шах. коэффициента подъемной силы крыла  $C_y$  шах., такие, как Зар'овские закрылки, щелевые закрылки или другие имеющиеся сейчас способы.

Но это вызывает увеличение веса и ухудшает  $\frac{G}{P}$  и  $\frac{G}{N}$ . Следовательно, все мероприятия по улучшению отдельных параметров надо делать крайне осторожно, помня, что все параметры между собой как-то связаны и изменения в одном вызывают неизбежно изменения в других. Анализируем возможные параметры стратоплана и выбор их. В основу положим реальные цифры, которые можно в настоящее время достигнуть. Лучшие профили дают *min.* профильное сопротивление  $C_p = 0.005$ .

Предположим, что стратосферный самолет с точки зрения аэродинамики спроектирован идеально, т. е. что фюзеляж его обладает формой наименьшего сопротивления, все детали, как шасси и проч., спрятаны внутри или сделаны убираться и т. д. Размеры фюзеляжа — *min.* возможные, которые будем считать независимыми от остальных параметров самолета. Относя все вредное сопротивление к миделевой площади фюзеляжа (кроме хвостового оперения), имеем

$$\sigma = \frac{C_{x_{\phi}} \cdot F}{0.64} + \frac{C_{x_{оп.}} \cdot S_{оп.}}{0.64} \quad [33]$$

откуда

$$\frac{G}{\sigma_1} = \frac{1}{\frac{C_{x_{\phi}}}{0.64 G} + \frac{C_{x_{оп.}}}{0.64 \frac{G}{S_{оп.}}} + \frac{C_p}{0.64 \frac{G}{S}}} \quad [34]$$

полагая  $C_{x_{\phi}} = 0.1$ ;  $F = 1.0 \text{ м}^2$ ;  $C_{x_{оп.}} = 0.01$  и  $S_{оп.} = 0.2 S$ , имеем

$$\frac{G}{\sigma_1} = \frac{1}{\frac{0.156}{G} + \frac{0.01095}{\frac{G}{S}}} \quad [35]$$

На основании этой формулы составлен график (фиг. 7), дающий зависимость  $\frac{G}{\sigma_1}$  от  $G$  для разных  $\frac{G}{S}$  (пригоден только для случая такого исключительно малого вредного сопротивления). Значение  $\frac{G}{S}$  может быть определено из условий посадочной скорости

$$v_n = 3.6 \sqrt{\frac{G}{\rho_0 S C_{y_{\max}}}}; \quad [36]$$

полагая  $\rho_0 = 0.125$ , имеем:

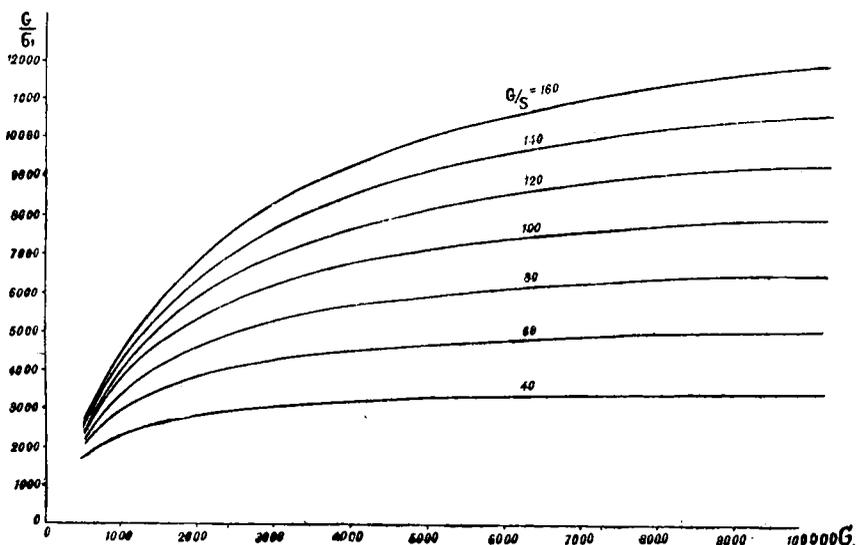
$$\frac{G}{S} = 0,00965 C_{y_{\max}} v_n^2, \quad [37]$$

$v_n$  дано в км/час, а  $C_{y_{\max}}$  для нормальных дужек равен 0.6—0.7, а для крыльев с закрылками и *Zap-flap'*ами доходит до 1.1—1.2. Мы считаем, что полученные значения  $\frac{G}{\sigma_1}$  в настоящем состоянии авиатехники можно достигнуть.

Полный вес самолета складывается из веса конструкции (вес планера), веса винтомоторной группы, веса горючего и полезной нагрузки, в который входят также экипаж и приборы:

$$G = G_k + G_m + G_r + G_n; \quad [38]$$

обозначим через  $p$  вес мотора, приходящийся на 1 HP,  $h$  — число часов полета,  $q$  — расход горючего в 1 час на 1 HP. Назовем через  $K_1$



Фиг. 7. Зависимость нагрузки на эквивалентную плоскую пластинку от веса самолета и нагрузки на площадь.

отношение веса планера к полному весу и через  $K_2$  — отношение веса всей нагрузки (полезная нагрузка + горючее) к полному весу, т. е.

$$K_1 = \frac{G_k}{G} \quad [39]$$

и

$$K_2 = \frac{G_r + G_n}{G}, \quad [40]$$

тогда

$$G = K_1 G + pN + K_2 G, \quad [41]$$

где  $N$  — мощность мотора в лошадиных силах. Из этой формулы получаем

$$G (1 - K_1 - K_2) = pN, \quad [42]$$

откуда

$$\frac{G}{N} = \frac{p}{1 - K_1 - K_2}, \quad [43]$$

обозначив  $G_r + G_n$  через  $P$ , имеем

$$\frac{G}{N} = \frac{p}{1 - K_1 - \frac{P}{G}}. \quad [44]$$

Для современных авиодвигателей  $p = 0.6 - 0.8$  кг/НР (рекордная цифра 0.328 кг/л. с. — мотор Фиат As-6 мощностью 2800 НР, на котором был поставлен рекорд скорости в 682.403 км/час 10 IV 1933 г.). Полагая, что высотные многоступенчатые нагнетатели или другие приспособления для поддержания мощности мотора увеличат его вес в 2 раза (см. Самолет, № 3, 1934 г., доклад Юрьева об аэродинамике больших скоростей и высот), примем  $p = 2 \times 0.6 = 1.2$  кг/л. с. Вес горючего

$$G_r = hqN. \quad [45]$$

Для современных двигателей будем считать  $q = 0.25$  кг/л. с. в 1 час.  $K_1 = \frac{G_k}{G}$  в современных самолетах в среднем составляет  $\approx 44\%$ .

Так как стратоплан имеет ряд особенностей, увеличивающих вес его конструкции, то примем  $K_1 = 0.50$  (см. ниже), тогда можем написать

$$\frac{G}{N} = \frac{p}{1 - K_1 - \frac{p}{G}} = \frac{1.2}{0.5 - \frac{p}{G}}. \quad [46]$$

Строим график зависимости  $\frac{G}{N}$  от  $G$  для разных грузоподъемностей  $P$  (фиг. 8).

Также строим график  $N = f(G)$  для разных  $P$  (получается непосредственно).

Эти графики позволяют найти параметры самолета по заданным условиям. Действительно, пусть нам задано, что стратоплан должен иметь потолок в  $H$  м, поднять полезную нагрузку  $G_n$  и летать  $h$  часов. Задаемся мощностью мотора  $N$  и вычисляем  $G_r = qhN$ . Находим  $P = G_2 + G_n$ . По графику 9 находим полный вес  $G$ . По графику 7 находим, задаваясь  $\frac{G}{S}$  по  $G$ , значение  $\frac{G}{\sigma_1}$ . По графику 8 находим  $\frac{G}{N}$ ; по графику 2 по потолку  $H$  находим  $\lambda$ . Вычисляем  $\lambda' = \frac{\lambda}{1.865}$ ; по формуле

$$\frac{G}{l^2} = \frac{\lambda' \left(\frac{G}{\sigma_1}\right)^{1/3}}{\left(\frac{G}{N}\right)^{1/3}}$$

находим  $\frac{G}{l^2}$ ; зная  $G$ , находим  $l$ ; зная  $S$  и  $l$ , находим удлинение

$$\lambda = \frac{l^2}{S}. \quad [48]$$

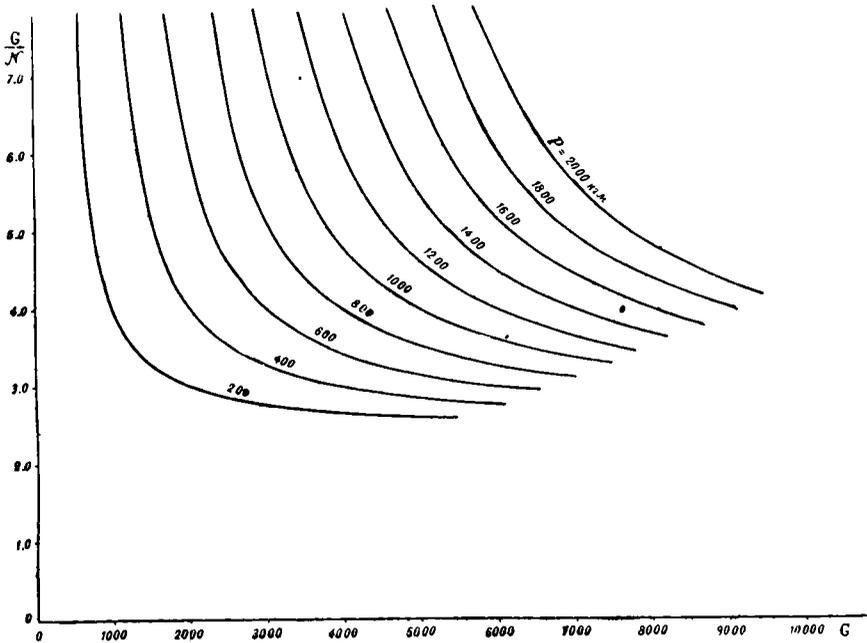
Значением  $\frac{G}{S}$  задаемся, исходя из желаемой посадочной скорости  $v_n$  и  $C_{y_{\max}}$ .

Пример. Дано: стратоплан высотный; мотор  $N = 500$  НР,  $v_n = 100$  км/ч;  $C_{y_{\max}} = 1.1$ ;  $G_n = 500$  кг.

Желательно иметь горючее на 4 часа. Потолок  $H = 20\,000$  м;  $P = 0.25 \cdot 4 \cdot 500 + 500 = 1000$  кг.

По графику 9 находим  $G = 3200$  кг и по графику 8  $\frac{G}{N} = 6.4$  кг/HP;  $\frac{G}{S} = 106$  кг/м<sup>2</sup>,  $S = 30.2$  м<sup>2</sup>. По графику 7  $\frac{G}{\sigma_1} = 6600$  кг/м<sup>2</sup> и по графику 2  $\Lambda = 13.7$ ,  $\Lambda' = \frac{13.7}{1.865} = 7.35$ ;  $\frac{G}{l^2} = 11.65$  кг/м<sup>2</sup> (не больше),  $l = 15.47$  м и  $\lambda = 9$ .

Если размерные данные получаются неподходящие (как в настоящем примере, где велико удлинение), то надо изменить исходные данные. Уве-



Фиг. 8. Зависимость нагрузки на мощность от полезного веса для разных нагрузок.

личим мощность мотора. Возьмем  $N = 800$  HP, тогда  $P = 1300$  кг,  $G = 4550$  кг,  $\frac{G}{N} = 5.6$  кг/HP,  $\frac{G}{\sigma_1} = 7300$  кг/м<sup>2</sup>,  $S = 42.9$  м<sup>2</sup>.  $\frac{G}{l^2} = 14.85$  кг/м<sup>2</sup>,  $l = 17.5$  м,  $\lambda = 7.12$  (что уже приемлемо).

Скорость получается для первого варианта  $A^1 = \frac{G}{l^2} \cdot \frac{G}{N} = 74.6$ ;  $A = 1.545$ ,  $A^1 = 115.2$ . По графику 1:  $\frac{v_m}{A} = 3.8$ ;  $v_m = 438$  км/час (на 11 000 м); на 15 000 м  $v = 1.2 \cdot 438 = 526$  км/час; у земли  $v = 0.64 \cdot 438 = 281$  км/час.

Для второго варианта  $A^1 = 83.2$ ;  $A = 128.5$ ;  $\frac{v_m}{A} = 3.8$ ;  $v_m = 488$  км/час (на 11 000 м),  $v = 586$  км/час (на 15 000 м);  $v = 312$  км/час (у земли).

В случае, если задается скорость, мы должны удовлетворить двум неравенствам для  $\frac{G}{l^2}$ . Означенное легче всего проследить на примере.

Пусть нам желательно получить макс. скорость в 700 км/час на высоте 20 тыс. м. Грузоподъемность задана в 400 кг при запасе горючего на

4 часа, расход горючего 0.25 кг/л. с. в час.  $P=0.25 \cdot 4 N=400$ . Потолок должен быть не ниже 20 тыс. м, т. е.  $\Lambda < 13.6$ . Для обеспечения достаточной скороподъемности берем  $\Lambda=10$ . В этом случае  $R_{v_m}=1.5$ ; по графику 1 —  $K=\frac{v_m}{l_g l_t}=5.4$ .

$$A=\frac{700}{1.5 \cdot 5.4}=86.4; \quad A^1=55.9.$$

Условие скорости требует

$$\frac{G}{l^2} \cdot \frac{G}{N} \geq 55.9 \quad \text{или} \quad \frac{G}{l^2} \geq \frac{55.9}{\frac{G}{N}}; \quad \Lambda^1=5.36.$$

Условие потолка

$$\frac{G}{l^2} \leq \frac{5.36 \cdot \left(\frac{G}{\sigma_1}\right)^{1/3}}{\left(\frac{G}{N}\right)^{1/3}}.$$

$$v_n = 100 \text{ км/ч}; \quad C_{y_{\max.}} = 0.83; \quad \frac{G}{S} = 80 \text{ кг/м}^2$$

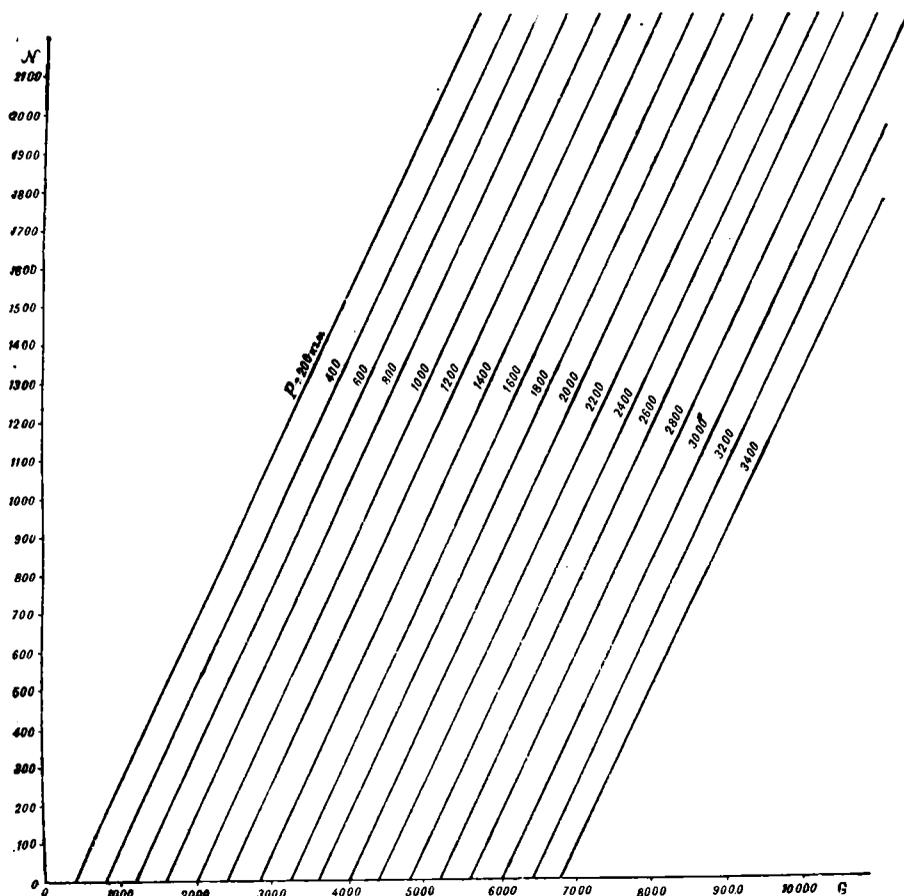
Расчет ведем в табличной форме:

$N$	500	800	1100	1400	1700	2000
$P$	900	1200	1500	1800	2100	2400
$G$	3000	4330	5650	6970	8300	9650
$\frac{G}{N}$	6.0	5.4	5.14	4.97	4.88	4.82
$\frac{G}{\sigma_1}$	5300	5750	6050	6250	6400	6450
$\left(\frac{G}{N}\right)^{1/3}$	10.83	9.48	8.87	8.47	8.28	8.04
$\left(\frac{G}{\sigma_1}\right)^{1/3}$	17.45	17.9	18.2	18.4	18.6	18.62
$\frac{G}{l^2} \leq$ по потолку	8.64	10.11	11.0	11.65	12.04	12.41
$\frac{G}{l^2} \geq$ по скор.	9.32	10.35	10.86	11.25	11.45	11.6
$l^2$	} не удовлетво- ряет постав- ленным усло- виям		513	598	689	777
$l$			22.65	24.45	26.25	27.9
$S$			70.6	87.1	103.6	120.5
$\lambda$			7.27	6.87	6.64	6.44
$G = 5650 \text{ кг}$			$\frac{P}{G} 100 = 26.5\%$			

Как видно, поставленным условиям удовлетворяют все варианты, начиная от мощности  $N=1100$  НР. Беря эту мощность, имеем  $l=22.65$  м,  $S=70.6$  м<sup>2</sup>,  $\lambda=7.27$ , что вполне удовлетворительно. Если бы условия были не удовлетворены, то пришлось бы изменить задание.

Посмотрим, какие достижения можно ожидать от стратопланов 1-го и, отчасти, 2-го типов.

Для высотного самолета возьмем малую грузоподъемность и небольшой запас горючего. Берем  $G_1 = 300$  кг и  $h = 3$  часа. Расчет сделаем для мощностей от 500 до 2000 НР при  $\frac{G}{S} = 40, 100$  и 160 и при  $\lambda = 6.8$



Фиг. 9. Зависимость полетного веса от мощности и нагрузки.

и 10. Таким образом, для данной грузоподъемности расчет будет покрывать все возможные варианты.

Для каждого варианта находим  $P$ , по графику (фиг. 9)  $G$ , далее  $\frac{G}{N}$  и  $\frac{G}{\sigma_1}$ , по данным  $\frac{G}{S}$  и  $\lambda$  находим

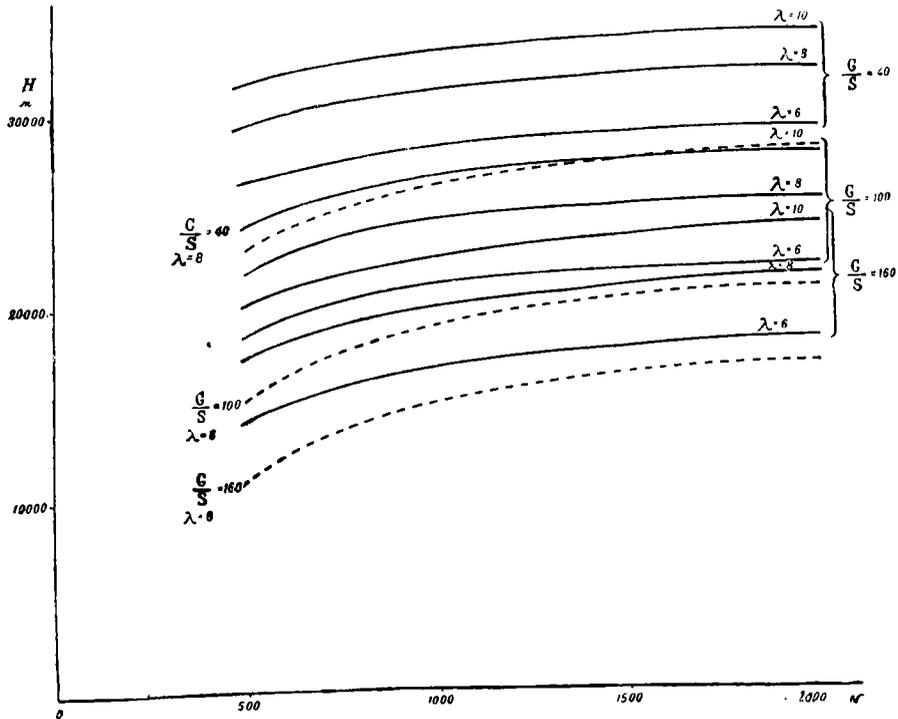
$$\frac{G}{l^2} = \frac{G}{S} \cdot \frac{1}{\lambda}, \tag{49}$$

вычисляем  $l$  и  $A$ . По графику фиг. 1 находим  $K$ , по графику фиг. 2 —  $H$  и  $R_{vm}$  для разных высот. Находим  $v_m = kA$ .

Далее вычисляем  $v$  для разных высот

$$v = v_m R_{v_m}. \quad [23]$$

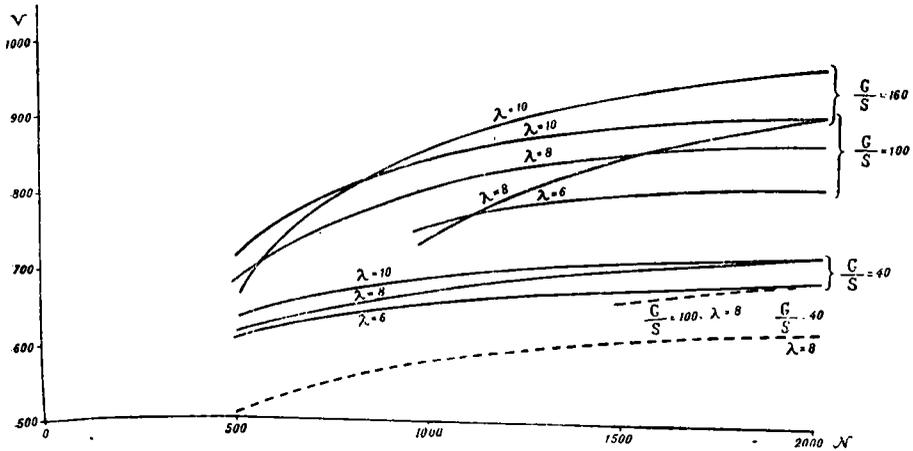
Результаты вычислений представлены графически на фиг. 10, 11, 12 и 13. 1 чертеж для потолков и 3 чертежа для скоростей на 15 тыс., 20 тыс. и 25 тыс. м высоты соответственно. Все значения даны в зависимости



Фиг. 10. Зависимость потолка от мощности  
 — полезная нагрузка 300 кг, горючее на 3 часа  
 - - - полезная нагрузка 800 кг, горючее на 5 час.

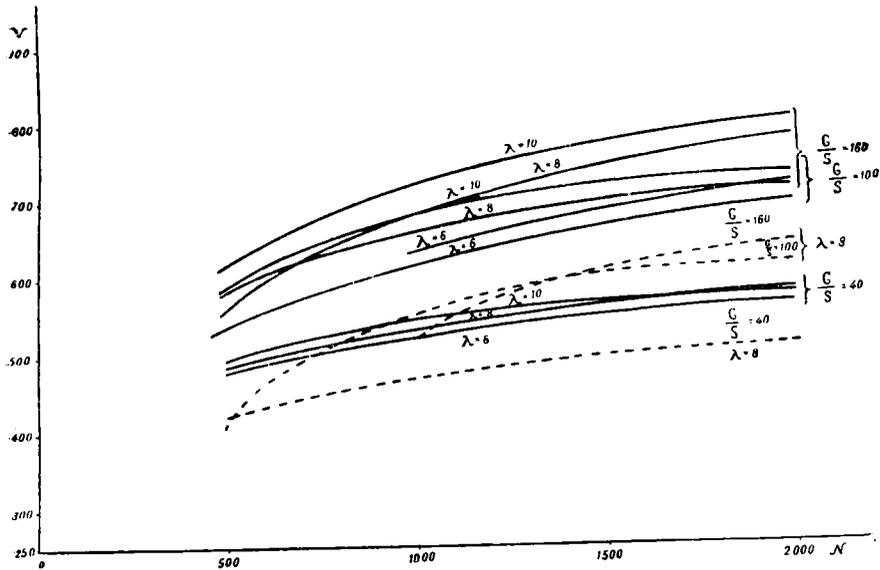
от мощности  $N$ . Для сравнения на эти же графики нанесены кривые для более грузоподъемного самолета при  $\frac{G}{S} = 40$  кг/м<sup>2</sup> и  $\lambda = 8$  (для этого варианта взято  $G_2 = 800$  кг и  $h = 5$  час.).

Рассматривая графики, можно сделать кое-какие заключения, именно: при моторах постоянной мощности, если таковые появятся, можно рассчитывать получить от стратоплана потолок порядка 30 тыс. м. При этом нагрузка на 1 м<sup>2</sup> несущей поверхности должна быть малой (порядка 40 кг/м<sup>2</sup>). Удлинение довольно значительно влияет на потолок (увеличение удлинения с 6 до 8 дает выигрыш около 3 тыс. м). Отношение полезной нагрузки к полетному весу получается не очень хорошим (порядка 20—25%). Увеличение грузоподъемности дает повышение этого отношения (до 30 и даже немного больше проц.), но потолок снижается. На фиг. 10 видно, что уменьшение потолка может быть весьма значительным. Стратопланом высот-



Фиг. 11. Зависимость скорости от мощности на 15 000 м высоты

— полезная нагрузка 300 кг, горючее на 3 часа  
 - - - полезная нагрузка 800 кг, горючее на 5 час.



Фиг. 12. Зависимость скорости от мощности на 20 000 м высоты

— полезная нагрузка 300 кг, горючее на 3 часа  
 - - - полезная нагрузка 800 кг, горючее на 5 час.

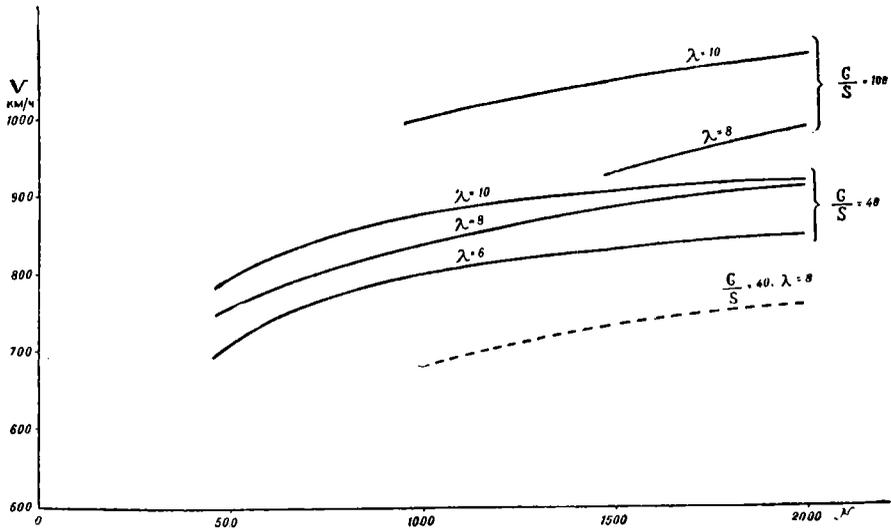
ного типа будет самолет с минимальной грузоподъемностью, малой нагрузкой на крыло и большим удлинением.

Нагрузка на 1 НР получается порядка 4—5. Нагрузка на квадрат размаха ( $\frac{G}{l^2}$ ) от 4 до 7 (благодаря большому удлинению  $\lambda = 8$  или больше).

Что касается мощности, то условиям полета удовлетворяют все мощности от 500 НР и выше, причем увеличение мощности с 500 НР до 1000 НР

увеличивает потолок примерно на 2 тыс. м. Дальнейшее же увеличение мощности лишь слабо увеличивает его. Этот высотный самолет сможет обладать на высоте 15 тыс. м скоростями порядка 500—550 км/час; на 20 тыс. м высоты — 600—700 км/час и на высоте 25 тыс. м скоростями 700—900 км/час (в зависимости от мощности).

Самолет более грузоподъемный (см. вариант с увеличенной нагрузкой) дает скорость ниже указанных, примерно такого порядка: 15 тыс. м — 400—500 км/час., 20 тыс. м — 500—600 км/час., 25 тыс. м — 650—750 км/час.



Фиг. 13. Зависимость скорости от мощности на 25 000 м высоты

— полезный груз 300 кг, горючее на 3 часа  
 - - - полезная нагрузка 800 кг, горючее на 5 час.

Второй тип стратоплана — скоростной должен обладать другими данными. Как видно из графиков, скорость от удлинения зависит сравнительно мало, причем: чем выше высота полета, тем удлинение сильнее влияет на скорость, и чем нагрузка на квадратный метр несущей поверхности больше, тем удлинение важнее.

На 15 тыс. м малогрузоподъемный самолет обладает скоростью в 500—550 км/час. при  $\frac{G}{S} = 40$  кг/м<sup>2</sup>, 550—700 км/час. при  $\frac{G}{S} = 100$  кг/м<sup>2</sup> и 600—750 км/час. при  $\frac{G}{S} = 160$  кг/м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение нагрузки на м<sup>2</sup> крыла мало увеличивает скорость. Изменяя удлинение с 6 до 8, мы увеличиваем скорость от 10 до 70 км/час. Увеличение мощности от 500 до 1000 НР дает увеличение на 50—100 км/час.; дальнейшее увеличение мощности дает меньший эффект. Увеличение грузоподъемности самолета сказывается на уменьшении его скорости, именно для варианта, нами разобранный, при  $\frac{G}{S} = 40$  кг/м<sup>2</sup> скорость — 400—500 км/час., при  $\frac{G}{S} = 100$  кг/м<sup>2</sup> скорость 400—600 км/час. и при  $\frac{G}{S} = 160$  кг/м<sup>2</sup> — 500—600 км/час.

На 20 тыс. м высоты влияние удлинения и мощности более резко, особенно для самолетов с большой удельной нагрузкой. Слабо грузоподъемный самолет обладает скоростями порядка 600—700 км/час. при  $\frac{G}{S}=40 \text{ кг/м}^2$ , 700—900 км/час. при  $\frac{G}{S}=100 \text{ кг/м}^2$  и 750—950 км/час. для  $\frac{G}{S}=160 \text{ кг/м}^2$ . Изменение удлинения на 2 единицы вызывает изменение скорости от 30 до 100 км/час. Возрастание мощности с 500 НР до 1000 вызывает возрастание в скорости от 50 до 100 км/час.; дальнейшее увеличение скорости с ростом мощности менее заметно, но более интенсивно, чем на высоте 15 тыс. м. При нагрузке  $\frac{G}{S}=160 \text{ кг/м}^2$  удлинение должно быть больше 8.

Для грузоподъемного самолета скорости будут:

от 500 до 600 км/час. при  $\frac{G}{S}=40 \text{ кг/м}^2$  и  
 „ 650 „ 700 „ „  $\frac{G}{S}=100$  „ „

для этого варианта полет на высоте 20 тыс. м при  $\frac{G}{S}=160 \text{ кг/м}^2$  невозможен.

Наконец, на высоте 25 тыс. м мы имеем скорости от 700 до 900 км/час. при  $\frac{G}{S}=40 \text{ кг/м}^2$  и 900—1100 км/час. при  $\frac{G}{S}=100 \text{ кг/м}^2$ , причем в последнем случае удлинение  $> 8$  и мощность больше 1000 НР. При  $\frac{G}{S}=160 \text{ кг/м}^2$  полет на этой высоте невозможен. Удлинение влияет так: при изменении его на 2 единицы скорость изменяется от 40 до 120 км/час. Мощность влияет так же, как и на 20 тыс. м. Грузоподъемный вариант имеет скорость при мощности  $> 1000$  НР от 650 до 750 км/час., при  $\frac{G}{S}=40 \text{ кг/м}^2$ ; при  $\frac{G}{S}=100$  и  $160 \text{ кг/м}^2$  полет на этой высоте невозможен.

Делаем вывод: скоростной стратоплан должен обладать большой нагрузкой на квадратный метр несущей поверхности и по возможности большим удлинением. Нагрузка на квадратный метр крыла должна быть такой, какой это допускается, во-первых, возможностью достижения данной высоты полета и, во-вторых, посадочной скоростью. Увеличение грузоподъемности уменьшает скорость и потолок, и появляется необходимость в уменьшении нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  и в увеличении удлинения.

Мы провели анализ возможных достижений, приняв лобовое сопротивление самолета весьма небольшим. Как это явствует из ранее приведенных графиков фиг. 4 и 6, увеличение этого сопротивления снижает показатели самолета. Поэтому стратоплан должен обладать ультраоблизообразными формами и давать малый лоб. Какова должна быть схема стратоплана? Начнем с высотного типа.

Малая нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  крыла характеризуется большим крылом, и профильное сопротивление крыла в общем „лбе“ является доминирую-

щим, поэтому возможно, что крыло тонкого профиля подкосного или расчалочного типа дает лучший эффект, чем крыло свободнонесущее, более толстого профиля. Возможно, что биплан будет не так уж плох, хотя влияние крыльев друг на друга вызывает ухудшение работы крыла, и эквивалентное удлинение биплана бывает обычно низко, нам же требуется большое удлинение. Вредное сопротивление частей самолета по сравнению с профильным сопротивлением крыла невелико, почему в стратоplane высотного типа можно, повидимому, шасси не убирать, заключив его в обтекатели.

Конечно, если убирание шасси легко осуществимо, то следует этим воспользоваться. Интерференция крыла с другими частями самолета минимальная в том случае, когда крыло к фюзеляжу крепится в середине. Поэтому схема высотного стратоplane нам мыслится в виде расчалочного или подкосного моноплана со средним расположением крыльев (отсюда удобнее расчалочная схема). Шасси заключено в обтекатели, и к нему крепятся расчалки крыла (тип современного гоночного самолета). Фюзеляж круглого поперечного сечения с плавными переходами к крылу (fillet'ы).

Моторы закопотированы, радиаторы, если таковые нужны, крыльевого типа, чтоб не создавать лишнего сопротивления (по примеру гоночных самолетов шнейдеровских состязаний). Крыло, для облегчения веса, суживающееся к концам и обладающее большим удлинением.

В стратоplane скоростного типа удельная нагрузка на крыло велика, отсюда само крыло мало, и лобовое сопротивление всех деталей самолета по сравнению с профильным сопротивлением крыла велико. Следовательно, уменьшать сопротивление этих деталей здесь очень важно, тем более, что на скорость это оказывает сильное действие, благодаря еще сравнительно небольшому индуктивному сопротивлению. Правда, на высотах индуктивное сопротивление на тех скоростях чувствительнее, чем у земли (из-за больших углов атаки при тех скоростях), но все же не велико.

Поэтому для стратоplane этого типа, повидимому, предпочтительнее моноплан свободнонесущего типа со средним расположением крыла, как дающий минимальную интерференцию. Шасси должно быть убираться типа. Фюзеляж круглый в поперечном сечении с плавными переходами к крылу (fillet'ы). Моторы, капоты и радиаторы, как и в предыдущем типе. Крыло переменной хорды и профиля, по возможности, с большим удлинением. В целях более удобного сопряжения с фюзеляжем и удобством убирания шасси крыло может быть и низко расположенного типа, с непременным условием тщательно продумать вопросы уменьшения интерференции (при современном состоянии аэродинамики это возможно).

Что касается третьего типа, то говорить о схеме его еще преждевременно.

Так как удлинение крыльев должно быть большим в обоих типах то необходимо проектировать такую форму крыла в плане и давать такие профили, чтоб обеспечить при данной прочности минимум веса и минимум профильного сопротивления крыла.

Для скоростного типа скорость такова, что сжимаемость воздуха дает себя чувствовать, а потому для профилей должны выбираться дужки, хорошо работающие на больших скоростях.

Скорость звука, по мере поднятия на высоту, падает, и, выражая ее в км/час., можно привести следующую таблицу:

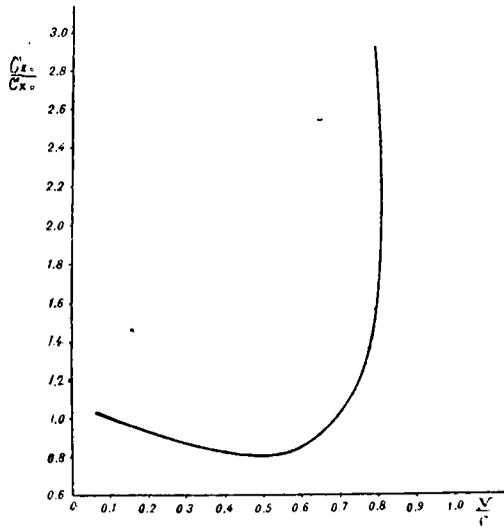
Высота в метрах	0	5000	10000	15000	20000	25000	30000
Скорость звука в км/час.	1210	1140	1080	1050	1048	1046	1045

Сопротивление при скорости, начиная от 40% скорости звука и выше, начинает возрастать благодаря эффекту сжимаемости. Начиная же с скоростей от 10% скорости звука, сопротивление падает благодаря увеличению Рейнольдсова числа. В американском журнале „Journal of the Aeronautical Sciences“, v. 1, № 1 за 1934 г. в статье „Effect of Compressibility on High Speed Flight“ приведены результаты опытов над моделью самолета, иллюстрирующие эффект Рейнольдсовского числа и сжимаемости при больших скоростях. Не соглашаясь с автором статьи относительно возможности реального осуществления самолета, обладающего указанными им параметрами, мы, тем не менее, воспользуемся данными относительно

увеличения минимального сопротивления (вредного + профильного) с увеличением скорости. Взяв из фиг. 3 указанной статьи относительные скорости  $\left(\frac{\text{скорость}}{\text{скор. звука}}\right)$  и относительное сопротивление  $\left(\frac{\text{минимальное сопротивление}}{\text{минимальное сопротивление при скорости в } 100\% \text{ от звуковой}}\right)$ , мы построили график (фиг. 14), который и служит нам для расчетов с учетом сжимаемости и Рейнольдсова числа.

Для иллюстрации мы построили кривые Пено для некоторого самолета, обладающего следующими параметрами:  $G_r = 300$  кг,  $h = 3$  ч.,  $N = 1500$  HP, тогда по графику 9  $G = 6500$  кг., полагаем  $\frac{G}{S} = 100$  кг/м<sup>2</sup>, по графику 7  $\frac{G}{\sigma_1} = 7500$  кг/м<sup>2</sup>, откуда  $\sigma_1 = 0.866$  м<sup>2</sup>;

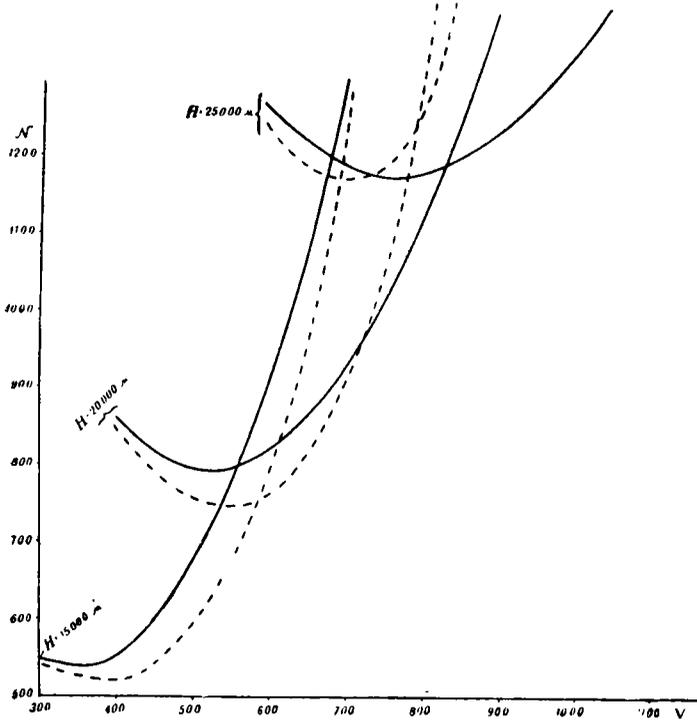
$$S = \frac{6500}{100} = 65 \text{ м}^2.$$



Фиг. 14. Отношение minimum'a сопротивления самолета к таковому же при нормальных условиях в зависимости от отношения скорости к скорости звука (с учетом Рейнольдсова числа и сжимаемости воздуха).

$\frac{G}{N} = 4.33$  кг/НР. Миним. коэффициент сопротивления

$$C_{x_0} = \frac{0.64 \sigma_1}{S} = \frac{0.64 \cdot 0.866}{65} = 0.00852;$$



Фиг. 15. Изменения в кривых Пено, учитывая сжимаемость воздуха и Рейнгольдсовы числа на больших скоростях

— нормальный расчет    - - - с учетом Рейнгольдова числа и сжимаемости.

по графикам фиг. 11, 12 и 13 находим, что скорости без поправок были бы 680 км/час., 855 км/час. и 930 км/час. на высотах 15 тыс. м, 20 тыс. м и 25 тыс. м соответственно. Задаемся несколькими  $v$  и вычисляем

$$C_y = \frac{8 \cdot 12.96 G}{\Delta \cdot v^2 S} = \frac{10368}{\Delta v^2}; \quad [50]$$

индуктивное сопротивление с частью профильного, которое меняется с углами атаки, выражается формулой

$$C_i = \frac{2}{\pi \lambda} \cdot \frac{1}{e} \cdot C_y^2. \quad [51]$$

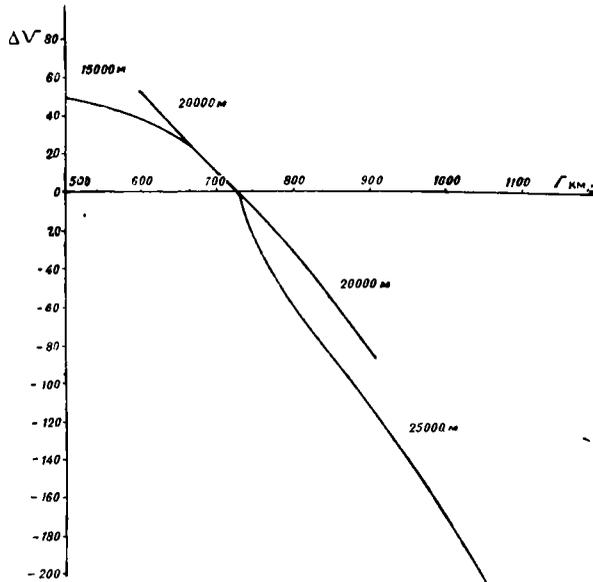
Полагая  $\lambda = 8$  и  $e = 0.9$  имеем  $C_i = 0.0885 C_y^2$ . Полное сопротивление

$$C_x = C_i + C_{x_0}, \quad [52]$$

где

$$C'_{x_0} = \left( \frac{C_{x_0}}{C_{x_0'}} \right) \cdot C_{x_0} = 0.00852 \left( \frac{C_{x_0}}{C_{x_0'}} \right) \quad [53]$$

$\frac{C_{x_0}}{C_{x_0'}}$  берется по графику фиг. 14 по значению  $\frac{v}{C}$  (где  $C$  — скорость звука на данной высоте).



Фиг. 16. Поправки к расчетным скоростям, благодаря Рейнольдсову числу и сжимаемости.

Далее, необходимая мощность находится по формуле

$$N = \frac{C_x}{C_y} \cdot G \cdot \frac{v}{3.6 \cdot 7.5} = \frac{G_v}{270} \cdot \frac{C_x}{C_y} \quad [54]$$

Кривые Пено, построенные нами, вычислены для высот 15 тыс., 20 тыс. и 25 тыс. м в случае непринятия в расчет изменения Рейнольдсовых чисел и сжимаемости воздуха и в случае учета этих факторов (фиг. 15). Как видно, эффект на скоростях выше 700 км/час. довольно значителен. Для нашего примера имеем:

Высота	15 000	20 000	25 000
Скор. без учета R, N и сжим. .	680	855	930
Скор. с учетом R, N и сжим. . .	696	796	800

Вообще говоря, скорости, если они ниже 700 км/час. и выше 120 км/час., несколько возрастают, далее же начинают сильно падать. На фиг. 16 мы приводим поправки, которые необходимо вводить, учитывая

Рейнольдсовы числа и сжимаемость воздуха. Вводя эти поправки, приводим таблицу скоростей, о которых можно говорить более или менее реально с точки зрения анализа параметров самолета.

Высота	Т и п	$\frac{G}{S} = 40 \text{ кг/м}^2$	$\frac{G}{S} = 100 \text{ кг/м}^2$	$\frac{G}{S} = 160 \text{ кг/м}^2$
15 000	Малая грузоп. . . . .	550—600	600—710	640—750
	Больш. грузоп. . . . .	460—550	460—640	550—640
20 000	Малая грузоп. . . . .	650—710	710—820	740—840
	Больш. грузоп. . . . .	550—650	680—710	—
25 000	Малая грузоп. . . . .	700—790	790—870	—
	Больш. грузоп. . . . .	650—730	—	—

#### ВЕСОВАЯ ПРОБЛЕМА В СТРАТОПЛАНЕ

Разбивка весов является одним из самых трудных, пожалуй, вопросов. Нам почти ничего не известно о тех добавочных весах, которые появляются на стратоплане за счет условий их работы в стратосфере. Вопрос этот можно исследовать больше с качественной стороны, чем с количественной. О приблизительных цифрах можно только догадываться и строить на этот счет гипотезы.

В предыдущем анализе мы приняли, что вес конструкции (без мотора) составляет 50% от полного полетного веса (вместо нормальных 44% в среднем) и что удельный вес мотора с нагнетателями равняется 1.2 кг/НР.

Посмотрим более подробно, из чего складывается вес конструкции (для 1 и 2 типов стратоплана).

1) Крыло. Вес крыла зависит от размаха, удлинения, нагрузки на м<sup>2</sup> и коэффициента перегрузки, а также и от толщины крыла и его формы в плане. Нам кажется, что нет оснований ожидать для стратопланов отличных весовых характеристик для крыла, по сравнению с существующими самолетами тропосферы. При наличии большого удлинения вес крыла может дать некоторый прирост в весе, но вряд ли удлинения будут сильно отличаться от удлинений современных самолетов. Поэтому будем считать, что вес крыла в процентном отношении к весу самолета остается без изменений.

2) Фюзеляж. Нормальный фюзеляж с оборудованием составляет около 15% от веса (полетного) самолета. На стратоплане он должен весить значительно больше, ибо в фюзеляже находится кабина, которая должна быть герметической и сопротивляться давлению воздуха изнутри. В кабине должны быть сделаны добавочные детали конструкции, как-то: всякого рода лазы, люки, сальники для пропуска через стенку органов управления, отопления, вентиляции или устройство кислородных приборов и поглотителей углекислоты и т. п. Поэтому вес фюзеляжа должен довольно значи-

тельно возрасти. Не имея опыта и не имея весовых данных деталей конструкции Фармана и Юнкера, трудно говорить о том весе, который должен быть у стратоплана. Ориентировочно примем, что фюзеляж на стратоплане будет составлять 20% от полетного его веса, т. е. мы приняли, что вес фюзеляжа с оборудованием возрастет на 25%.

3) Хвостовое оперение. Изменений в весе оперения ожидать не приходится, поэтому примем, что вес его составляет нормальный процент от полетного веса самолета.

4) Посадочные приспособления. Шасси на стратоплане должно весить несколько больше обычного за счет двух причин: а) наличия подъемного механизма (обязательного в скоростном типе) и б) большой высоты шасси, необходимой из-за большого диаметра винта. Однако увеличение веса шасси не должно быть велико. Примем, что вес его возрастает приблизительно на 10%.

5) Управление. Управление ничем не отличается от нормального, а поэтому и весит, естественно, столько же. Принимаем вес управления остающимся без изменений.

6) Винт. Вес винта должен довольно сильно возрасти, так как винт на стратоплане должен обладать механизмом регулирования шага, быть большого диаметра и, повидимому, обладать количеством лопастей большим, чем две. Принимаем увеличение веса винта на 50%.

7) Моторное хозяйство (без мотора). Отнеся компрессионное устройство к мотору, мы в этом разделе рассматриваем лишь бензиновую и масляную систему, управление мотором, охлаждающую систему, пусковые приспособления и т. д. Ожидать увеличения веса этой части конструкции самолета не приходится. Принимаем вес прежним.

В нижеприводимой таблице даем процентное соотношение весов конструкции по отношению к полетному весу для нормальных монопланых самолетов и для стратопланов, согласно замечаний, сделанных выше.

Веса в % от полетного веса

Наименование деталей самолета	Норм. самолет		Стратоплан	
	От и до	Средн.	От и до	Средн.
Несущие поверхности . . . . .	13 — 17	15	13 — 17	15
Фюзеляж с оборудованием . . . . .	14 — 18	16	18 — 22	20
Хвостовое оперение . . . . .	1 — 2	1,5	1 — 2	1,5
Посадочное приспособление . . . . .	5 — 6	5,5	5,5— 6,5	6
Управление . . . . .	0,5— 1,5	1	0,5— 1,5	1
Винт . . . . .	1,5— 2,5	2	2,5— 3,5	3
Моторное хозяйство (без мотора) . .	3 — 4	3,5	3 — 4	3,5
Итого . . . . .	38 — 51	44,5	43,5— 56,5	50

Полный вес самолета  $G$  складывается из веса полной нагрузки, веса мотора и веса конструкции, т. е.

$$G = P + G_m + G_k, \quad [55]$$

где  $P$  — вес полной нагрузки, причем

$$P = G_r + G_n; \quad [56]$$

$G_n$  — вес полезной нагрузки,  $G_r$  — вес горючего,  $G_m$  — вес мотора,  $G_k$  — вес конструкции. Ранее мы ввели обозначения

$$K_1 = \frac{G_k}{G}; \quad [39]$$

$$K_2 = \frac{P}{G} \quad [40]$$

и обозначим еще

$$K_3 = \frac{G_m}{G}. \quad [57]$$

Вес мотора можно определить, исходя из удельного веса его

$$p = \frac{G_m}{N}. \quad [58]$$

Мы считаем, что стратопланнй мотор за счет добавочных устройств, поддерживающих его мощность, будет весить, по крайней мере, в 2 раза больше нормального, т. е. вес мотора надо увеличить на 100%. Такое увеличение веса мотора получено, напр., на стратоплане Фармана. В настоящее время наиболее легким мотором является Фиат As-6, у которого  $p = 0.328$  кг/HP. Нормально же в современных авиомоторах  $p = 0.6$  —  $0.8$  кг/HP (я беру лучшие цифры, так как есть моторы, обладающие  $p = 1.0$  и выше).

Считая, что для стратоплана мотор будет конструироваться по последнему слову моторной техники, примем за исходную цифру  $0.6$  кг/HP. Увеличив ее, согласно предыдущему, на 100%, получаем  $p = 1.2$  кг/HP. Тогда весовое равенство можно переписать в виде:

$$G = K_1 G + K_2 G + pN. \quad [41]$$

Приняв  $K_1 = 0.5$  (см. таблицу весов) и  $p = 1.2$  кг/HP, найдем

$$K_2 = 0.5 - \frac{1.2}{N}. \quad [59]$$

Соотношение полной нагрузки к полетному весу зависит от нагрузки на мощность.

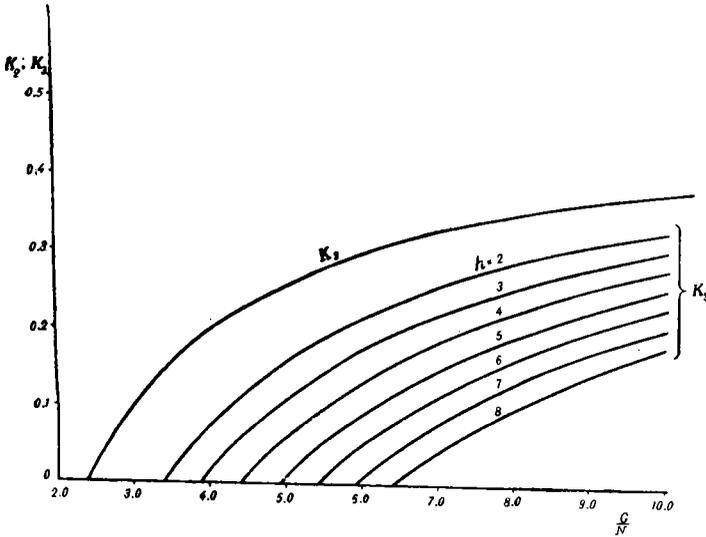
На фиг. 17 нанесена зависимость  $K_2$  от  $\frac{G}{N}$ . Ф-ла (59) и график (фиг. 17) показывают, что  $\frac{G}{N}$  меньше, чем  $2.4$  кг/HP не может иметь места, так как тогда стратоплан не может нести никакой нагрузки. Из графика видно, что отношение нагрузки к полетному весу (величина  $K_2$ ) вообще в стратопланах величина довольно низкая, значительно ниже, чем для обычных самолетов, где  $K_2$  обычно находится в пределах  $0.4$ — $0.5$ .

Далее весовую формулу можно изобразить еще так:

$$G = K_1 G + pN + qhN + K_3 G, \quad [60]$$

где  $q$  — расход горючего на л. с. в час,  $h$  — число часов полета. Приняв  $K_1 = 0.5$ ,  $p = 1.2$  кг/HP,  $q = 0.25$  кг/л. с. час., найдем для  $K_3$  такое выражение

$$K_3 = 0.5 - \frac{1.2 + 0.25h}{\frac{G}{N}}. \quad [61]$$



Фиг. 17. Зависимость весовых коэффициентов  $K_2$  и  $K_3$  от  $\frac{G}{N}$ .

По этой формуле вычислено значение  $K_3$  для разных  $h$  и  $\frac{G}{N}$ , и кривые изображены на том же графике, где  $K_2$  (фиг. 17).

Как видно, миним. значение  $\frac{G}{N}$  зависит от  $h$ , и чем  $h$  больше, тем это предельное значение  $\frac{G}{N}$  больше.  $K_3$  дает отношение полезной нагрузки к полетному весу и, как показывает график, это отношение для стратопланов весьма невелико.

Надо заметить, что нами не учтено горючее, необходимое для приведения в действие компрессоров, которое, следовательно, входит в полную нагрузку, тем самым снижая действительную полезную нагрузку. Чтоб получить чистую полезную нагрузку, надо поступить следующим образом: пусть мощность мотора  $N$ , мощность компрессоров  $N_1$ , расход горючего для мотора  $q$  кг/л. с. час., для компрессоров  $q_1$  кг/л. с. час.,  $h$  — число часов полета. Тогда пользоваться графиком 17 надо, беря не это  $h$ , а некоторое другое  $h_1$ , вычисляемое по формуле

$$h_1 = h \left( 1 + \frac{q_1 N_1}{q N} \right). \quad [62]$$

Если  $N_1=0$ , тогда  $h_1=h$ , если  $N_1=N$ , тогда, при  $q=q_1$ , будем иметь  $h_1=2h$ .

Так как мы видели из предыдущих расчетов, что величина  $\frac{G}{N}$  должна быть малой, то можем теперь сделать заключение о невозможности длительного полета на стратопланах и о очень малой практически возможной грузоподъемности их. Означенное, конечно, относится только к стратопланам, оборудованным бензиновым двигателем внутреннего сгорания.

Применение паровой турбины дает некоторые надежды на получение более благоприятных весовых характеристик и повышение грузоподъемности. Еще больше надежд можно возлагать на реактивные двигатели.

### МАТЕРИАЛЫ И ПРОЧНОСТЬ

При конструировании стратоплана неизбежно должен встать вопрос о материалах для его конструкции.

Подробно исследовать этот вопрос нам не представляется возможным отчасти из-за недостатка времени, отчасти из-за неимения соответствующих данных. Ниже приводим весьма кратко несколько общих соображений на этот счет.

1) **Дерево.** Как известно, дерево сильно реагирует на изменение атмосферных условий. Изменение температуры и влажности вызывает изменение механических качеств дерева, коробление, появление трещин и т. д. Условия работы стратоплана чрезвычайно неблагоприятны для возможности применения в нем дерева как строительного материала. Действительно, подъем с земли в стратосферу и обратный спуск сопутствуются резкими переменами в температуре, давлении и влажности, и деревянные детали могут получить ряд деформаций и изменений качеств, благодаря которым они уже не будут выполнять полагающиеся им функции. Таким образом, мы должны со всей решительностью отказаться от дерева даже в первых, чисто экспериментальных стратопланах.

**Сталь.** Температура в  $-50^{\circ}$ — $-60^{\circ}$ , которая царит в стратосфере, не вызывает сколько-нибудь заметных изменений в сталях. Механические качества их и другие свойства останутся прежними. Возможность сварки доказана конструкцией гондолы стратостата „Осоавиахим“. Мы считаем, что сталь, особенно высоко-прочные сорта ее, как нержавеющая, хромо-молибденовая и др., должны быть прекрасными материалами для строительства стратопланов.

**Дуралюминий.** Конструкции гондолы стратостата „СССР—1“, гондол Пикара и Сеттля были дуралюминиевые, что доказывает возможность использования этого материала в условиях стратосферы. Температурные условия низших слоев стратосферы не оказывают заметных влияний на структуру и качества дурала. Производство герметической кабины, клепанной из листов дурала, вполне возможная задача. Можно

считать, что дураль, наряду со сталью, должен являться одним из основных конструктивных материалов для стратопланов.

**Электрон.** Не имея никаких данных о свойствах электрона при низких температурах, нельзя предугадывать возможность его применения. Нам думается, что нет никаких причин, препятствующих применению электрона для конструкции стратопланов, если не целиком, то частично. Возможно, что в целях облегчения конструкции в погоне за улучшением грузоподъемных качеств стратоплана электрон или другие магниевые сплавы займут почетное место.

**Пластмассы.** Сказанное относительно электрона можно перенести целиком и на этот новый тип авиоматериала.

**Полотно.** Полотно или другие виды материй, применяемые на самолетах, вряд ли смогут быть применены на стратопланах, так как влияния переменных атмосферных условий могут быть для полотна довольно чувствительными. С другой стороны, большая скорость полета требует отказа от полотна. Поэтому, нам думается, что обшивка стратопланов не должна быть полотняной и, как мы указывали ранее, дерево не желательно, поэтому обшивка должна быть металлической. Имея же металлическую обшивку, с весовой точки зрения выгодно сделать ее работающей, разгрузив и тем самым облегчив внутреннюю структуру стратоплана. Отсюда конструкция крыла мыслится с работающей гладкой обшивкой, типа ячеисто-образного крыла (по типу самолетов Нортроп, Дуглас, Вульти и др.). Фюзеляж мыслится металлическим монококком круглого поперечного сечения.

**Резина.** Как известно, резина весьма плохо работает на низкой температуре. Резина становится хрупкой, неэластичной, и нельзя получить от нее то, что обычно получают от резины. Мы считаем, что резина должна быть изгнана из конструкции стратопланов. Амортизаторы должны быть не резиновыми. Желательно масляные, но так как при низкой температуре масло может замерзнуть, то придется предусматривать какой-то подогрев амортизационных стоек шасси. Особо стоит вопрос о пневматиках. Избыток давления не страшен, так как прибавляется всего лишь одна атмосфера (maxim.). Влияние же низких температур на камеры и покрышки более сложно, и здесь предстоит специальное исследование.

**Проволочные расчалки и тросы.** Здесь приходится думать не о самом материале, который, вообще говоря, должен вести себя хорошо (сталь), а о температурных напряжениях. Посмотрим, что в этом отношении будет получаться.

Пусть мы имеем стальную расчалку и пусть у земли температура была  $+20^{\circ}\text{C}$ . Приняв, что в стратосфере температура равна  $-56.5^{\circ}\text{C}$ , имеем разность температур  $76.5^{\circ}\text{C}$ . Для стали коэффициент линейного расширения  $\alpha$  равен  $0.000011$  и модуль упругости  $E=2.1 \cdot 10^6$ . Температурные напряжения будут, следовательно,

$$\sigma_t = \alpha \Delta t \cdot E = 0.000011 \cdot 76.5 \cdot 2.1 \cdot 10^6 = 1790 \text{ кг/см}^2. \quad [63]$$

Временное сопротивление стали, идущей на стальные расчалки

$$R = 10\,000 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. температурные напряжения дают 17.9% от разрушающих.

Если предварительная затяжка равна 25% от разрушающих напряжений, то, при наличии термических напряжений, получим 42.9%. Округляя и считая термические напряжения в 20% от разрушающих, получим напряжение в 45% от разрушающих, что несомненно велико. Отсюда необходимо предварительную затяжку делать меньше, и у земли конструкция не будет обладать достаточной жесткостью. Мы считаем, что предпочтительнее не иметь расчалок, ставя обтекаемые подкосы, или делать крыло свободнонесущим. Внутри конструкции следует избегать применения проволочных и тросовых расчалок. Управление предпочтительнее делать жесткого типа.

**Вопросы прочности.** Крылья, хвостовое оперение, шасси, управление и другие детали в случае стратоплана 1-го типа (высотного) должны рассчитываться на те же нагрузки, как и обычные самолеты (с теми же перегрузками и тем же распределением нагрузок). Что касается фюзеляжа, то наличие кабины, непроницаемой для воздуха, усложняет задачу.

Стенки кабины испытывают внутреннее давление, равное 0.8—1.0 атм., и, введя коэффициент безопасности 1.5, надо расчет вести на 1.5 атм. внутреннего давления. Для облегчения веса выгодно оболочку кабины разгрузить от нагрузок, действующих на фюзеляж, т. е. конструкцию фюзеляжа и кабины делать отдельными. В этом случае собственно фюзеляж должен рассчитываться на обычные расчетные случаи при обычных перегрузочных коэффициентах, а кабина должна рассчитываться только на указанное выше давление воздуха. Так как по габаритным условиям сделать кабину наиболее выгодной формы (сферической) нельзя, то надо делать ее телом вращения (цилиндр) с сферическими днищами. Кабина должна иметь каркас из шпангоутов и стрингеров и быть покрыта легкой непроницаемой металлической обшивкой. В случае инерционных сил, вызывающих 5—6-кратные перегрузки, крепление кабины к фюзеляжу должно происходить помощью специальных амортизационных устройств.

Мы считаем, что для высотного типа стратоплана специальных норм прочности устанавливать не следует, исходя из тех соображений, что хотя скорости и увеличиваются, но благодаря меньшей плотности воздуха все выражения и другие фигуры будут происходить по большим радиусам, а, следовательно, перегрузки не должны отличаться от нормальных.

Для стратопланов второго и особенно третьего типа выработка специальных норм прочности становится необходимой. Распределение нагрузок на крылья и другие элементы самолета при сверхзвуковых и дозвуковых, но близких к ним скоростям, совершенно отлично от общепринятых для нормальных самолетов. Поэтому нормы прочности для стратопланов

этих типов должны в сильнейшей степени отличаться от существующих. В случае реактивного двигателя необходимо расчет вести на вибрацию. Вопрос этот в настоящее время еще только намечается, и указать какое-нибудь направление в смысле составления норм прочности не представляется возможным.

### КАБИНЫ СТРАТОПЛАНОВ

Принципиальные схемы кабин на стратопланах могут быть следующих типов: 1) Кабина совершенно герметическая, внутри которой условия жизни людей поддерживаются помощью кислородных приборов и поглотителей углекислоты. Кабины этого типа запроектированы на некоторых стратопланах, намеченных к постройке у нас в СССР и были осуществлены на всех стратостатах. 2) Кабина компрессионного типа, в которой условия жизни поддерживаются вентиляцией воздуха, помощью специального компрессора, забирающего наружный воздух, сжимающего его и подающего в кабину с нормальным давлением. По этой схеме сделан стратосферный самолет Фармана. Здесь трудность заключается в том, что трудно получить чистый воздух в кабине, он обычно бывает загрязнен маслом. Кроме того, при сжатии воздуха выделяется большое количество теплоты и приходится заботиться об охлаждении попадающего в кабину воздуха. Отказ компрессионного устройства грозит гибелью людям в кабине, отсюда в этом типе кабины появляется необходимость иметь запасный баллон с кислородом. Все это вместе взятое должно утяжелить кабины второго типа.

Нам кажется, что на первых шагах завоевания стратосферы на стратопланах предпочтительнее герметические кабины, в дальнейшем же может оказаться выгоднее перейти на кабины компрессионные. Что касается особых требований к конструктивному оформлению кабин, то они сводятся в основном к следующему.

1) Необходимо проектировать двери или лазы в кабину с учетом наилучшей обеспеченности выхода, а не входа.

2) В целях безопасности, при многоместной кабине желательно разделение ее на отсеки, герметически отделенные один от другого (по типу водонепроницаемых отсеков в лодках гидросамолетов или в морских судах). Желательно делать самостоятельный выход из каждого отсека, с расчетом 3—4 человека на одни двери.

3) Конструкция дверей или лазов должна быть такого типа, чтоб открывать их можно было наружу, а не внутрь. Необходимо замки делать с расчетом быстрого открывания их. Желательна рычажная или шторная конструкция и не желательно применение болтов, барашек, винтов и т. д.

4) Кабина не должна быть слепой. Наличие стеклянных окон для обзора должно предусматриваться в конструкции кабины.

5) Проходы труб управления через стенку кабины должны обеспечивать герметичность. Применение сальников обязательно. Также через саль-

ники с обеспечением герметичности выводятся через стенку детали управления мотором, винтом, шасси и т. д.

б) Кабина должна иметь установки для поддержания необходимой температуры в ней (отопление и охлаждение) и влажности.

#### ПУТИ РАЗВИТИЯ И ВЫВОДЫ

Итак, какие пути развития стратопланов можно наметить на сегодняшний день?

Реально можно ожидать в ближайшее время лишь кратковременные полеты в стратосфере, главным образом, с чисто научной целью. Устройство самого стратоплана не представляет принципиальных затруднений главное препятствие в осуществлении винтомоторной группы. Как только эта проблема в той или другой степени будет разрешена, сразу же появится стратоплан высотного типа. На нем, не говоря о многих вопросах научного порядка, надо будет разрешить вопросы материалов, прочности, рационального устройства кабины, отопления и т. д.

Намечающуюся схему мы уже указали; теперь дополним предполагаемый тип стратоплана указанием на то, что сконструирован он должен быть как цельно-металлический с работающей обшивкой крыла и фюзеляжа.

Как мы видели, грузоподъемность получается очень незначительной, а потому проблема грузоподъемности за счет снижения веса конструкции и веса силовой установки будет центральной при эволюции стратоплана от высотного к скоростному. Применение новых сверхлегких материалов, хорошо работающих в условиях стратосферы — также путь к повышению грузоподъемности.

Теоретическое и экспериментальное изучение аэродинамики больших скоростей и освоение реактивных двигателей даст нам возможность перейти к сверхскоростным стратопланам, летающих с очень большими скоростями на очень больших высотах с большой коммерческой нагрузкой.

Исходя из проделанного анализа, от стратопланов высотного типа практического применения ожидать не приходится — их сфера деятельности научные наблюдения. От второго типа уже можно ожидать практических результатов — в Гражданском воздушном флоте, в качестве почтовых экспрессов и срочных экспрессных перевозок малого количества пассажиров. Военное применение здесь не рассматривается, отсылая интересующихся к специальным работам в этой области.

Третий тип мыслится как практически пригодное средство сообщения на дальние расстояния с минимальной затратой времени на перелет. Этот тип стратопланов должен обслуживать регулярные мировые воздушные линии.

Для того, чтобы достичь указанных выше практических результатов, необходима громадная теоретическая и экспериментальная работа. Нужно разрешить последовательно следующие вопросы:

1) мотор с мощностью, не изменяющейся с высотой, 2) рациональная конструкция стратосферического винта регулируемого шага, 3) конструк-

ция кабины стратоплана, в) разработка аэродинамического расчета, 5) проблема больших скоростей, 6) проблема реактивного двигателя, 7) вопросы конструктивных материалов, 8) вопросы прочности стратопланов, 9) решение проблемы грузоподъемности.

Пути разрешения этих основных вопросов и целого ряда второстепенных, здесь не указанных, лежат в серьезной и глубокой проработке их в плановом порядке каким-нибудь из высоко-авторитетных учреждений, сосредоточив в нем все силы, разрозненные теперь.

В заключение отмечу, что путей разрешения разного рода вопросов может быть несколько, например: вопрос о поддержании мощности мотора постоянной может быть решен или мотором с нагнетателем, или паровой турбиной, или применением такой моторной установки, когда один из моторов работает у земли на винт, по мере же поднятия на высоту, все большую и большую часть своей мощности отдает компрессорной установке, и на известной высоте работает только на компрессор, который питает воздухом второй мотор. Этот последний у земли работает плохо, за счет плохого к. п. д. винта, на высоте же винт дает макс. к. п. д., и мотор полностью отдает свою мощность. В итоге мощность самолета остается все время почти без изменений. Указанный принцип был положен в проект стратоплана НИАИ. Конечно, здесь требуется очень много исследований, но приведенный пример показывает, что решений вопроса может быть несколько.

Анализ, который я проделал, должен рассматриваться лишь как первое грубое приближение, и я надеюсь, что проделанная работа, в соединении с рядом других работ, принесет некоторую, пусть небольшую, пользу в деле завоевания стратосферы.

В заключение приношу глубокую благодарность проф. Г. Г. Ростовцеву, доц. Л. И. Гикса и инж. В. Я. Крылову за ряд ценных указаний по отдельным вопросам.

#### ДОПОЛНЕНИЕ

В прочитанном мною докладе не был приведен анализ скороподъемности самолета и наиболее выгодной высоты. Так как оба эти вопроса представляют некоторый интерес, то приведем вкратце их определение при тех же предположениях относительно винтомоторной группы, как это было сделано в докладе. Наиболее выгодной высотой называется высота, при которой максимальная скорость самолета совпадает с наиболее выгодной скоростью (полет при максимальном качестве). Из графиков (фиг. 1 и 2) можно найти зависимость  $\frac{v_{mh}}{l_s l_t}$  от  $\Delta$  для каждой высоты.

Наиболее выгодная скорость на любой высоте, согласно Oswald'у, находится по формуле:

$$v_k = 10.8 \frac{(l_s l_p)^{\frac{1}{4}}}{\Delta^{\frac{1}{2}}}; \quad [64]$$

пользуясь же значением  $\Lambda$  согласно формуле [5], легко найти выражение

$$\frac{v_k}{l_s l_t} = \frac{10.8}{\frac{1}{\Delta^2} \cdot \Lambda^{\frac{3}{4}}}, \quad [65]$$

которое дает возможность найти зависимость  $\frac{v_k}{l_s l_t}$  от  $\Lambda$  для каждой высоты. Пользуясь указанными зависимостями, легко изобразить кривыми зависимость между  $\frac{v_k}{v_{mh}}$  и  $\Lambda$  для разных высот. Когда эти кривые пересекут ось абсцисс, т. е. когда будет

$$\frac{v_k}{v_{mh}} = 1, \quad [66]$$

тогда удовлетворяется условие для наивыгоднейшей высоты, и мы, следовательно, имеем отсюда зависимость между  $\Lambda$  и наивыгоднейшей высотой  $h$ , которую и можно изобразить графически. Из графика же фиг. 2 можно найти соответствующие значения

$$R_{vh} = \frac{v_{mh}}{v_m}, \quad [67]$$

которые позволяют построить кривую  $R_{vh}$  в зависимости от  $\Lambda$ . Все указанные кривые нами построены, но по техническим причинам здесь не приводятся. Согласно этому графику (фиг. 2) и данным, приведенным в докладе для 11 современных самолетов, нами составлена следующая таблица:

№	С а м о л е т	$h$	$R_{vh}$	$v_{mh}$
1	Lockheed „Orion“ . . . . .	21 700	1.52	775
2	Lockheed „Electra“ . . . . .	20 000	1.41	708
3	Douglas DC-1 . . . . .	19 200	1.36	558
4	Vultee V-1 . . . . .	20 400	1.43	701
5	Northrop „Delta“ . . . . .	20 900	1.46	716
6	Boeing 247 . . . . .	20 500	1.44	579
7	Fokker F-XX . . . . .	21 400	1.50	624
8	Bernard 80 . . . . .	21 900	1.535	594
9	Dewoitine D-500 . . . . .	26 100	1.90	846
10	Hanriot LH-130 . . . . .	25 900	1.825	771
11	Dewoitine D-430 . . . . .	21 600	1.52	524

Можно заметить, что наивыгоднейшая высота  $h$  получается меньше потолка  $H$  на 1000—2000 м.

Чтобы найти скороподъемность, надо найти зависимость между

$$\Delta \text{ и } R_{vc} = \frac{v_{ch}}{v_m}, \quad [68]$$

где  $v_{ch}$  — скорость при максимальной скороподъемности, а затем между самой скороподъемностью и  $\Delta$ .

Формулы, дающие указанную зависимость, пишутся в таком виде:

$$\frac{l_s l_t}{v_m} = 4.1 \Delta_0 \frac{-\frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vc}^2 \frac{\partial T_a T_v}{\partial R_{vc}} + 3 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^3 R_{vc}^4}{1 + 3 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vc}^4} \quad [69]$$

и

$$C_h l_t = \frac{75}{\Delta_0 R_{vc}} \left\{ T_a T_v \frac{\Delta}{\Delta_0} R_{vc} - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^3 R_{vc}^4 - \left[ 1 - \left(\frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 R_{vc}^4 \right] \frac{l_s l_t}{4.1 \Delta_0 v_m} \right\} \quad [70]$$

В этих формулах  $C_h$  — скороподъемность на данной высоте в м/сек. а остальные обозначения прежние. Пользуясь значениями  $T_a$  и  $T_v$  из формул [8], [15] и [16] и графиком (фиг. 1) находим по формуле [69] зависимость  $R_{vc}$  от  $\Delta$  для трех высот (0, 11 000 и 15 000 м). Далее, по формуле [70] находим для тех же высот зависимость между  $C_h l_t$  и  $\Delta$  и изображаем эту зависимость кривыми, здесь не приведенными.

Для приблизительного суждения о времени подъема на разные высоты возьмем самолеты №№ 1, 2 и 3, разобранные нами в качестве примеров в докладе в главе „Выбор основных параметров и схемы и анализ возможных достижений“.

Самолет № 1 — высотный, с мотором в 500 НР, с грузом в 500 кг и горючим на 4 часа.

Самолет № 2 — скоростной, с грузом в 400 кг, с горючим на 4 часа и с мощностью 1100 НР.

Самолет № 3 (из примера в конце указанной выше главы) имеет грузоподъемность 300 кг плотного груза, горючее на 3 часа и мощность мотора 1500 НР.

Для этих самолетов нами были найдены скороподъемности на разных высотах, построены кривые вертикальных скоростей по высотам и, наконец, по общим правилам были построены барограммы.

Результаты сведены в следующей таблице:

Самолет	$C_h$ -скороподъемность в м/сек.			Время подъема в минутах			
	у земли	на 11 000 м	на 15 000 м	на 5000 м	на 10000 м	на 15 000 м	на 20 000 м
№ 1	2.62	2.34	1.78	32.0	64.8	102.7	182.1
№ 2	3.29	3.43	3.17	24.8	48.8	73.3	103.6
№ 3	4.13	4.53	4.41	19.4	37.9	56.35	76.2

Как видно из этой таблицы, время подъема на 15 000 м колеблется от 1.0 до 1.5 час., на 20 000 м — от 1.25 до 3.0 час. При малой грузоподъемности стратопланов эти цифры мало обнадеживающие, так как на подъем придется расходовать большую долю горючего.

В заключение отмечу, что метод, мною примененный, позволяет решать задачу в общем виде и, при уточнении данных о весах, сопротивлениях, работе мотора на высотах и т. д., не представляет труда составить аналогичные графики для действительных условий. В докладе по моторам т. Бугров указал, что вес мотора определится приблизительно в 3.5 кг/HP. Если это действительно так, то это повлияет чрезвычайно неблагоприятно на все качества стратоплана, особенно на его грузоподъемность. Отсюда основная задача на сегодня — дать легкий мотор с большой высотностью.

---

В. И. ДУДАКОВ

## САМОЛЕТ СО СТАРТОВЫМИ РАКЕТАМИ КАК НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ РАКЕТНОГО СТРАТОПЛАНА

Стратоплан с реактивным двигателем является одним из наилучших решений вопроса о полете в стратосфере, так как у него отсутствует основной недостаток самолетов с винтомоторной группой — падение силы тяги двигателя с высотой; тяга, развиваемая ракетой, не только не уменьшается с высотой, но даже несколько возрастает, благодаря уменьшению противодействия.

Однако, несомненно, что летание на ракетах будет освоено не сразу, но пройдет несколько конструктивных этапов, которые, по мнению автора, будут следующими:

- а) самолет обычного типа со стартовыми ракетами,
- б) стратоплан с реактивным двигателем,
- в) летательный аппарат без крыльев, летящий независимо от воздуха, по законам движения брошенного тела.

Таким образом, самолет со стартовыми ракетами, служащими для сокращения времени и длины предвзлетного разбега, является первым этапом в освоении ракеты как двигателя для летательных аппаратов.

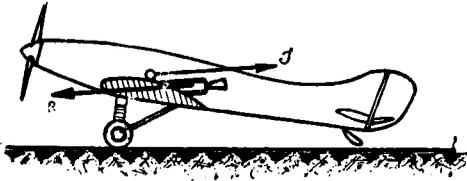
В процессе разбега на самолет со стартовыми ракетами действуют следующие силы: вес самолета, сила тяги винтов, подъемная сила и лобовое сопротивление несущих поверхностей, трение шасси о землю, реактивная сила ракет и, наконец, — сила инерции. Расчеты показывают, что из сил сопротивления преобладающее значение имеет сила инерции.

При работе самолета со стартовыми ракетами почти 95% работы, развиваемой ракетами, уходит на преодоление силы инерции. Поэтому вопрос о правильном размещении ракет на самолете является основным для успеха применения стартовых ракет, так как, если сила инерции и реактивная сила ракет не находятся на одной прямой, они составят пару, момент которой, вообще говоря, может превзойти все остальные моменты, действующие на самолет. Поместить ракеты на одной прямой с линией действия сил инерции нельзя, так как при этом получится положение неустойчивого равновесия и при малейшем препятствии возможен „капот“; равным образом нельзя установить ракеты и на линии действия тяги винтов, так как вынос шасси рассчитан лишь на силу тяги винтов.

Правильное расположение стартовых ракет на самолете показано на фиг. 1.<sup>1</sup> Здесь пара сил  $I, R$  (инерция — реактивная сила ракет) дают момент, прижимающий хвост самолета к земле, и тем способствуют устойчивости самолета против капотирования.

Выгоды применения стартовых ракет для самолета таковы:

а) самолет может взлететь при любом состоянии аэродрома (грязь, липкий тающий снег и т. п.), когда самолеты с одной лишь винтомоторной группой вынуждены бездействовать,



Фиг. 1.

б) возможен взлет сильно перегруженного самолета, отпадает надобность в специальной стартовой дорожке.

в) при нормальном весе и нормальном состоянии аэродрома разбег любого самолета может

быть сокращен до 15—20 м. Действительно, по уравнению равноускоренного движения

$$v = wt,$$

$$x = \frac{wt^2}{2},$$

где  $v$  — скорость,  $w$  — ускорение,  $t$  — время,  $x$  — пройденный путь. Учитывая, что большинство современных самолетов имеет скорость отрыва около 30 м/сек. (108 км/час.) и задаваясь ускорением 30 м/сек.<sup>2</sup> (около 3 г), давно уже допускаемым в катапультировании самолетов получаем

$$t = 1 \text{ сек.}$$

$$x = 15 \text{ м.}$$

Здесь нужно лишь отметить, что большое ускорение (3 г), испытываемое самолетом при действии ракет, не всякий самолет может воспринять без вреда для прочности. Поэтому уместно будет поставить вопрос о соответствующем изменении норм прочности крыла тяжелых самолетов, имея в виду, что всегда может явиться надобность снабдить тот или иной тяжелый самолет стартовыми ракетами. Это не вызовет больших конструктивных затруднений, так как в направлении хорды крыло обладает весьма большой жесткостью.

При установке стартовых ракет на самолет должны быть, кроме указанного, предусмотрены еще два обстоятельства:

а) ни одна деталь самолета не должна попадать в поток выхлопных газов ракет, так как вследствие большой скорости таковых указанная деталь будет сломана,

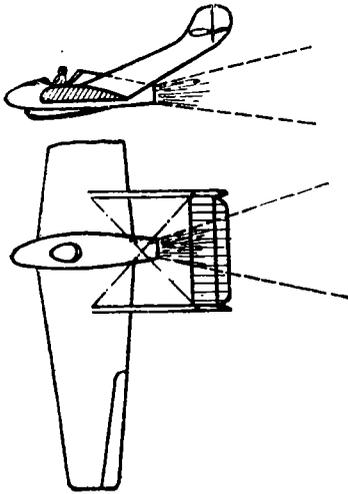
<sup>1</sup> К этой схеме автор пришел еще в 1930 г.

б) струя выхлопных газов ракет создает значительное возмущение окружающего воздуха (вихри) и, кроме того, по закону Бернулли, оказывает подсосывающее действие на близкие к ней поверхности.

Само собой разумеется, что при установке ракет на крыльях самолета, симметрично относительно фюзеляжа, должно быть предусмотрено устройство, обеспечивающее одновременное воспламенение и однообразное действие ракет. Что касается физиологического действия ракет на экипаж самолета, то сами по себе ракеты никакого действия на людей произвести не могут; человеческий организм отзывается лишь на ускорение.

Практика катапультирования самолетов показала, что кратковременное действие ускорения до  $4 g$  вполне переносимо. Если же действие ракет будет продолжительным, то не следует допускать ускорение более  $2 g$ .

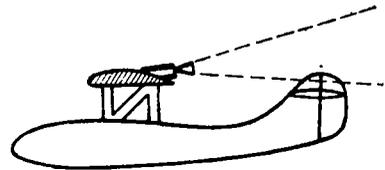
Переходя к вопросу о ракетном стратоплане, отметим прежде всего, как и в самолете со стартовыми ракетами, огромную важность правильной установки ракет. На фиг. 2 и 3 показаны неудовлетворительные схемы установки ракет. На фиг. 2 (самолет, предложенный М. Валье) ракеты установлены на верхнем крыле; в этом случае внецентренное расположение тяги ракет создаст настолько сильный клевок самолета, что горизонтальный полет станет невозможным. В схеме фиг. 3 (самолет итальянского конструктора Каттанео) подсосывающее действие струй ракет на горизонтальное оперение вызовет сильное кабрирование самолета, которое также затруднит поддержание горизонтального полета; кроме того, возможен бафтинг хвоста, укрепленного на 2 тонких балках.



Фиг. 3.

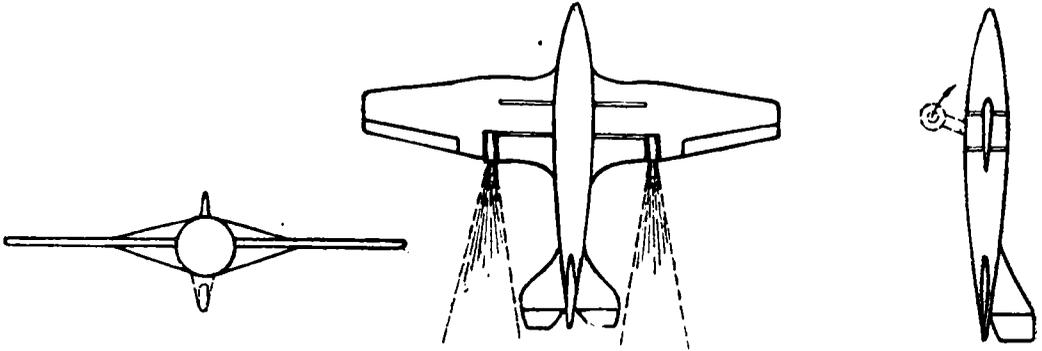
На основании сказанного приходим к схеме фиг. 4, основным достоинством которой является полная симметрия масс относительно линии действия ракет. Прочие особенности самолета (фиг. 4): тонкое расчленившееся крыло, фюзеляж круглого сечения, одноколесное убирающееся шасси по образцу самолета „Фарман“, участвовавшего в состязаниях 1933 г. на приз Дейча де ля Мер. Для облегчения управления самолетом желательна также и аэродинамическая симметрия самолета относительно оси ракет.

Схема бесхвостки для стратосферного ракетоплана не подходит, так как, во-первых, бесхвостка возможна лишь при толстом крыле, кото-



Фиг. 2.

рое совершенно негодно для сверхзвуковых скоростей по причине высокого лобового сопротивления и малого аэродинамического качества, во-вторых — устойчивость бесхвостки, вполне удовлетворительная на дозвуковых скоростях, сомнительна при сверхзвуковых скоростях. Схема



Фиг. 4.

„утки“ сейчас также нежелательна, так как нет никаких методов для расчета устойчивости ее на сверхзвуковых скоростях. Когда таковые методы появятся, возможно, что схема „утки“ станет основной для ракетоплана. В заключение отметим, что стартовые ракеты с успехом могут быть применены и для стратоплана с обычной винтомоторной группой для облегчения взлета его при значительной перегрузке перед продолжительным полетом.

Е. Н. КУЗИНА

## О БАЛЛОННЫХ ТКАНЯХ

В своем докладе я дам краткий обзор о баллонных тканях, применяемых в настоящее время, а также о их свойствах как газонепроницаемых материалах.

Первые оболочки, сконструированные в 1763 г. Montgolfier были сделаны из бумаги. Наполнялись такие оболочки нагретым воздухом. Так как подъемная сила нагретого воздуха незначительна, то скоро его место занял водород, для которого уже надо было иметь оболочку с бóльшею крепостью и бóльшей газонепроницаемостью.

Первое время пользовались материей, а затем ее сменил бодрюш.

1. Бодрюш — представляет животную пленку, получаемую из слепой кишки рогатого скота. Она имела долгое время широкое применение в Англии. С точки зрения непроницаемости, которая являлась критерием для оценки, она была прекрасна. Равным образом она обладала большим сопротивлением разрыву; но так как пленка была животного происхождения, то она подвергалась разрушению микроорганизмов и благодаря этой причине стала употребляться меньше.

Оболочка обычно изготовлялась из 6—15 слоев.

Недостатки ее: 1) высокая цена, 2) кроме того, она трудно поддавалась починке и 3) была очень чувствительна к атмосферным влияниям.

2. Прорезиненные ткани. По мере развития резиновой промышленности для оболочки стали применять прорезиненную ткань. В 1859 г. она начала изготовляться Continental Gesellschaft, затем в России Русско-американским об-вом и во Франции Société des téléphones.

Для прорезинки пользовались хлопчатобумажными, шелковыми и льняными тканями.

Из хлопчатобумажных тканей употреблялись перкали и кретоны. Они очень устойчивы к атмосферным влияниям, но менее прочны и более тяжелые, чем шелковые ткани.]

Шелковые ткани, обладающие большим сопротивлением разрыву и большой легкостью и мягкостью, не подходящи по своей цене и поэтому употребляются только в тех случаях, когда нужна очень легкая ткань.

Некоторые считают опасным употреблять шелк из-за его электростатических свойств.

Благодаря своей высокой крепости, с большим успехом употреблялась льняная ткань. Это давало ей большое преимущество перед хлопком. С другой стороны, значительно труднее получить, согласно нужной спецификации, льняную ткань, чем хлопчатобумажную.

Обычно баллонные ткани делают однослойные или многослойные — один из слоев последних диагональный. Первые идут для компенсаторов баллонета, вторые — для оболочек аэростатов и дирижаблей.

Параллельно дублированные ткани значительно крепче но прорываются они легче, поэтому желательно употреблять диагонально дублированные ткани для того, чтобы предотвратить прорыв.

Кроме прорезиненных тканей очень часто делали оболочки из лакированной ткани. Для этого применяли лаки из льняного масла, нитролаки, желатину и др. На сегодняшний день мы не имеем достаточно эластичного лака, который бы дал нам возможность отказаться от применения прорезиненных тканей.

Несмотря на то, что баллонные ткани, как я уже указывала, начали изготавливаться у нас в России в 1859 г., научной работой в этой области никто не занимался, и только в 1932 г. Научно-исследовательский институт резиновой промышленности поставил себе целью изучить с научной точки зрения процесс изготовления баллонных тканей.

В иностранной литературе ряд авторов рекомендует для смесей, идущих на изготовление баллонных тканей, употреблять чистый паракаучук, к которому рекомендуют прибавлять лишь только небольшие порции серы и глэта.

Примерно с 1927 г. направление это резко изменяется, и некоторые авторы предлагают употреблять высокосортные плантационные каучуки с ацетоновым экстрактом 3.5%. Кроме того, рекомендуют прибавлять ускорители, мягчители и некоторые другие высокосортные ингредиенты, не содержащие марганца и меди выше 0.05%.

Содержание каучука в смесях должно быть не меньше 95%.

На изготовление клеев должен идти высокосортный газолин с температурой кипения от 58—60° до 70—72° С, либо бензин или бензол.

При работе со смесями с ускорителями не рекомендуется пользоваться бензолом, так как эти смеси проявляют большую способность к самовулканизации.

Критерием для определения годности растворителя является температура кипения. Считают, что чем более плоска кривая перегонки, тем равномернее испаряемость и меньше опасности наличия остатков растворителя в каучуке.

Для прорезинки баллонных тканей обычно употребляется клей двух концентраций: жидкий — 1:6; 1:8, служащий для пропитки ткани и густой — 1:2.5; 1:3.

Вообще рекомендуют для чистых смесей (с большим содержанием каучука) брать больше растворителя, для наполненных — меньше.

**Прорезинка.** Существуют два способа прорезинки ткани:

- 1) прорезинка на шпреди́нг-машине резиновым клеем и
- 2) накладка резины на каландре.

Я остановлюсь на первом способе, так как в настоящее время баллонные ткани изготавливаются только с помощью резинового клея.

При работе на шпреди́нг-машине мы имеем ряд факторов, которые оказывают большое влияние на качество выпускаемой ткани. Например, 1) профиль ножа, 2) скорость шпреди́нг-машины (т. е. скорость прорезинки ткани), 3) количество штрихов и температура плиты шпреди́нг-машины.

При прорезинке баллонных тканей следует пользоваться тонкими ножами, так как тонкие ткани и чистые смеси требуют этого.

2. Из ряда работ известно, что скорость оказывает большое влияние на качество ткани. Установка скорости зависит от типа применяемого растворителя, поэтому рекомендуют при работе с растворителем с высокой точкой кипения (110—150°) употреблять меньшую скорость, чем при растворителе с более низкой температурой кипения.

Большая скорость, кроме того, обычно не разрешается не столько из-за необходимости сушки, сколько из-за сохранения прочности ткани, не выдерживающей слишком быстрой промазки. С увеличением скорости увеличивается также и опасность пожара, вследствие сильного образования электричества.

3. Толщина штрихов оказывает заметное влияние на газопроницаемость, в то время как вес резины более 100 г м<sup>2</sup> не отражается на газопроницаемости.

Для получения лучших результатов имеет смысл применять большее количество тонких штрихов, чем малое количество толстых, так как чем больше поверхностей, тем больше препятствий движению молекул газа.

4. Температура плиты шпреди́нга очень важна при испарении растворителя из нанесенного слоя, поэтому требует тщательного контроля.

**Окраска ткани.** Кроме газодержащего слоя, ткань имеет обычно еще один слой резины, с внешней стороны окрашенный и служащий для защиты ткани и газодержащего слоя от действия разрушающих лучей.

Наиболее стойкой окраской на сегодняшний день, предохраняющей ткань от старения, является алюминиевый порошок.

**Вулканизация ткани.** Вопрос вулканизации баллонных тканей мало освещен в литературе, несмотря на то, что он имеет большое значение на качество ткани.

Существуют два способа вулканизации ткани: холодная и горячая.

Раньше все ткани вулканизировались, главным образом, холодным способом, т. е. парами полухлористой серы. В настоящее время ответственные ткани вулканизируются исключительно горячим способом.

Холодная вулканизация имеет ряд существенных недостатков: при вулканизации двухслойных тканей получается неполная вулканизация, затем всегда остается, несмотря на нейтрализацию, свободный хлор, а благодаря этому плохое сопротивление старению. Кроме того, изделия, вулканизированные холодным способом, очень не стойки к низким и высоким температурам.

В противоположность холодной вулканизации ткани, вулканизированные горячим способом: 1) хорошо сопротивляются старению, 2) имеет место полная вулканизация, 3) нет ослабления ткани из-за образования кислоты. Кроме того, следы  $\text{Cu}$  и  $\text{Mn}$ , присутствующие в ингредиентах, имеют меньший эффект при горячей вулканизации.

Время вулканизации не оказывает заметного влияния на проницаемость; в отношении же старения мы можем утверждать, что она имеет заметное влияние.

Так как ткани, вулканизированные в оптимальных условиях, лучше сопротивляются действию старения, чем недовулканизированные и перевулканизированные, то это свидетельствует о том, что существуют структурные разновидности вулканизата, различающиеся по своей стойкости.

Следовательно, для выпуска тканей хорошего качества, в смысле сохраняемости, требуется тщательный контроль вулканизации ткани.

Испытания тканей. Критерием для определения годности ткани обычно служат газопроницаемость, вес, прочность ткани и сопротивление старению.

Газопроницаемость ткани обычно определяется на различных приборах. Наиболее распространенными среди них является прибор фирмы Кэمبرидж системы проф. Шекспира, основанный на принципе мостика Уитстона (термической проводимости).

Большой заслугой прибора является его простота, быстрота и точность определения газопроницаемости.

Другим употребительным прибором является интерферометр, измеряющий разницу преломляемостей двух газов.

Кроме того, существуют приборы, измеряющие газопроницаемость объемным методом.

Среди них надо упомянуть весы Ренара-Сюркюфа.

Наиболее точным методом определения газопроницаемости является метод сжигания.

Газопроницаемость обычно выражается в литрах с  $1 \text{ м}^2$  за 24 часа при  $15^\circ \text{C}$ .

Прочность определяется на динамометре Шоппера и пересчитывается на 1 погонный метр.

При эксплуатации аэростатов ткани начинают изменять газопроницаемость сперва в сторону уменьшения, затем резкого увеличения, наступает также и изменение прочности, в общем надо сказать, что ткань старится.

Как и чем объяснить это явление старения и как его предупредить?

Если мы сделаем анализ ткани на ацетоновый экстракт (ацетоновый экстракт является показателем окисления резины) до старения (эксплоатации) и затем через каждый месяц, то мы получим увеличение ацетонового экстракта со временем старения, которое указывает на происходящий процесс окисления.

Окисление резинового слоя производит сперва уменьшение газопроницаемости, а затем быстрое увеличение ее. Так как главными факторами, вызывающими разрушение ткани, считают свет и кислород или озон, то рекомендуют ткань окрашивать в желтый цвет и выбирать наиболее плотную ткань.

Кроме того, рекомендуют употребление соответствующих красителей и защитных непрозрачных покрытий таких, как алюминиевый порошок.

Другая причина изменения проницаемости связана с процессом выцветания серы в резине. Этот процесс производит очень большое увеличение проницаемости. Думают, что сера, которая вначале существует в коллоидном состоянии, выкристаллизовывается и образует в резиновом слое сравнительно большие поры.

К сожалению, на сегодня мы не имеем ни одного способа ускоренного старения для испытания баллонных тканей, и поэтому главным образом приходится пользоваться естественными условиями и ожидать иногда результатов до одного года.

Существующие методы ускоренного старения для резины: тепловое, световое (кварцевая лампа) и кислородная бомба не являются показательными для прорезиненных тканей, так как в последних мы имеем тонкий слой резины — ткань. Кроме того, условия эксплуатации баллонных тканей сильно отличаются от условий эксплуатации резиновых изделий. Поэтому в нашу задачу входит сконструировать такой прибор, который бы повторял условия природы более жестко, чтобы иметь возможность получать результаты о годности ткани в более короткий срок.

Большие работы в этом направлении велись Розенгейном, Барр и др., но, к сожалению, выводы были отрицательные, и им также на сегодня приходится удовлетворяться обычной эксплуатацией на воздухе в естественных условиях.

Ткань для стратостата. Получение ткани для стратостата с легким весом, при малой газопроницаемости, явилось результатом изучения затронутых вопросов по технологии изготовления баллонной ткани, а также и самой рецептуры

Важную роль в достижении намеченной цели играют как рецептура газодержащего слоя резины (внутреннего), так и окраска защитного слоя (внешнего), которая должна предохранить ткань и резину от разрушающего действия лучей.

Кроме того, как я уже указывала, большое значение имеет также технология изготовления ткани.

Так как к началу этой работы нами было закончено изучение технологического процесса, то все полученные результаты были учтены при проведении этой работы.

Прорезинка проводилась на стандартной шпреди́нг-машине при скорости в два раза меньшей существующей на заводе.

На ткань накладывалось 3—4 штриха жидкого клея, служащего для пропитки, и 15—16 густых.

На окраску — 2 жидких и 3—4 густых.

В общем, при слое резины в 0.03 мм, удалось положить до 25 штрихов.

Так как по литературным данным наилучшей окраской, как я указывала, считалась алюминиевая, то нами это было использовано.

Как мы испытывали полученную ткань?

Рецептура газодержащего слоя была нами испытана в естественных условиях, но при другой конструкции ткани. Испытать нашу конструкцию ткани в естественных условиях мы не имели достаточного времени, поэтому пришлось ограничиться условиями искусственного старения, как-то: тепловое старение в термостате при 70° С, световое — при помощи кварцевой лампы.

Кроме того, было проведено испытание на холодостойкость при — 30° С и — 60° С и на действие жестких лучей Рентгена.

После всех этих испытаний ткань мялась и испытывалась на газопроницаемость и прочность.

Результаты испытаний показали хорошую устойчивость и доброкачественность ткани.

Что же касается влияния условий стратосферы и мало знакомых нам космических лучей, то успех полета и испытания после полета показали, что все наши предположения и опыты оправдали себя полностью.

В настоящее время Институт разработал новую ткань, легче по сравнению с тканью стратостата „СССР“ на 45%, так что, если надо будет конструировать оболочку на большие высоты, — это облегчение даст возможность значительно уменьшить объем оболочки.

---

\*

М. В. МАЧИНСКИЙ и А. Н. ШТЕРН

## НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ\*

Общеизвестны те тесные связи, которые имели и имеют место между отдельными техническими проблемами и известными областями научных вопросов. Так, мы имели теорию механизмов, развивавшуюся параллельно с механикой системы; так, мы имели развитие теории паровых машин, развитие, совместное с разработкой целого ряда термодинамических вопросов и т. д. и т. д. Так и с развитием реактивного движения связан целый ряд чисто научных вопросов, либо лишь наполовину решенных, либо даже почти и не начатых изучением. Даже более того, мы видим, что сама техника реактивного движения находится еще в состоянии детском, что являются открытыми столь принципиальные вопросы, как целый ряд нижеперечисленных (вопросы, до разрешения которых невозможно построение даже самой общей технической схемы). Оптимистические высказывания распространенных популярных статей, представляющих дело так, что чуть ли не завтра возможен реактивный полет не только что в стратосферу, но и подальше, — по меньшей мере преждевременны. Конечно, до решения, хотя бы частичного, целого ряда научных и научно-технических вопросов надеяться не только на полет с человеком, но даже на систематические реактивные полеты с измерительными аппаратами невозможно. Доселе мы имели и имеем лишь случайные полеты и случайные достижения.

И вот этим научным вопросам, связанным с развитием реактивного движения, и будет посвящен настоящий доклад.

Каково в настоящий момент положение в решении этих вопросов? Мы видим, что существуют разбросанные в самых разнообразных журналах и изданиях случайные, несистематические и не слишком многочисленные статьи. По отдельным вопросам мы вовсе не находим рассматривающих их статей; по другим — находим значительное число работ, работ, повторяющих друг друга, работ случайных, поверхностных и научно не строгих. Лишь незначительное число работ могут быть признаны научно удовлетворительными, но и они касаются случайных отдельных вопросов.

---

\* Вступительные замечания и § 1 содержат общие суждения обоих авторов, § 2 излагает работу А. Н. Штерна, § 3 — работы М. В. Мачинского. Работа написана М. В. Мачинским.

Вот почему мне казалась своевременной и необходимой систематизация и упорядочение. Мы имеем перед собой двойную задачу: во-первых, простое систематическое перечисление научных проблем реактивного движения, во-вторых, указание на методы решения, целесообразные в перечисленных вопросах. Первое укажет отдельные недостаточно развиваемые области, остановит на них внимание работников реактивного движения; второе должно направить развитие научной разработки наших проблем по надлежащему направлению.

В нижеследующем § 1 мы дадим систематизацию проблем реактивного движения, а в §§ 2 и 3 изложим некоторые, уже полученные, результаты с целью подчеркнуть и пояснить важность рассмотрения некоторых из перечисляемых проблем для технического осуществления реактивного полета.

§ 1. Все научные проблемы изучения реактивного движения могут быть объединены вокруг следующих основных:

I. Установление наивыгоднейшего пути ракеты и наивыгоднейшей диаграммы скоростей.

II. Установление наивыгоднейшей внешней формы ракеты.

III. Установление наивыгоднейших форм дюзы и камеры („внутренней“ формы ракеты).

IV. Нахождение наивыгоднейшего термодинамического процесса для хода реакции в камере и дюзе.

V. Нахождение наивыгоднейшего топлива.

Настоящее перечисление исчерпывает все научные проблемы, стоящие перед реактивным движением. Напр. решение такой важной технической задачи, как задача об устойчивости ракеты не может быть поставлена как самостоятельная научная проблема, — задача эта целиком сводится на техническое приложение результатов изучения общих вышеперечисленных проблем.

Наконец, также важным кругом вопросов являются научно-технические вопросы, связанные с выбором материалов.

Дадим некоторые пояснения к изложенному перечислению проблем.

Первая из них (установление наивыгоднейшего пути и наивыгоднейшей диаграммы распределения скоростей в пути) многократно рассматривалась, особенно в своей первой половине, хотя и по второй мы имеем известную работу Годдарда. Значение этой проблемы для технического осуществления реактивного полета очевидно. Решение первой половины проблемы дает нам значение действительно необходимого запаса мощности для переноса ракетного топлива, так как дает минимальную цифру необходимого топлива (по рассматриваемой проблеме уже данного). Доселе расчеты производились, исходя из какого-то достаточно произвольно задаваемого пути, — пути, вовсе не определенного требованием наименьшей затраты на нем некоторого уже выбранного топлива. Решение второй половины проблемы задает нам конструкцию двигателя, ибо

указывает на наиболее целесообразную трату массы ракетой в пути (что и определяется из диаграммы распределения скоростей в пути).

В этой проблеме очевидно мы имеем различные случаи минимальной задачи, решаемой обычными вариационными методами. Единственными работами, так ставившими вопрос, насколько мне известно, являются работа Гамеля в ZAMM и продолжающая ее работа Штерна. Обе работы касаются простейшего случая уже заданного прямолинейного вертикального пути и лишь ищут наивыгоднейшую диаграмму скоростей.

Но естественно, что аналогичные методы должны быть применены и к более общим вопросам: а) достижения некоторой заданной высоты, б) полета на заданное горизонтальное расстояние и, наконец, с) полета от заданного пункта в другой, заданный вполне произвольно.

Подробнее на этой проблеме я остановлюсь ниже, в § 2 настоящего доклада.

Переходя теперь ко второй проблеме (определение наивыгоднейшей внешней формы ракеты), мы видим, что имеем здесь обычную гидродинамическую задачу обтекания, которую решить необходимо, правда, для значительных (сверхзвуковых) скоростей. И так как ни важность этой проблемы (поскольку задачи обтекания играют теперь значительную роль в технике построения самых разнообразных летающих, скользящих и плавающих аппаратов), ни методы ее решения (поскольку даже на ВКИС докладам по гидродинамике больших скоростей был посвящен специальный вечер) не вызывают сомнений, то останавливаться на этой проблеме подробнее в настоящем докладе мы не будем.

Наоборот, третья проблема (нахождение наивыгоднейшей формы дюзы и камеры) требует самого внимательного рассмотрения. Прежде всего необходимо отметить, что вопросы, связанные с этой проблемой, насколько мне известно, в строгом и полном смысле вовсе не ставились. Под строгой и полной постановкой вопроса я естественно подразумеваю решение для соответственного случая уравнений химической динамики, уравнений, объединяющих уравнения гидродинамики, термокинетики и химической кинетики. Уравнения химической динамики, насколько мне известно, еще никем не составлялись и не решались. Вместе с тем целый ряд причин заставляет нас вводить в рассмотрение указанную проблему.

Прежде всего очевидно, что химическая реакция, благодаря скорости выхода газов из дюзы, а равно и скорости их движения внутри дюзы и камеры, не может быть локализована в одном определенном сечении камеры и дюзы. Наоборот, приходится иметь дело с реакцией, которая, так сказать, „развернута пространственно“, т. е. мы имеем (переходя от одного сечения камеры к другому, от одного сечения дюзы к другому) разные концентрации отдельных химических компонентов реакции. Также, благодаря скорости движения, невозможно надеяться, что реакция заканчивается в дюзе (т. е. в частях дюзы, примыкающих к камере), и приходится рассчитывать дюзу, исходя из продолжающейся вдоль всей дюзы

реакции; более того, возможен, ведь, и вылет недогоревших частей за дюзу. Но даже отказываясь от рассмотрения последнего случая, как случая, уже явно не соответствующего самому выгодному процессу сжигания топлива, без рассмотрения первых случаев (продолжения реакции почти до конца дюзы) отнюдь невозможно обойтись, ибо ни в коем случае нельзя а priori утверждать ни то, что они невыгодны с точки зрения траты топлива, ни даже просто то, что возможно осуществить, при необходимых больших скоростях выхода газов, окончание реакции в камере.

Расчет же дюзы, в которой „пространственно развернута“ химическая реакция, отнюдь не может быть произведен чисто гидродинамически, разве что за исключением самых элементарных случаев (см. § 3). Действие химических сил в продолжающейся реакции настолько искажает гидродинамические уравнения, что и искомая наивыгоднейшая форма получается иная, чем в случае чистого истечения (без реакции).

Далее отсюда следует, что разделение расчета камеры и дюзы невозможно и что камера также должна рассчитываться на истечение. Наконец, те же уравнения химической динамики дадут нам возможность расчета камеры. На этом я пока и останавливаюсь, откладывая дальнейшее до § 3.

Здесь я лишь хотел отметить:

- а) невозможность расчета дюзы и камеры гидродинамически и
- б) необходимость введения в рассмотрение химических сил „развернутой пространственно“ в дюзе реакции.

Насколько мне известно, все проекты доселе, не говоря уже о вовсе кустарных, исходили из имеющихся типов (если и рассчитанных, то гидродинамически) дюз и камер, что, как мы видели, неправильно. Таким образом, и здесь перед нами огромное поле научной работы.

Перейдем теперь к двум последним группам вопросов (нахождению наивыгоднейшего термодинамического процесса для хода реакции и связанного с этим нахождения наиболее целесообразного топлива), которые рассмотрим совместно. Первая группа вопросов почти вовсе никем не рассматривалась, вопрос о топливе рассматривался многократно, но исключительно ad hoc, систематических исследований о наилучших процессах и топливе не проводилось. Здесь возможны, конечно, следующие теоретические пути: по первой группе — рассмотрение уравнений химической кинетики и вывод из них путем варьирования, как то мы видели возможно сделать в проблеме пути, исходя из уравнений механики (уравнения движения ракеты); по второй группе — составление и исследование некоторых диаграмм состав — свойство. Но при современном положении вряд ли можно считать оба пути в ближайшее время осуществимыми. Таким образом, приходится ограничиться лишь техническим рассмотрением этих проблем. Здесь же на них далее останавливаться не будем.

Некоторые указания и соображения по этим проблемам, а равно по вопросам, связанным с выбором материала, будут даны в следующем докладе Конференции.

Проделанный краткий обзор научных проблем реактивного движения показал нам, что действительно (как мы и говорили во вступлении к докладу), наряду с проблемами, неоднократно рассматривавшимися, есть значительные задачи, до сих пор вовсе никем не рассмотренные и не исследованные. Если на них научные работники и инженеры, занятые вопросами реактивного движения, обратят теперь усиленное внимание, то цель этой части моего доклада будет достигнута.<sup>1</sup>

§ 2 Начнем с первого из упомянутых круга вопросов, т. е. с вопросов, связанных с разысканием наивыгоднейшего пути ракеты и наивыгоднейшей диаграммы скоростей (распределение скоростей движения на различных участках пути), а также, следовательно, и диаграммы траты массы (распределение трат массы на различных интервалах времени).

То, что мы посвящаем этому кругу вопросов настоящее дополнительное рассмотрение, вызвано двумя причинами: во-первых, является целесообразным дать пояснения к самому способу применения вариационного исчисления к нашей проблеме; во-вторых, также показать, что применение это отнюдь не представляет только чисто теоретический интерес, а что, более того, сравнительно легко, получаемы и численные результаты.

И то и другое мы покажем на пока единственном подробно разобранным примере, примере прямолинейного вертикального полета ракеты. Приведение к вариационной задаче принадлежит в этом случае немецкому ученому Намелю, вычисление же для частного случая проведено недавно одним из соавторов (А. Н. Штерном), из работы которого и заимствованы числовые данные.

Уравнение вертикального полета, как легко видеть, может быть написано

$$M \frac{du}{dt} + C \frac{dM}{dt} + W(s, u) + Mg = 0, \quad [1]$$

где:  $M$  — масса ракеты,  $t$  — время,  $s$  — путь,  $u$  — скорость,  $C$  — скорость истечения газов из дюзы,  $W(s, u)$  — сопротивление воздуха.

Замечая, что  $M$  функция времени, Намел решает [1] относительно  $M$ :

$$M_a = \frac{1}{C} \int_{t_a}^{t_e} W(s, u) e^{\frac{u}{c} + \frac{gt}{c}} dt + M_e e^{\frac{u_e}{c} + \frac{gt_e}{c}}; \quad [2]$$

выражение для затраченной на полет массы, как функционал  $s$  и  $u$  (пути и скорости). Полагая для сопротивления

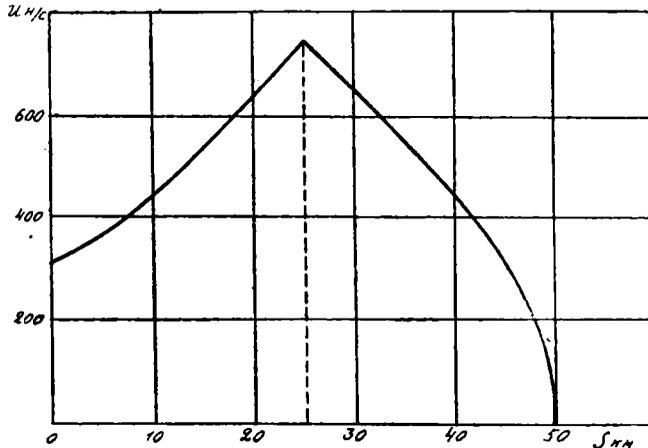
$$W = K \cdot e^{-\frac{s}{f}} \cdot u^2 \quad [3]$$

<sup>1</sup> Мне хотелось бы здесь обратиться к слушателям и читателям настоящего доклада с пожеланием сообщать мне об их работах в области научных проблем реактивного движения по адресу: Ленинград, ул. П. Лаврова, 23. Осоавиахим. Председателю Ленингр. Общ. изучения реактивного движения Мачинскому, Матвею Владимировичу. Желаящим тт. я сочту долгом оказать также помощь в виде письменной или устной консультации.

и варьируя [2], получаем уравнение Эйлера — Лагранжа

$$\frac{du}{ds} = \frac{\frac{u^2}{cf} + \left(\frac{1}{f} - \frac{g}{c^2}\right)u - \frac{2g}{c}}{\frac{u^2}{c} + \frac{4u}{c} + 2}, \quad [4]$$

которому должно удовлетворять  $s$  и  $u$ , чтобы трата массы была наименьшей (необходимо также учесть часть полета, происходящую по инерции).



Фиг. 1.

Вычисления приводились для следующего частного случая:

Полет на высоту 50 км, ракета общей массы 50 кг без горючего, причем последнее не определялось точнее, задавалась лишь скорость выхода газов: 2000 м/сек.; наконец, константы сопротивления предполагались  $f = 9000$  м,  $K = 0.001$ .

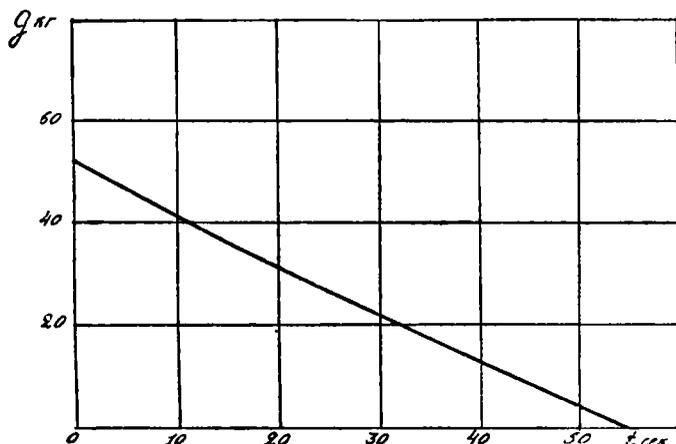
Результаты были получены следующие: масса горючего приблизительно 118 кг, общее время полета 55 сек. Изменение скорости в пути и трата горючего со временем представлены на фиг. 1 и 2.

Мы видели таким образом, что для того, чтобы для достижения высоты 50 км при прочих указанных выше условиях истратить минимальное количество топлива, необходимо начать путь с некоторой определенной скоростью (см. фиг. 1), увеличивать ее все более и более до времени достижения высоты 25 км, а затем уменьшать до нуля. Переводя на выражение траты массы ракеты со временем (см. фиг. 2), это означает некоторую мгновенную трату в момент отделения от земли, затем почти равномерную трату в пути, вплоть до достижения высоты 25 км, и затем полет по инерции. Технически — взрыв в момент отделения и равномерно работающий до полпути двигатель.

Аналогичная задача вертикального полета ракеты рассматривалась с помощью математически сомнительного метода Годдардом. Его результаты известны: диаграмма скоростей сложная, трата массы в пути неравно-

мерная (система сменяющих друг друга ракет), начального импульса нет. Хотя, конечно, задача Годдарда не вполне сравнима с изложенной выше задачей, поскольку Годдардом принималась таков же внимание и целесообразность сжигания на разных высотах различных топлив, все же является возможным утверждать, что решение Годдарда отнюдь не соответствует минимальной трате горючего, т. е. без решения вариационной проблемы не обойтись.

Подобным же вариационным методом могут быть решены и другие более сложные задачи, связанные с проблемой пути и скорости, задачи,



Фиг. 2.

частью перечисленные выше. Различные же „решения“ их (спиральные пути Гоманна и т. д.) не вариационными методами хотя, конечно, и дают мыслимые пути и распределения скоростей, но оставляют совершенно открытым вопрос о том, в какой мере можно считать предложенное наиболее выгодным. Наоборот, пример с работой Годдарда показывает, что правильнее ожидать ошибочности подобных „решений“, ошибочности не в смысле невозможности, а в смысле далеко не наибольшей выгоды.<sup>1</sup>

Таким образом, спорить против принципиальной необходимости обратиться для решения подобных вопросов к вариационным методам — не представляется возможным. Но многим инженерам и техникам благодаря незаконченности (числовой) работы Гамеля могло показаться, что вариационные способы, при их принципиальной бесспорности, практически не-

<sup>1</sup> С математической стороны все подобные попытки (Оберт, Гоманн, Эсно-Пельтри, Годдард и т. д.) могут быть определены или а) как деление на части всего рассматриваемого интервала, затем введение соединительных условий и, наконец, решение элементарной минимальной задачи (что теоретически в лучшем случае есть не что иное, как приближенное взятие интеграла (2) или подобного ему, в худшем случае же — просто ошибка) или б) как принятие совершенно произвольных предположений и „решение“ задачи, исходя из них.

применимы, так как не приводят к числам. И вот смысл приведения вышеизложенного примера и был (как уже упоминалось) именно показать, что метод этот не абстрактен, а, наоборот, вполне пригоден и для получения численных результатов.

Таким образом, актуальным теперь является применение вариационного метода к более сложным задачам рассматриваемой проблемы (напр. к перечисленным при ее изложении в предыдущем параграфе).

Наконец более сложные задачи, как задачи с требованием ограниченной скорости или ограниченного ускорения или еще подобные, могут естественно быть приведены к рассмотрению вариационных задач с условием, напр. к изопериметрической проблеме и тому подобным.

На этом мы и закончим рассмотрение вопросов, связанных с первой проблемой (нахождения наивыгоднейших пути и диаграммы скорости), и перейдем к рассмотрению третьей из перечисленных в § 1 проблем.

§ 3. Переходя теперь к последнему кругу вопросов, вопросам, связанным с дюзой и камерой, еще раз отмечу, что рассмотрение их с точки зрения химической динамики до сих пор никем не проводилось.

Вместе с тем, как мы говорили выше и как покажет нижеследующее, приложение к вопросам этим химической динамики существенно необходимо. Не вдаваясь в математические подробности (чему посвящена моя специальная работа), приведу здесь самые уравнения и укажу далее некоторые результаты, с очевидностью из них следующие и не безынтересные для технического расчета дюзы и камеры. То, что я в нижеследующем останавливаюсь исключительно на химической динамике и на важности применения ее для развития реактивного движения, отнюдь не означает, что я не считаю возможным рассмотрение выгодности той или иной формы камеры с точки зрения образования застойных областей в камере и с применением чисто гидродинамических уравнений. Но я оставляю этот вопрос в стороне по причине сравнительной неважности его.

Теперь, согласно сказанному, я напишу уравнения химической динамики.

Пусть уравнения скорости реакции в замкнутой камере (уравнения по обычной терминологии „химической кинетики“) для избранного нами топлива

$$\frac{dm_i}{dt} = F_i(m_1, m_2, \dots, m_n), \quad [5]$$

$$1 \leq i \leq n,$$

где  $t$  — время,  $m_i$  — концентрации отдельных компонентов реакции (естественно всех и бывших до, и образовавшихся во время хода, и оставшихся после реакции), а функции  $F_i$  определяются видом реакции. Имеем  $n$  уравнений с  $n$  неизвестными  $m_i$ .

Замечая, что благодаря большим скоростям выноса газов мы можем пренебречь внутренней теплопроводностью, рассматривать внутри ка-

меры и дюзы лишь конвекционный перенос тепла, пишем уравнения химической динамики для наших целей в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_i}{\partial t} + u_1 \frac{\partial m_i}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial m_i}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial m_i}{\partial x_3} &= F_i(m_1, m_2, \dots, m_n); \\ 1 \leq i \leq n; \\ \frac{\partial u_k}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_k}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_k}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial u_k}{\partial x_3} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_k}; \\ 1 \leq k \leq 3; \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + u_1 \frac{\partial \rho}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial \rho}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial \rho}{\partial x_3} &= -\rho \left( \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) - \\ &\quad - \rho \Phi(m_1, m_2, \dots, m_n); \\ \rho &= \theta(p, T); \\ \gamma \rho \frac{\partial T}{\partial t} &= -\gamma \rho \left( u_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial T}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial T}{\partial x_3} \right) + Q; \end{aligned} \tag{6}$$

где, как обычно,  $x_1, x_2, x_3$  — координаты,  $u_1, u_2, u_3$  — составляющие вектора скорости по направлениям  $x_1, x_2, x_3$  соответственно,  $\rho, p, T$  — плотность, давление, температура,  $\Phi$  — функционал выражающий изменение объема при реакции,  $Q$  — выделяемая при реакции теплоты,  $\gamma$  — теплоемкость. Всего имеем  $n+6$  уравнений с  $n+6$  неизвестными:  $m, u_1, u_2, u_3, \rho, p, T$ .

Уравнения [6] должны быть решены при некоторых пограничных условиях, в математическом выражении которых обязательно должны быть сохранены члены, физически соответствующие теплопередаче (в противоположность отбрасыванию членов соответствующих теплопроводности в уравнениях).

В последнем же из уравнений [6] мы отбросили член, выражающий теплопроводность:

$$q_e = \text{div}(k \text{ grad } T)$$

и сохранили члены, выражающие конвекционную передачу тепла вследствие допущения больших скоростей выброса газов ( $u$  — велико). Действительно и

$$\frac{\partial T}{\partial x}$$

и следовательно

$$\text{grad } T$$

весьма малы. Таким образом:

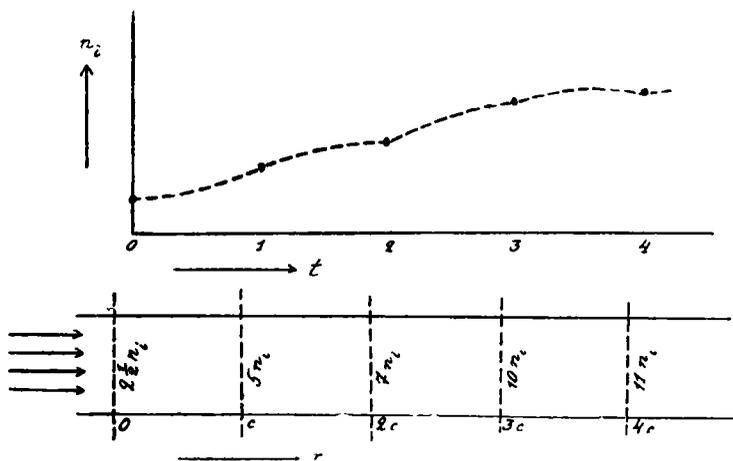
$$q_e \text{ мало; и поэтому } q_e \text{ полагаем } \cong 0;$$

$q_k = -\rho \gamma \left( u_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial T}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial T}{\partial x_3} \right) = (\text{очень большая величина}) \times (\text{очень малая величина})$ , и следовательно:  $q_k \neq 0$ .

Рассмотрение результатов исследования уравнений химической динамики [6] разобьем на отдельные случаи.

1. Случай стационарного потока с постоянной скоростью. Ход реакции разворачивается не во времени, а в пространстве; состояния, напр., отделенные в опытах с неподвижным веществом двойными интервалами, здесь будут отделены двойными расстояниями; состояния, имеющие место в опытах с неподвижными веществами на единицу времени позднее, будут расположены на  $c$  единиц длины в сторону ( $c$  — скорость движения).

Сказанное поясняет фиг. 3; в верхней части изображена примерная диаграмма изменения со временем концентрации одного из компонентов



Фиг. 3.

(а именно  $i$ -го) рассматриваемой реакции, т. е. реакции в неподвижном веществе; в нижней части показаны соответственные концентрации того же компонента той же реакции, „развернутой“ в трубе постоянного сечения движением газов с постоянной скоростью; в каждом сечении трубы, обозначенном пунктирной линией, концентрации со временем не изменяются, концентрации  $i$ -го компонента, для которого и приведена выше временная диаграмма, указаны цифрами.

Случай этот настолько элементарен, что не нуждается в математических пояснениях. Ниже рассматриваемые же случаи с математической стороны и являются как раз случаями, в которых наша система дифференциальных уравнений [6] может быть разбита на две системы дифференциальных уравнений последовательно решаемых, — две системы, естественно каждая уже с меньшим числом неизвестных, и, что еще важнее, физически соответствующие более простому явлению и, следовательно, имеющие более очевидные физические следствия. Эту возможность отдельного решения двух частей системы [6] мы ниже и обозначаем словом „отделение“ части уравнений.

Но возвращаемся опять к рассмотрению отдельных частных случаев.

II. Более общий случай стационарного потока при реакции без увеличения объема и без выделения теплоты или с малым выделением теплоты. Отделяются гидродинамические уравнения в неизменном виде и химокинетические с дополнительными членами. Все обычные гидродинамические положения и результаты могут быть перенесены непосредственно. Реакция опять-таки разворачивается не во времени, а в пространстве, но уже без сохранения пропорциональности. Как этот случай, так и следующий, могли бы быть иллюстрированы той же фиг. 3, если на ней в нижней части распределить пунктирные линии, пересекающие трубу уже не равномерно; более того, и сама труба здесь, конечно, может быть и не постоянного сечения.

IIa. Тоже стационарный поток, опять при реакции без изменения объема, теперь уже с выделением теплоты, но с одинаковой температурой во всем рассматриваемом участке.

Опять-таки гидродинамические уравнения отделяются в виде неизменном, а химокинетические с дополнительными членами. Обычная гидродинамика опять-таки, следовательно, имеет место. Реакция разворачивается опять-таки в искаженном против временного виде.

*Замечания к II и IIa:* а) Этими двумя случаями исчерпываются случаи отделения гидродинамической части в неизменном виде. Следовательно только при выполнении указанных условий можно переносить обычные гидродинамические результаты для вычисления формы дюзы и камеры и построения их. Обычно это обстоятельство во внимание не принимается. А так как случаи эти как раз практически вряд ли выполняются, то важность развития химической динамики становится особенно очевидной теперь. б) Выражение — химокинетические уравнения здесь, конечно, надо понимать условно, ибо, очевидно, скорости изменения концентрации со временем (в данном месте) пропадают; здесь получаются, собственно говоря, уравнения химического равновесия, дополненные членами, выражающими утечку вещества.

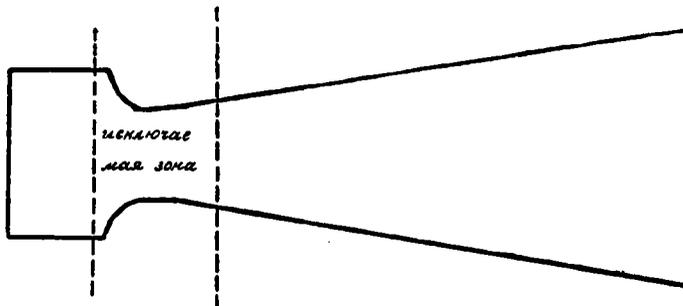
III. Еще более общий случай реакции без изменения объема и без выделения теплоты. Отделяются совместно гидродинамические уравнения и термоконвекционное в обычном виде, химокинетические же с дополнительными членами. Более того это есть единственный случай, когда это отделение возможно. Таким образом, мы видим, что не только чисто гидродинамический расчет усложненный термоконвекционным уравнением соответствует случаям еще весьма далеким от практически интересных.

IV. Случай (вряд ли осуществимый практически) отсутствия скоростей в момент реакции, напр. (весьма условно) употребления для ракеты бризантных взрывчатых веществ.

Тут, в противоположность предыдущим случаям, уравнения химического равновесия отделяются в неизменном виде.

IVa. Случай (тривиальный) вытекания вещества уже по окончании реакции. Естественно, и здесь мы имеем отделенными условия химического равновесия и гидродинамические уравнения.

Оба указанных случая могут иметь ограниченное применение при вычислении форм дюзы и камеры для практически мало интересной возможности употребления реакции чрезвычайно большой скорости. На фиг. 4 показано, как в этом случае вычисление внешних частей дюзы может (с известным приближением, конечно) рассчитываться по IV-а, а глубоких частей камеры — по IV. Но и тут очевидно, что мы не имеем возможности судить о происходящем в „исключаемой зоне“ (см. фиг. 4), а следовательно говорить о необходимости той или иной формы для частей, соединяющих дзюзу с камерой. А как мы увидим ниже, форма этих частей при учете сил реакции и является наиболее отличной от форм, рассчитанных гидродинамически.



Фиг. 4.

Наконец также:

IV б. Уравнения химического равновесия или, вообще говоря, химической кинетики отделяются в том общем случае, когда скорости движения и градиента концентрации удовлетворяют дифференциальным условиям:

$$\begin{aligned}
 u_1 \frac{\partial m_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial m_1}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial m_1}{\partial x_3} &= 0; \\
 u_1 \frac{\partial m_2}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial m_2}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial m_2}{\partial x_3} &= 0; \\
 \dots \dots \dots & \\
 u_1 \frac{\partial m_n}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial m_n}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial m_n}{\partial x_3} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

(практически также мало вероятный случай).

В уравнениях [7], как легко видеть, содержатся в частности III и III а.

**Замечания к IV, IV а и IV б:** а) Уравнения [7], в которых содержатся все три указанных только что случая, исчерпывают все возможности отделения уравнений химической кинетики или, в частности, химического равновесия в неизменном виде; практически они еще менее интересны, чем случаи отделения только гидродинамических уравнений в неизменном виде. б) Отделить совместно химокинетические уравнения только

с гидродинамическими, или только с термоконвекционными, аналогично указанному выше отделению совместно двух последних типов (см. III) невозможно.

V. В общем случае уравнения [6] возможно решать подобием методы возмущений (вообще) или методы Мёрфи (в электростатике); этот способ имеет и практическую наглядность.

Могут быть два пути: можно начать с решения уравнений химических, затем вставить полученные выражения для химических сил, как возмущающие члены в гидродинамические уравнения, затем решениями последних дополнить химические и т. д. и т. д.; можно, наоборот, начать с решения обычных гидродинамических уравнений, затем вставить полученные решения в термо- и химокинетические и т. д. и т. д. Только что указанные экстремальные случаи представляют собою те простые примеры, где изложенный процесс заканчивается на конечных (вторых) членах. Выбор того или иного пути обуславливается, конечно, близостью изучаемого процесса к тем или иным экстремальным случаям, перечисленным выше. Естественно, в случае близости рассматриваемого процесса к таким, для которых гидродинамические уравнения, напр., отделяются в неизменном виде, пойти вторым из указанных путей. И, наоборот, в случаях, близких к процессам, где отделяются уравнения химической кинетики, пойти путем первым.

Степень приближения к действительности подобных упрощенных рассмотрений, к сожалению, пока точно математически оценена быть не может.

Va. Применим общие уравнения [6] в связи с изложенными по ним соображениями к какому-либо частному случаю, имеющему значение для развития реактивного движения, напр. к случаю дюзы Лавала, т. е. случаю реакции очевидно продолжающейся в идущих сквозь дюзу газах. Мы можем попрежнему, не вдаваясь в математический анализ, сделать следующие качественные замечания (в нижеследующем под словом трубка сгорания понимается совокупность дюзы и камеры):

а) Трубка сгорания должна получиться более широкой к концу, чем рассчитанная чисто гидродинамически.

б) Точнее говоря, функция, аналитически представляющая кривую стенки трубки сгорания, должна иметь производную большую (если направление возрастания аргумента совпадает с направлением движения), чем производная подобной же функции, полученной из гидродинамических только соображений. Пусть у нас, напр., движение происходит в направлении увеличения  $x$  — координаты вдоль оси трубки сгорания. Пусть  $f(x)$  — радиус трубки сгорания, предположенный на основании обычных соображений, а  $F(x)$  — радиус вычисленный, исходя из уравнений химической динамики. Тогда сказанное в этом пункте математически можно выразить так:

$$F^1(x) > f^1(x) \quad [8]$$

при любом  $x$ .

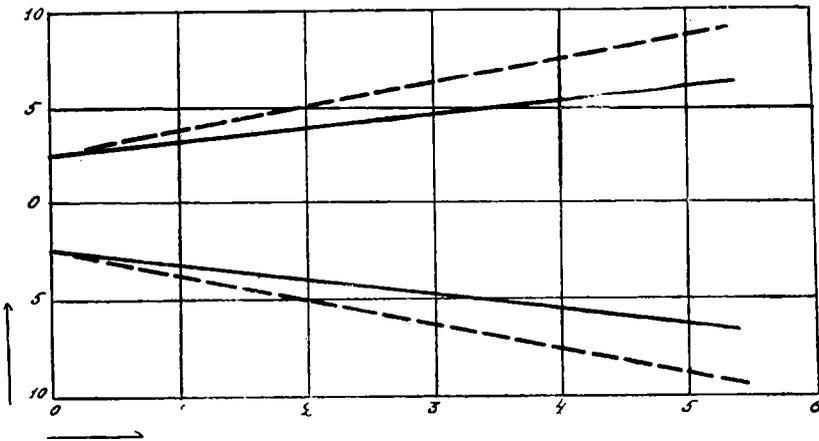
А отсюда если

$$F(x_0) = f(x_0),$$

то

$$F(x) > f(x) \text{ для } x > x_0. \quad [9]$$

Таким образом мы, исходя из некоторого заданного сечения, и получаем упомянутое выше уширение трубки сгорания к концу (против обычным образом вычисленной). Ср. фиг. 5.



Фиг. 5.

с) Далее, наконец, то узкое место между камерой и дюзой, проектируемое некоторыми конструкторами, не только несомненно должно быть сделано гораздо шире, но может в целом ряде случаев и вообще отсутствовать. Это иллюстрировано на фиг. 6, где сплошными линиями обозначены контуры дюз, вычисленных обычным образом, пунктиром — дюз вычисленных, принимая в расчет продолжающуюся реакцию (те же обозначения мы имеем и на фиг. 5). Мы видим, что, исходя из некоторого определенного габарита для камеры, мы получаем для точно рассчитанных дюз более толстый перехват между дюзой и камерой (верхний рисунок) или даже отсутствие его (нижний рисунок). Раструб обязательно получается (как мы уже указывали) иным.

[Вычисление же формы наиболее глубокой части трубки сгорания, в обычном словоупотреблении — камеры, представляет весьма сложную задачу]. В силу сказанного мы видим, что

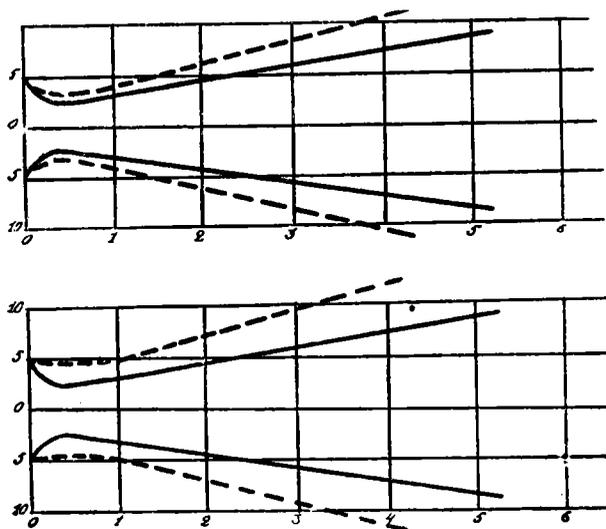
d) вообще для ракеты с жидким или газообразным топливом (а отчасти и для ракет с достаточно мелким твердым топливом), в силу всего выше сказанного, различать дюзу от камеры вряд ли представляется нужным.

Резюмируя изложенное в настоящем параграфе видим, что

1) при больших скоростях истечения имеет место не обычное химическое равновесие, а особое quasi-равновесие, определенное добавочными

членами в уравнениях. Аналогичное возможно утверждать и относительно химокинетических процессов;

2) равно и гидродинамическая картина, при выносе веществ с продолжающейся реакцией, также будет отлична от обыкновенной.



Фиг. 6.

А следовательно гидродинамический расчет дюзы и камеры навряд ли имеет значительную практическую цену.

Отсюда, наконец, явствует, насколько разработка вопросов химической динамики важна для самой возможности расчета реактивного аппарата, а следовательно и для развития всего реактивного движения вообще.

Ленинградское Общество изучения  
реактивного движения при Ленсовнахиме.

Детское село  
1934 г.



А. Н. ШТЕРН и М. В. МАЧИНСКИЙ

## ПРОБЛЕМА ДВИГАТЕЛЯ ПРЯМОЙ РЕАКЦИИ

Разрешение проблемы двигателя прямой реакции повлечет за собой значительное расширение наших возможностей в области непосредственного исследования высших слоев атмосферы.

С этой точки зрения постановка рассматриваемой проблемы на Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы представляется вполне уместной.

Предметом настоящего доклада являются некоторые вопросы теории двигателей прямой реакции и основные принципы их конструкции.

Предварительно приводим краткие соображения о топливе. Для двигателей прямой реакции вполне целесообразно применение жидких горючих, а в качестве окислителя — жидкого кислорода.

Возможность применения твердых горючих нами не рассматривается.

В табл. 1 приведена теплопроизводительность по низшему пределу некоторых жидких горючих при сгорании их с жидким кислородом, отнесенная к 1 кг продуктов сгорания.

Таблица 1

Г о р ю ч е е	Теплопроизводительность кал/кг
Бензин . . . . .	2260
Пропан . . . . .	2270
Изобутан . . . . .	2300
Этиловый спирт . . . . .	1980
Амиловый спирт . . . . .	2140

Как видно из таблицы, спирты несколько менее эффективны по сравнению с углеводородами.

Пропан и изобутан — продукты переработки нефти, легко сжижаемые под небольшим давлением газы, производящиеся в промышленных масштабах в США.

Рабочий процесс двигателя прямой реакции слагается из сгорания топлива при постоянном давлении и из расширения образующихся газов, сопровождающегося преобразованием тепловой энергии в кинетическую.

Явления, протекающие в двигателе прямой реакции, сильно осложняются тем, что при высокой температуре, господствующей в камере горения (около  $3300^{\circ}\text{C}$ ), происходит значительная диссоциация продуктов сгорания — углекислоты и водяного пара.

При расширении газы охлаждаются, поэтому степень диссоциации понижается и происходит частичное воссоединение диссоциированных продуктов сгорания. Таким образом, часть теплоты, затраченной на диссоциацию, возвращается. Углекислота диссоциирует значительно сильнее, чем водяной пар. Степень диссоциации углекислоты и водяного пара увеличивается с уменьшением давления в камере горения. Диссоциация оказывает весьма существенное влияние на протекание рабочего процесса двигателя прямой реакции.

Вследствие этого, для построения термодинамической теории двигателей прямой реакции к основным уравнениям истечения должны быть присоединены уравнения химического равновесия газообразной системы.

В работе одного из авторов настоящего доклада (5) изложены термодинамические основы теории двигателей прямой реакции с учетом диссоциации углекислоты и водяного пара.

В этой работе использован новый экспериментальный материал из книги проф. Шюле (2).

Дальнейшим шагом было бы развитие теории двигателей прямой реакции с применением вместо уравнений химического равновесия уравнений химической динамики.

Однако, вследствие большой скорости химических реакций при высоких температурах, приближенная теория приемлема для практических целей.

Термодинамический коэффициент полезного действия двигателя прямой реакции повышается при увеличении давления в камере горения. В табл. 2 приведены значения термодинамического коэффициента полезного действия при различных давлениях в камере и при расширении газов до давления 1 атм.

Табл. 2 построена на основании точного расчета, с учетом диссоциации углекислоты и водяного пара, для бензина и жидкого кислорода.

Таблица 2

Давление в камере горения в атм.	Термодинамический к. п. д.
25	0.33
50	0.40
75	0.44
100	0.46

Физическая сущность процесса горения при участии чистого кислорода недостаточно выяснена вследствие отсутствия экспериментальных данных. Сжигание может производиться в жидкой фазе при непосредственном контакте горючего с жидким кислородом, в газообразной фазе, т. е. при газообразном состоянии обоих компонентов, и в условиях гетерогенного процесса при одном жидком компоненте.

Преимущества того или другого способа сжигания могут быть вполне выяснены только путем эксперимента.

Наиболее приемлемым для двигателей прямой реакции представляется сжигание жидкого горючего в газообразном кислороде, для чего жидкий кислород должен быть предварительно приведен в газообразное состояние.

Применение обоих компонентов в газообразном состоянии менее целесообразно, так как в этом случае появляется опасность возникновения детонации и преждевременного воспламенения рабочей смеси. Большое значение имеет удачная система зажигания.

Реакции горения при участии чистого кислорода протекают чрезвычайно энергично, поэтому степень дисперсности жидкого горючего, повидимому, не будет иметь существенного значения.

Форма камеры должна обеспечивать хорошее перемешивание газов для достижения возможно большей полноты сгорания.

Энергия, затрачиваемая на подачу горючего и жидкого кислорода из баков, находящихся под низким давлением, в систему камеры горения, в которой поддерживается высокое давление, может быть получена различными способами:

- а) используется часть работы расширения продуктов сгорания;
- б) используется работа расширения до давления в камере горения окислителя (или горючего), приведенного в газообразное состояние при более высоком давлении;
- в) энергия получается от постороннего источника.

Последний способ, как требующий увеличения веса установки, наименее пригоден.

В табл. 3 показана теоретическая величина расхода энергии на подачу бензина и жидкого кислорода, при различном давлении в камере горения, по отношению к теплопроизводительности рабочей смеси.

Таблица 3

Давление в камере горения в атм.	Коэффициент расхода энергии на подачу
25	$0.246 \cdot 10^{-8}$
50	$0.502 \cdot 10^{-8}$
75	$0.758 \cdot 10^{-8}$
100	$1.014 \cdot 10^{-8}$

Расход энергии на подачу составляет весьма малую долю от теплопроизводительности рабочей смеси.

Поэтому даже при учете низкого коэффициента полезного действия аппаратов, подающих горючее и окислитель, полезный эффект двигателя не будет значительно ослаблен.

Условия работы материалов, применяемых для камеры горения и дюзы двигателя прямой реакции и непосредственно соприкасающихся с раскаленными газами, весьма неблагоприятны вследствие высокой температуры и окислительных свойств пламени. Эти материалы должны быть устойчивы при высоких температурах по отношению к химическому воздействию кислорода и водяного пара; кроме того, их механическая прочность должна оставаться достаточной. Необходима также способность переносить резкие колебания температуры.

Большое значение имеет низкая теплопроводность.

Высоко-огнеупорных материалов, удовлетворяющих всей совокупности поставленных требований и, следовательно, вполне пригодных для облицовки внутренней поверхности камеры горения и дюзы, в настоящее время не существует.

В табл. 4 приведены температуры плавления некоторых высоко-огнеупорных материалов.

Таблица 4

М а т е р и а л	Температура плавления °С
Вольфрам . . . . .	3400
Тантал . . . . .	2800
Магnezия . . . . .	2800
Двуокись циркония . . . . .	2700
Карбид тантала . . . . .	3700
Карбид титана . . . . .	3100
Нитрид бора . . . . .	3000

Высоко-огнеупорные материалы распадаются на следующие группы: металлы, окислы, карбиды и нитриды.

Достаточной химической индифферентностью обладают только некоторые представители первых двух групп; карбиды и нитриды разлагаются кислородом и водяными парами при высоких температурах. Из металлов вольфрам обладает наибольшей устойчивостью, однако и он медленно окисляется при высоких температурах.

Тугоплавкость двуокиси циркония и других окислов не достаточна. Некоторые окислы сильно улетучиваются при температурах ниже точки плавления (например магnezия).

Вследствие неудовлетворительности существующих высоко-огнеупорных материалов возникает необходимость искусственного охлаждения поверхностей, соприкасающихся с раскаленными газами.

Современная топочная техника также стала на путь применения искусственного охлаждения топочных стен (экраны топки).

Естественно, является мысль использовать для охлаждения стенок камеры горения и дюзы жидкий кислород.

Охлаждение стенок должно быть чрезвычайно интенсивно, так как тепловой поток, воспринимаемый внутренней поверхностью стенок, очень велик.

Теплопередача в камере горения происходит путем лучеиспускания и конвекции.

Основные излучающие газы — углекислота и водяной пар.

Теория теплового излучения газов при высоких температурах получила в последнее время достаточное развитие благодаря работам Шака (2,3).

Имеются данные теоретического и экспериментального характера и по вопросу о передаче теплоты от газов к твердым телам путем конвекции.

Общий тепловой поток, воспринимаемый внутренней поверхностью стенок камеры горения, по нашим подсчетам выражается числом около  $10^6$  кал./м<sup>2</sup>/час.

Если допустить средний перепад температур между охлаждаемой стенкой и жидким кислородом в  $200^\circ \text{C}$ , то необходимый коэффициент теплоотдачи от стенок к жидкому кислороду будет равен  $5000$  кал./м<sup>2</sup>/час.  $^\circ \text{C}$ .

Такую величину коэффициента теплоотдачи можно считать при известных условиях достижимой.

Существенным фактором, ухудшающим теплопередачу, может явиться образование, вследствие большого температурного перепада, пленки газообразного кислорода на поверхности охлаждаемой стенки (сфероидальное состояние).

Меры борьбы с этим явлением — усиление циркуляции, применение кислорода под давлением, превышающим критическое (50 атм.), т. е. в том состоянии, когда не происходит испарения со скачкообразным изменением физических свойств и, следовательно, образование пленки затруднено.

Наконец, существует весьма эффективный способ сепарации пузырьков пара, образующихся на охлаждаемой поверхности, путем создания искусственного поля ускорений, для чего вся система приводится во вращательное движение.

Этот способ применяется в котельной технике высокого давления (котлы системы „Атмос“).

При условии интенсивного охлаждения для камеры и дюзы могут быть применены специальные стали, например, типа сильхромовых, весьма

устойчивые по отношению к газовой коррозии при высоких температурах (4).

Попытку комплексного разрешения конструктивных задач, вытекающих из всего изложенного, представляет проект ротативно-реактивного двигателя, разработанный при Бюро воздушной техники Ленинградского Осовиахима под руководством инж. А. Н. Штерна.

В этом двигателе подача бензина и жидкого кислорода осуществляется при посредстве центробежной силы, вызываемой вращением ротора с камерами горения.

Энергия, затрачиваемая на подачу компонентов и на вращение ротора, получается путем использования тангенциальных составляющих реактивных сил газовых потоков, отклоненных от осевого направления с целью создания вращающего момента.

Охлаждение стенок камер горения и дюз производится жидким кислородом, испаряющимся в охлаждающих рубашках.

Такая конструкция позволяет, с одной стороны, получить энергию, затрачиваемую на подачу компонентов за счет части работы расширения продуктов сгорания, а с другой стороны, что особенно важно, использовать эффект увеличения теплопередачи, возникающий, как указывалось выше, при вращении камер горения и дюз. Таким образом, условия охлаждения в ротативном двигателе значительно улучшены.

В заключение следует отметить, что в настоящее время трудно предвидеть, в каком направлении пойдет дальнейшее развитие двигателей прямой реакции, поэтому на ряду с испытанием и усовершенствованием существующих систем двигателей необходимо искать новых путей разрешения проблемы реактивного полета.

Лен. Общ. изучения реактивного движения при Леносоавиахиме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Schüle, W. Neue Tabellen und Diagramme für technische Feuergase und ihre Bestandteile von 0° bis 4000° C. 1930.
2. Schak, A. Ztschr. f. techn. Physik. 1924. S. 267.
3. — Der industrielle Wärmeübergang. 1929.
4. Акимов, Г. В. Газовая коррозия углеродистых сталей при высоких температурах. Тр. ЦАГИ, вып. 90, 1931.
5. Штерн, А. Н. Введение в теорию двигателей прямой реакции. Журн. технич. физики, III, вып. 1, 1933.

М. В. МАЧИНСКИЙ

## О ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОЛЕТЕ РАКЕТОПЛАНА

При проектировании ракетного двигателя необходимо предварительно разрешить вопрос о правильном режиме его работы — о правильном распределении выброса масс во времени. Обычно реактивные двигатели проектируются на равномерный выброс масс (под реактивным двигателем естественно понимать некоторую, хотя бы и кратковременно, но непрерывно работающую машину; ракеты одновременного действия вряд ли стоит называть двигателями). Но далеко не очевидно, что для любой, произвольно выбранной нами, формы движения этот режим невыгоден; не останавливаясь здесь подробно на этом вопросе с общей точки зрения, — я рассматривал его уже в своем докладе „Научные проблемы реактивного движения“ (куда я и отсылаю интересующихся), — я укажу лишь, что правильность выбранного нами распределения выброса масс двигателем во времени определяется выгодностью или невыгодностью получающегося от подобного выброса распределения скоростей движения по отдельным участкам пути. По определении наиболее экономичного (т. е. дающего наименьшую трату масс) распределения скоростей движения по участкам пути, очевидно определяется и режим двигателя в отношении выброса масс. Конечно, я не считаю, что определение режима выброса масс всецело определяет работу двигателя (см. мой уже цитированный доклад), но я здесь останавливаюсь именно на режиме выброса масс, как на одном из важнейших вопросов, связанных с постройкой двигателя. Ибо при той значительной (по сравнению с другими двигателями) трате массы, которую производит реактивный двигатель, вопрос о наименьшей затрате массы для получения желаемого результата (например продвижения на определенное расстояние) является особенно актуальным.

Темой настоящей заметки, как то и видно из заглавия, является рассмотрение наивыгоднейшего распределения скоростей при горизонтальном полете ракетоплана на заданное расстояние и вывод из полученного распределения скоростей режима выброса масс двигателем. Под ракетопланом я понимаю самолет, на котором винто-моторная группа заменена реактивным двигателем. В виду того, что практическая выгода реактивного движения имеет место только при значительных скоростях, полет предполагается совершаемым на значительной высоте. Я ограничиваюсь

рассмотрением только горизонтальной части полета по следующим соображениям: спуск самолета с реактивным двигателем в конце концов не слишком отличается от спуска обычного самолета (простое планирование или планирование, соединенное либо с торможением, либо с участками горизонтального полета), наоборот, подъем ракетоплана является еще слишком неопределенной задачей [будет ли подниматься ракетоплан на действии реактивного двигателя или еще какнибудь иначе]. Ниже (см. § 5) я еще остановлюсь на этом.

§ 1. Уравнения движения ракетоплана по горизонтальной линии могут быть написаны в виде:

$$M \frac{dv}{dt} + C \frac{dM}{dt} + \rho S C_x v^2 = 0; \quad [1]$$

$$Mg = \rho S C_y v^2, \quad [2]$$

где  $M$  — общая масса ракетоплана вместе с горючим в данный момент;  $v$  — скорость движения ракетоплана;  $C$  — скорость выброса масс (зависит от употребленного двигателя и топлива, предполагается постоянной),  $\frac{dM}{dt}$  — выброс массы двигателем (— величина искомая);  $C_x$  — коэффициент сопротивления;  $C_y$  — коэффициент подъемной силы;  $\rho$  — плотность воздуха;  $S$  — мидель ракетоплана;  $g$  — постоянная ускорения. Для краткости введем обозначения:

$$K_x = \rho S C_x, \quad \text{и} \quad K_y = \rho S C_y. \quad [3]$$

Далее пусть:  $v_0$  — начальная скорость ракетоплана (в момент времени  $t=0$ ),  $v_e$  — конечная скорость ракетоплана (в момент времени  $t=t_e$ ), расстояние, пройденное за время  $t_e$  пусть будет  $l$ ,  $s$  — путь, пройденный за время  $t$ , таким образом:

$$s \Big|_{t=t_e} = l. \quad [4]$$

Наконец,  $M_0$  — начальная масса (при  $t=0$ ),  $M_e$  — конечная масса,  $R$  — масса самого ракетоплана,  $\Gamma$  — масса горючего в момент  $t=0$ ; т. е.:

$$M_0 = \Gamma + R, \quad [5]$$

пусть кроме того:

$$M_e = R. \quad [5']$$

Очевидно прежде всего, что начальная и конечная скорость определяются вполне однозначно из (2):

$$v_0 = \sqrt{\frac{M_0 g}{K_y}} = \sqrt{\frac{(\Gamma + R) g}{K_y}}, \quad [6]$$

$$v_e = \sqrt{\frac{R g}{K_y}}; \quad [7]$$

так как вообще имеем:

$$v^2 = \frac{Mg}{K_y}. \quad [8]$$

Подставляя последнее в уравнение [1] и деля на  $M$ , получаем:

$$\frac{dv}{dt} + C \frac{d \lg M}{dt} + g \frac{K_x}{K_y} = 0. \quad [9]$$

Допуская, что полет происходит под некоторым постоянным углом атаки, мы можем проинтегрировать (9) в виде:

$$v + C \lg M = \text{const} - g \frac{K_x}{K_y} t \quad [10]$$

или (определяя const из начальных условий):

$$v + C \lg M = v_0 + C \lg M_0 - g \frac{K_x}{K_y} t. \quad [11]$$

Уравнение это может быть разрешено относительно скорости с помощью функции  $\mathfrak{D}(x)$  (см. следующий параграф):

$$v = 2C \cdot \mathfrak{D} \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x}{2CK_y} t \right), \quad [12]$$

откуда имеем:

$$s = \int_0^t v dt = \frac{4CK_y}{gK_x} \int_{a_1}^{a_2} \mathfrak{D}(z) dz;$$

где

$$a_1 = \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x}{2CK_y} t;$$

$$a_2 = \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C};$$

и интегрируя при помощи [27] получаем:

$$s = + \frac{2C^2 K_y}{gK_x} \left\{ \left( \frac{v_0}{2C} + 1 \right)^2 - \left[ \mathfrak{D} \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x}{2CK_y} t \right) + 1 \right]^2 \right\}; \quad [13]$$

Из [11] также имеем:

$$t = \frac{K_y}{gK_x} \left( v_0 - v + 2C \lg \frac{v_0}{v} \right); \quad [14]$$

а подставляя последнее в [13]:

$$s = \frac{K_y}{2gK_x} \left[ (v_0 + 2c)^2 - (v + 2c)^2 \right]; \quad [15]$$

или разрешая относительно скорости:

$$v = -2C + \sqrt{(v_0 + 2c)^2 - \frac{2gK_x}{K_y} s}. \quad [16]$$

Наконец, обращая [13]:

$$t = \frac{K_y}{gK_x} \left[ v_0 + 2C \lg \frac{v_0}{2C} + 2C - \sqrt{(v_0 + 2C)^2 - \frac{2gK_x}{K_y} s} - \right. \\ \left. - 2C \lg \left( \frac{1}{2C} \sqrt{(v_0 + 2C)^2 - \frac{2gK_x}{K_y} s} - 1 \right) \right]. \quad [17]$$

Полученные формулы [12]—[17] вполне представляют нам характер движения нашего ракетоплана. Но прежде чем перейти к интересующему нас вопросу о режиме траты массы двигателем, рассмотрим несколько введенную функцию  $\mathfrak{D}(x)$ .

§ 2. Функция  $\mathfrak{D}(x)$  представляет собой решение уравнения:

$$\mathfrak{D}(x) + \lg \mathfrak{D}(x) = x. \quad [18]$$

Ее численные значения в интересующем нас для практических приложений интервале даны на нижеследующей таблице, графически они представлены на фиг. 1.

Остановимся несколько на свойствах функции  $\mathfrak{D}(x)$ :

а) Прежде всего покажем, что с ее помощью может быть решено и более сложное уравнение, — уравнение уже с параметром:

$$y + n \lg y = x. \quad [19]$$

Действительно, последнее выражение может быть переписано в виде:

$$y/n + \lg y/n = \frac{x}{n} - \lg n; \quad [20]$$

или называя:

$$y/n = y; \quad \frac{x}{n} - \lg n = x_1;$$

в виде:

$$y_1 + \lg y_1 = x_1.$$

Т. е.

$$y_1 = \mathfrak{D}(x_1) = \mathfrak{D}\left(\frac{x}{n} - \lg n\right)$$

или, наконец,

$$y = n \mathfrak{D}\left(\frac{x}{n} - \lg n\right). \quad [21]$$

Мы видим, что уравнение [11] и являлось частным случаем уравнения [19], а следовательно и формула [12] верна вследствие [21]. И с помощью приложенной таблицы (см. стр. 698) значения скорости  $v$  легко могут быть из [12] вычислены.

б) Из [18] также с очевидностью следует:

$$\mathfrak{D}(x + \lg x) = x, \quad [22]$$

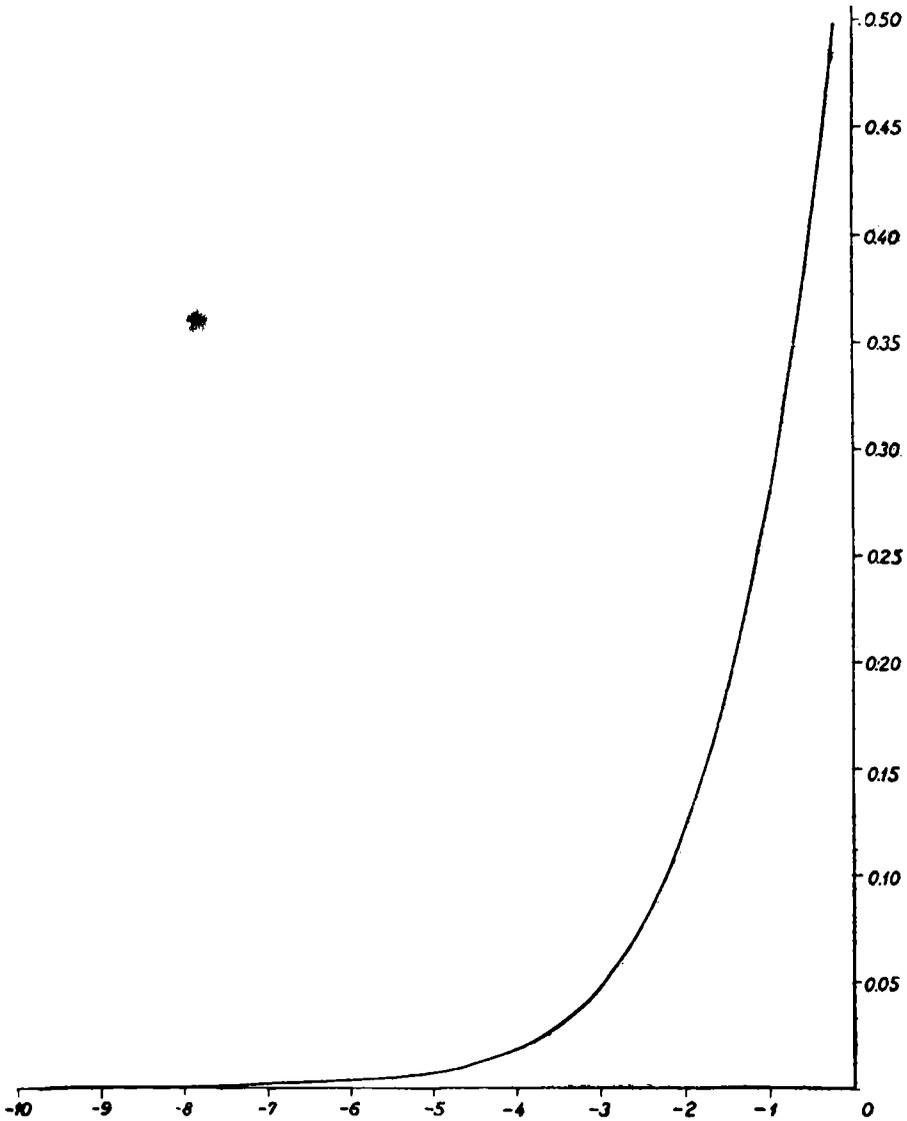
свойство, которое применялось в конце предыдущего параграфа и также неоднократно будет применяться в дальнейшем.

с) Далее, дифференцируя уравнения [18], получаем:

$$\mathfrak{D}'(x) \left(1 + \frac{1}{\mathfrak{D}(x)}\right) = 1,$$

или

$$\mathfrak{D}'(x) = \frac{\mathfrak{D}(x)}{1 + \mathfrak{D}(x)}, \quad [23]$$



Фиг. 1.

выражение для определения производной нашей функции  $\Theta(x)$  по значениям самой функции. Аналогичным образом получаем:

$$\Theta''(x) = \frac{\Theta(x)}{(1 + \Theta(x))^8}; \quad [24]$$

$$\Theta'''(x) = \frac{\Theta(x)}{(1 + \Theta(x))^5} (1 - 2\Theta(x)) \quad [25]$$

и т. д.

Таким образом мы видим, что при больших значениях  $\mathfrak{E}(x)$ , ее первая производная почти постоянна, а остальные близки к нулю; т. е.  $\mathfrak{E}(x)$  при больших своих значениях почти прямая линия (наклонная к осям координат). Наоборот, при маленьких значениях  $\mathfrak{E}(x)$  эта функция является почти постоянной (— производные уже с первой близки к нулю). Средняя же область и представлена на графике (фиг. 1) и таблице.

Таблица значений функции  $\mathfrak{E}(x)$   
по значениям аргумента от  $-\infty$  до  $-0.15$

№	$x$	$\mathfrak{E}(x)$	№	$x$	$\mathfrak{E}(x)$	№	$x$	$\mathfrak{E}(x)$
1	$-\infty$	0	17	-2.9	0.0523	33	-1.3	0.2190
2	-10	0.00006	18	-2.8	0.0575	34	-1.2	0.2376
3	-9	0.0001	19	-2.7	0.0631	35	-1.1	0.2574
4	-8	0.0003	20	-2.6	0.0693	36	-1.0	0.2785
5	-7	0.0009	21	-2.5	0.0761	37	-0.9	0.3009
6	-6	0.0026	22	-2.4	0.0835	38	-0.8	0.3248
7	-5.5	0.0041	23	-2.3	0.0915	39	-0.7	0.3501
8	-5	0.0067	24	-2.2	0.1001	40	-0.6	0.3767
9	-4.75	0.0086	25	-2.1	0.1096	41	-0.5	0.4047
10	-4.5	0.0112	26	-2.0	0.1200	42	-0.45	0.4193
11	-4.25	0.0142	27	-1.9	0.1312	43	-0.4	0.4343
12	-4	0.0182	28	-1.8	0.1433	44	-0.35	0.4496
13	-3.75	0.0231	29	-1.7	0.1562	45	-0.3	0.4654
14	-3.5	0.0294	30	-1.6	0.1705	46	-0.25	0.4813
15	-3.25	0.0374	31	-1.5	0.1856	47	-0.2	0.4978
16	-3.0	0.0475	32	-1.4	0.2016	48	-0.15	0.5145

Указанное будет использовано при представлении функции  $\mathfrak{E}(x)$  рядом (см. последний параграф).

d) Заметим еще, что из [23] следует:

$$\frac{d}{dx} [\mathfrak{E}(x)]^2 = 2 [\mathfrak{E}(x) - \mathfrak{E}'(x)], \quad (26)$$

формула, необходимая нам для дальнейшего (см. также последний параграф).

e) Наконец, переписывая [26] в виде

$$\mathfrak{E}(x) = \frac{1}{2} \frac{d}{dx} [\mathfrak{E}(x)]^2 + \frac{d}{dx} \mathfrak{E}(x)$$

и интегрируя, получаем:

$$\int \Theta(x) dx = \frac{1}{2} [\Theta(x)]^2 + \Theta(x) + \text{const} = \frac{[\Theta(x) + 1]^2}{2} + \text{const} - \quad [27]$$

свойство, которым мы пользовались в конце параграфа первого.

Функция  $\Theta(x)$  обладает целым рядом интересных свойств, на которых здесь останавливаться не представляется необходимым.

§ 3. Возвращаемся к основной теме работы.

Разрешая уравнение [2] относительно  $M$  и подставляя в полученное выражение либо [12] либо [16], получаем:

$$M = \frac{K_y}{g} v^2; \quad [28]$$

$$M = \frac{4K_y C}{g} \cdot \Theta^2 \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x}{2CK_y} t \right); \quad [29]$$

$$M = \frac{K_y}{g} \left[ -2C + \sqrt{(v_0 + 2C)^2 - \frac{2gK_x}{K_y} s} \right]^2, - \quad [30]$$

выражения для массы ракетоплана, как функции или скорости [28], или времени [29], или места [30]. Остановимся сначала на последнем выражении. Подставляя вместо начальной скорости ее выражение через начальную массу [6] и замечая, что согласно сказанному в начале параграфа первого:

$$M \Big|_{s=l} = R \quad [31]$$

получаем:

$$R = \frac{K_y}{g} \left[ -2C + \sqrt{\left( 2C + \sqrt{\left( \frac{l' + R}{K_y} g \right)^2 - \frac{2gK_x}{K_y} l} \right)^2} \right]^2. \quad [32]$$

Разрешая полученное выражение относительно  $l$ , получаем:

$$l \leq \frac{\Gamma}{2K_x} + \frac{2C}{K_x} \sqrt{\frac{K_y}{g}} (\sqrt{\Gamma + R} - \sqrt{R}), \quad [33]$$

т. е. мы видим, что при заданной массе ракетоплана  $R$  и заданном количестве горючего  $\Gamma$  мы сможем пролететь горизонтальное расстояние не большее по величине, чем правая сторона выражения [33]. Даже при ничтожном весе самой конструкции запас горючего  $\Gamma$  не сможет перенести себя дальше, чем на расстояние:

$$l \leq \frac{\sqrt{\Gamma}}{K_x} \left[ 2C \sqrt{\frac{K_y}{g}} + \frac{\sqrt{\Gamma}}{2} \right]. \quad [34]$$

Полученная формула [33] показывает, что расстояния полета не пропорциональны запасу горючего; для передвижения, например, на вдвое большее расстояние, требуется более чем вдвое больший запас горючего. Схематически это представлено на фиг. 2.

Действительно:

$$\frac{dl}{d\Gamma} = \frac{1}{2K_x} + \frac{2C}{K_x} \sqrt{\frac{K_y}{g}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\Gamma+R}} > 0, \quad [35]$$

$$\frac{d^2l}{d\Gamma^2} = -\frac{C}{K_x} \sqrt{\frac{K_y}{g}} \frac{1}{(\Gamma+R)^{3/2}} < 0; \quad [36]$$

т. е. хотя  $l$  в функции от  $\Gamma$  и возрастает с увеличением  $\Gamma$  [35], но возрастание это происходит со всё убывающей скоростью [36]. Таким образом имеем:

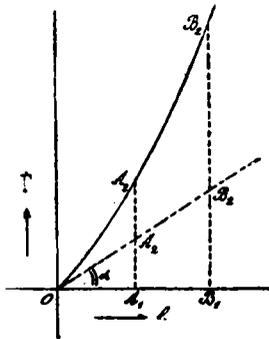
$$n\Gamma_e - \Gamma_{nc} < 0 \quad [37]$$

Построение на фиг. 2 очевидно.

Разрешая теперь (32) относительно  $\Gamma$ , получаем:

$$\Gamma \geq \frac{K_y}{g} \left[ -2C + \sqrt{\left(2C + \sqrt{\frac{gR}{K_y}}\right)^2 + \frac{2glK_x}{K_y}} \right]^2 - R; \quad [38]$$

выражение, показывающее, какой необходим минимальный запас горючего (правая сторона [38]), чтобы ракетоплану массы  $R$  пролететь расстояние  $l$ . Зависимость необходимой массы горючего от  $l$  может быть иллюстрирована той же фиг. 2. Зависимость же потребной массы горючего от массы ракетоплана делается яснее при представлении формулы [38] в виде:



Фиг. 2.

$$\Gamma \geq \frac{2K_y}{g} \left[ 4C^2 + \frac{gK_x l}{K_y} + 2C \sqrt{\frac{gR}{K_y}} - 2C \sqrt{4C^2 + \frac{2gK_x l}{K_y} + 4C \sqrt{\frac{gR}{K_y} + \frac{gR}{K_y}} \right]. \quad [39]$$

Таким образом здесь (в противоположность предыдущему) мы имеем кривую, уклоняющуюся от пропорциональности вниз, т. е., например, для передвижения вдвое большей массы ракетоплана необходимо менее чем вдвое против прежнего горючего.

Итак:

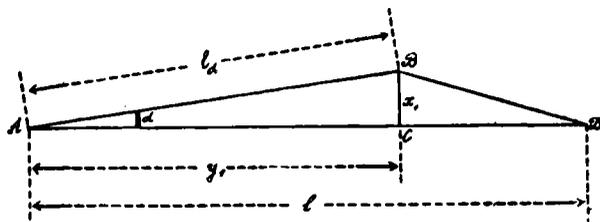
$$\Gamma = \frac{K_y}{g} \left[ -2C + \sqrt{\left(2C + \sqrt{\frac{gR}{K_y}}\right)^2 + \frac{2gK_x l}{K_y}} \right]^2 - R, \quad [40]$$

есть наименьшая масса горючего, необходимая для переноса массы ракетоплана  $R$  на расстояние  $l$ .

§ 4. Теперь, прежде чем перейти ко второму выражению для  $M$  начала предыдущего параграфа, — выражению, определяющему режим выброса масс двигателем, — рассмотрим вопрос о минимальности горизонтального полета.

Дело в том, что оказывается легко возможным показать, что формулы начала предыдущего параграфа являются ответом на более общую задачу, а именно: задачу о нахождении такого пути и такого распределения скоростей в пути, чтобы ракетоплан пролетел расстояние от некоторой точки  $A$  до некоторой точки  $D$  с наименьшей затратой массы. При этом предполагается, что точки  $A$  и  $D$  находятся на одинаковой или почти одинаковой высоте и что сравниваемые пути между ними находятся в области не слишком широкой. Слова о „почти одинаковой“ высоте и „не слишком широкой“ области необходимо понимать в смысле возможности взводить в уравнения [1] и [2] коэффициенты сопротивления и подъемной силы, зависящие только от скорости, но не от высоты (а следовательно не от пути).

На фиг. 3 изображены точки  $A$  и  $D$ , места начала рассматриваемой части полета и конца этой части, точкою  $B$  отмечено некоторое наиболее отклонившееся от горизонтальной линии место пути. Согласно



Фиг. 3.

вышесказанному предполагаем, что в точке  $B$  сопротивление и подъемная сила не отличаются от таковых же в точках  $A$ , или  $C$ , или  $D$ .

Общим и прямым путем всякая задача о нахождении пути и диаграмма скоростей, соответствующих минимальной затрате горючего, может быть решена сведением к некоторой вариационной проблеме, как то для случая вертикального полета ракеты сделано Гамелем. Некоторые общие соображения и пояснения по этому вопросу изложены в моем докладе, уже выше цитированном. Здесь я на этом не останавливаюсь, тем более, что здесь я пойду другим путем, а именно просто покажу, что расход горючего определенный формулой [40] есть минимальный возможный расход горючего для перелета ракетоплана из точки  $A$  в точку  $D$  любым путем (где положение точек  $A$  и  $D$ , а также и выбор пути ограничены, как выше было сказано). Этот способ будет и сравнительно прост, так как выражение [40] и диаграмма скоростей для него уже получены, и, более того, единственно возможен, ибо минимум здесь оказывается не плавным (аналитическим), а остриеобразным (см. фиг. 4), т. е. удовлетворяет не уравнениям Лагранжа-Эйлера вариационной проблемы, а некоторому граничному значению области.

При доказательстве минимальности выражения [40], я буду исходить из следующих соображений. Минимальность затраты горючего на некоторой прямой линии, соединяющей две точки, по сравнению с затратами на любой кривой, соединяющей те же две точки, при условии траты горючего во всех местах пути, я полагаю очевидной. Т. е. единственными путями, которые могут конкурировать с прямолинейным по выгоде

в смысле траты масс, являются те пути, у которых на отдельных участках происходит полет без затраты горючего — планирование ракетоплана. Иными словами, в качестве пути, сравниваемого с нашим прямолинейным путем, я возьму  $ABD$  (фиг. 3). Участок  $BD$  — участок планирования, прямая линия или близкая к прямой; участок  $AB$  также прямая на основании вышеизложенного, угол  $\alpha$  произволен. [Возможна, конечно, и обратная линия: планирование из точки  $A$  по некоторой кривой, параллельной  $BD$  на расстояние, равное  $BD$ , и затем полет по прямой, параллельной прямой  $AB$  в точку  $D$  — участок также равный  $AB$ . Очевидно, что затрата массы на таком пути равна затрате на пути  $ABD$ ]. Напоминаю, что высота (вернее разность высот)  $BC = x_1$  предполагается не настолько великой, чтобы изменились сопротивление и подъемная сила в формулах [1] и [2]. Итак, вычислим затрату горючего при полете из точки  $A$  в точку  $D$  по линии  $ABD$ .

Прежде всего легко видеть, что линия  $BD$  определяется условием:

$$\frac{l - y_1}{x_1} = \frac{K_y}{K_x}, \quad [41]$$

и что по обозначению

$$\frac{x_1}{y_1} = \operatorname{tg} \alpha. \quad [42]$$

Отсюда:

$$x_1 = \frac{l \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + \frac{K_y}{K_x} \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

$$y_1 = \frac{l}{1 + \frac{K_y}{K_x} \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

И длина пути, проходимого на работающем реактивном двигателе:

$$l_\alpha = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} = \frac{l}{\cos \alpha + \frac{K_y}{K_x} \sin \alpha}, \quad [43]$$

Уравнения движения ракетоплана на линии  $AB$  (наклонной к горизонту на угол  $\alpha$ ) будут:

$$M \frac{dv}{dt} + C \frac{dM}{dt} + K_x v^2 + Mg \sin \alpha = 0, \quad [1 \text{ a}]$$

$$Mg \cos \alpha = K_y v^2. \quad [2 \text{ a}]$$

Вводя величины:

$$K_y^1 = \frac{K_y}{\cos \alpha}, \quad K_x^1 = \frac{K_x}{K_y} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha, \quad [44]$$

мы сможем переписать уравнения [1 а] и [2 а] в виде

$$M \frac{dv}{dt} + C \frac{dM}{dt} + \frac{K_x^1}{K_y^1} Mg = 0, \quad [1 \text{ b}]$$

и

$$Mg = K_y^1 v^2, \quad [2 \text{ b}]$$

отличающимся от уравнений [9] и [2] лишь заменой величин  $K_y$  на  $K_y^1$  и  $K_x/K_y$  на  $K_x^1/K_y^1$  и рассмотрению пути длиной не в  $l$ , а в  $l_\alpha$  (определенном формулой [43]).

Таким образом, к уравнениям [1 b] и [2 b] возможно применить все сказанное выше. А так как затраты горючего на участке пути  $BD$  нет вовсе, то полную минимальную затрату горючего на пути  $ABD$  имеем определенную формулой:

$$\Gamma_\alpha = \Gamma \Big|_{K_x \rightarrow K_x^1; K_x/K_y \rightarrow K_x^1/K_y^1; l \rightarrow l_\alpha} \quad [45]$$

или

$$\Gamma_\alpha = \frac{K_y^1}{g} \left[ -2C + \sqrt{\left( 2C + \sqrt{\frac{gR}{K_y^1}} \right)^2 + \frac{2gK_x^1 l_\alpha}{K_y^1}} \right]^2 - R, \quad [46]$$

где индекс  $\alpha$  определяет путь, затрата горючего на котором рассматривается. Наконец, подставляя в [46] формулы [43] и [44], получаем окончательно:

$$\Gamma_\alpha = \frac{K_y}{g \cos \alpha} \left[ -2C + \sqrt{\left( 2C + \sqrt{\frac{gR \cos \alpha}{K_y}} \right)^2 + \frac{2gK_x l}{K_y}} \right]^2 - R, \quad [47]$$

— выражение, определяющее затрату горючего на сравниваемых путях. Очевидно, что при  $\alpha = 0$  и выражение [47] переходит в полученное ранее [40], и путь  $ABD$  переходит в путь  $ACD$  (горизонтальный путь). Согласно вышесказанному, вопрос теперь свелся к рассмотрению полученного выражения [47]. Если минимум его соответствует  $\alpha = 0$ , то рассмотренный ранее горизонтальный путь есть действительно путь с наименьшей затратой горючего.

Вместе с тем, рассматриваемый экстремум не есть аналитический экстремум, так как производная выражения [47] по  $\cos \alpha$  не равна нулю ни при каких имеющих реальный интерес значениях входящих в нее величин. Далее очевидно, что выражение [47] возрастает вместе с уменьшением  $\cos \alpha$ . Проще всего последнее показать следующим способом. Пусть:

$$\Gamma_\alpha = \frac{K_y}{g} l_\alpha^2 - R \quad [48]$$

где:

$$l_\alpha = -\frac{2C}{\cos^2 \alpha} + \sqrt{\frac{2gK_x l}{K_y \cos^4 \alpha} + \left( \frac{2C}{\cos^2 \alpha} + \sqrt{\frac{gR}{K_y \cos^3 \alpha}} \right)^2} \quad [49]$$

Величина  $\Gamma_\alpha$  возрастает вместе с величиной  $l_\alpha$  и убывает также вместе с убыванием  $l_\alpha$ . Последняя же величина даже при равенстве нулю выражения:

$$\frac{2gK_x l}{K_y \cos^4 \alpha} \quad [50]$$

равная:

$$l_{\alpha \text{ в.р.м.}} = \sqrt{\frac{gR}{K_y \cos^2 \alpha}} \quad [51]$$

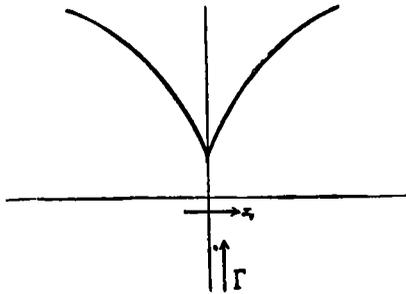
увеличивается с уменьшением  $\cos \alpha$ . А следовательно и само

$$l_\alpha > l_\alpha \text{ врем.} \quad [52]$$

и подавно увеличивается с уменьшением  $\cos \alpha$ . Наконец, очевидно, что на противоположно-симметричных путях ниже и выше горизонтальной линии затрата массы одна и та же.

Таким образом, при  $\cos \alpha = 1$  (граница области), а следовательно  $\alpha = 0$  величина  $\Gamma_\alpha$  имеет минимум. Характер зависимости  $\Gamma_\alpha$  от  $x_1$  (а следовательно и от  $\alpha$ ) схематически передан на фиг. 4. Минимум, как я уже говорил выше, остриеобразный.

Итак показано, что уравнения [12]—[16] на горизонтальном пути дают решение вариационной задачи на определение пути и диаграммы скоростей на минимальную трату массы для полета ракетоплана из точки  $A$  в точку  $D$  (с упомянутыми в начале настоящего параграфа ограничениями).



Фиг. 4.

А следовательно, теперь возможно утверждать, что [40] есть действительно та минимальная затрата массы, которую необходимо произвести ракетоплану, чтобы долететь из точки  $A$  в точку  $D$  (при соблюдении вышесказанного), и что выражение [33] представляет собой действительно расстояние

от точки  $A$  до некоторой максимально удаленной от нее точки  $D$ , до которой может долететь ракетоплан с данным запасом горючего.

И следовательно, наконец, что функция [29] представляет ту зависимость изменения массы от времени, которая дает наилучший эффект расстояния.

§ 5. Обратимся теперь к рассмотрению выражения [29] и к более подробному рассмотрению зависимости распределения скоростей полета от времени.

Начнем сначала с выражения [12]. Разлагая его в ряд по степеням безразмерной величины:

$$\frac{gK_x t}{2CK_y} \quad [53]$$

получаем:

$$\frac{v}{2C} = \vartheta \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right) = \vartheta(a - bt) = \vartheta(a) - bt\vartheta'(a) + \frac{b^2 t^2}{2} \vartheta''(a) + R_3 \quad [54]$$

где:

$$R_3 = \frac{(1-\theta)^3 t^3 g^3 \left(\frac{K_x}{K_y}\right)^3}{16 c^3} \frac{\vartheta \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right)}{\left[ \vartheta \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right) + 1 \right]^5} \left[ 1 - 2\vartheta \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right) \right] \quad [55]$$

Подставляя в [54] значения производных функции  $\Theta(x)$  по формулам [23] [24], [25] и пользуясь также [22], имеем:

$$v = v_0 \left( 1 - \frac{gt}{v_0 + 2C} \left( \frac{K_x}{K_y} \right) + \frac{g^2 t^2 C}{(v_0 + 2C)^2} \left( \frac{K_x}{K_y} \right)^2 \right) + R_1; \quad [56]$$

где

$$R_1 < \frac{1}{16} \left( \frac{t_{\text{end}}}{C} \right)^3 \cdot \frac{1}{20}, \quad [57]$$

(здесь время должно быть выражено в сек., а скорость в м/сек.), полагая, что

$$g^2 \left( \frac{K_x}{K_y} \right)^2 < 1 \text{ м/сек.} \quad [58]$$

Действительно из очевидных неравенств:

$$\begin{aligned} v_0 &< C \\ 0 &< t < \infty \end{aligned}$$

следует:

$$0 < \Theta \left( \frac{v_0}{2C} + lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x}{2CK_y} t \right) < \frac{1}{2} \quad [59]$$

а максимум части  $R_1$ , зависящий от  $\Theta$  при условии [59] равен:

$$\max. \frac{\Theta}{(1 + \Theta)^5} (1 - 2\Theta) \approx \frac{1}{20}.$$

Таким образом практически мы можем ограничиться первыми тремя членами разложения [54] и написать:

$$v = v_0 \left[ 1 - \frac{gt}{v_0 + 2C} \left( \frac{K_x}{K_y} \right) + \frac{g^2 C t^2}{(v_0 + 2C)^2} \left( \frac{K_x}{K_y} \right)^2 \right]. \quad [60]$$

[Действительно, например, при  $C = 2000$  м/сек. и скорости полета даже 1000 м/сек., чему соответствует максимум правой стороны [55], мы имеем:

$$R_1 < t_{\text{end}}^3 \frac{1}{2^8 \cdot 10^{10}}$$

и, следовательно, при полете на 4000 км (я нарочно беру значительные цифры) величина ошибки не достигает:

$$R_1 < \frac{1}{40} = 0.025. \quad [61]$$

Кроме того очевидно, что численная величина ошибки гораздо ниже указанного предела].

Таким образом, мы видим, что изменение скорости со временем должно представлять убывающую параболическую кривую, определенную уравнением [60].

Переходя теперь к необходимому для этого режиму затраты массы реактивным двигателем нашего ракетоплана, я переписываю сначала определяющее затрату массы со временем уравнение [29]:

$$M = \frac{4K_y C^3}{g} \cdot \mathcal{E}^2 \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right). \quad [29]$$

Замечая, что для характеристики работы двигателя важнее не величина общей массы в данный момент, а относительное количество выбрасываемой массы, дифференцируем уравнение [29] и пишем:

$$\frac{1}{M_0} \frac{dM}{dt} = - \frac{4gCK_x}{v_0^3 K_y} \left[ \mathcal{E} \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right) - \mathcal{E}' \left( \frac{v_0}{2C} + \lg \frac{v_0}{2C} - \frac{gK_x t}{2CK_y} \right) \right] \quad [62]$$

или разлагая опять-таки по степеням величины [53]:

$$- \frac{1}{M_0} \frac{dM}{dt} = \frac{2gK_x}{(v_0 + 2C)K_y} - \frac{2(v_0 + 4C)}{(v_0 + 2C)^3} \cdot \frac{g^2 K_x^2 t}{K_y^2} + \frac{2C(v_0 + 8C)g^3 K_x^3 t^3}{(v_0 + 2C)^5 K_y^3} + R_2 \quad [63]$$

где  $R_2$  определяется формулой:

$$R_2 < \frac{t^{\text{end}} g^4 K_x^4}{4v_0^3 C^2 K_y} [\mathcal{E}^{(3)} - \mathcal{E}^{(4)}] < \frac{t^{\text{end}} g^4 K_x^4}{80 v_0^2 C^2 K_y^2}.$$

и опять практически может быть отброшен. Опять-таки, конечно, действительная величина ошибки гораздо менее данного нами предела.

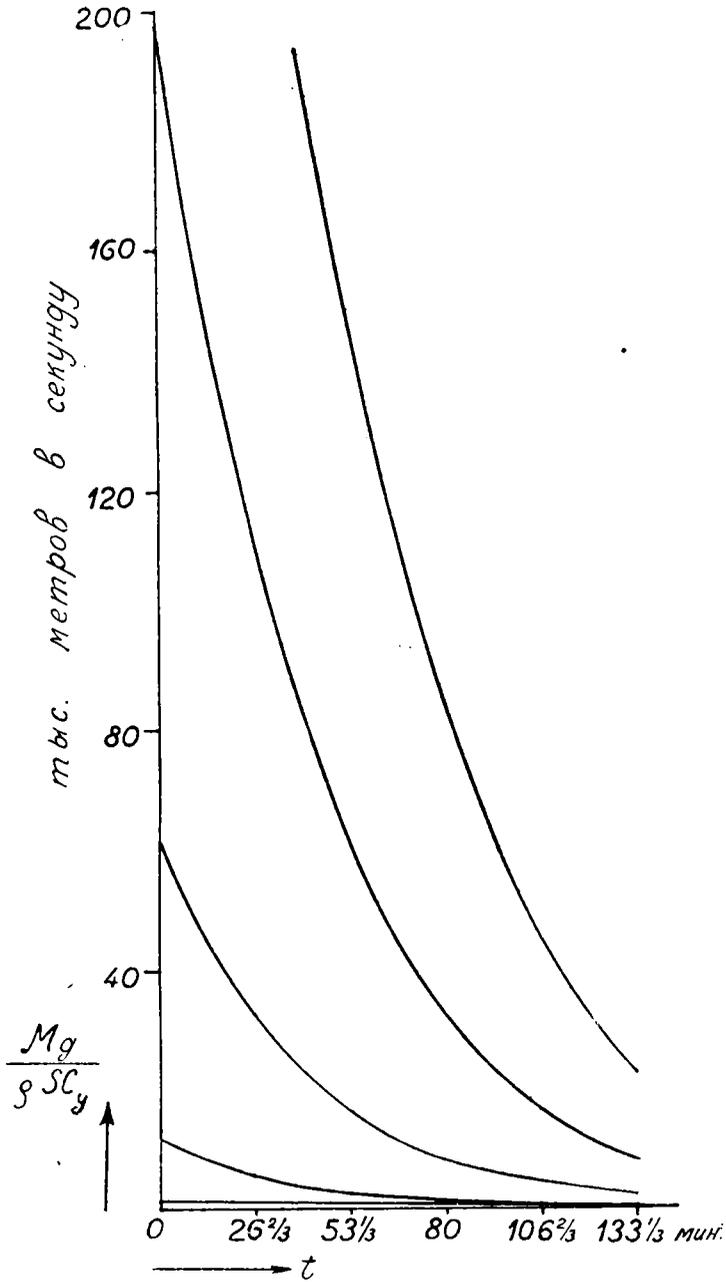
Итак, имеем следующее окончательное выражение, характеризующее выброс масс двигателем

$$- \frac{1}{M_0} \frac{dM}{dt} = \frac{2gK_x}{(v_0 + 2C)K_y} - \frac{2(v_0 + 4C)}{(v_0 + 2C)^3} \cdot \frac{g^2 K_x^2 t}{K_y^2} + \frac{2C(v_0 + 8C)g^3 K_x^3 t^3}{(v_0 + 2C)^5 K_y^3}. \quad [64]$$

Такая работа двигателя необходима для движения по горизонтальной прямой и, следовательно, для перемещения на данное расстояние с наименьшей затратой массы, согласно всему вышесказанному. Мы видим следовательно, что выброс массы двигателем отнюдь не есть постоянная величина, а величина со временем уменьшающаяся. Т. е. только двигатель переменного выброса удовлетворяет требованию минимальной затраты массы для получения определенного эффекта (— достижения некоторого определенного расстояния).

Но для известного круга случаев можно еще несколько упростить выражение [64] для выброса массы.

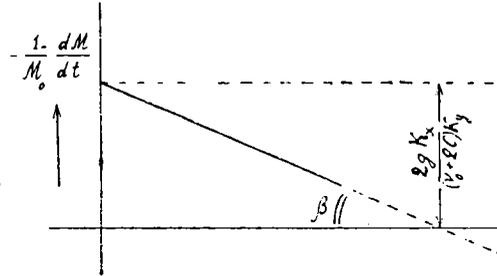
Действительно, рассматривая кривые фиг. 5, являющиеся графическим представлением функции [29] — переменной массы ракетоплана, мы видим, что на достаточных для некоторых случаев участках расстояний, масса может быть представлена почти параболическими кривыми (на фиг. 5 предположено:  $C = 2000$  м/сек.,  $\frac{gK_x}{K_y} = 1$  м/сек., на одной из осей отложено



Фиг. 5.

время, на другой величина  $\frac{Mg}{K_y}$ , отдельные кривые соответствуют различным значениям отношения  $\frac{v_0}{C}$  — начальной скорости ракетоплана к скорости выброса). Мы видим что кривые эти в отдельных своих частях

близки к прямым. Естественно отсюда допустить целесообразность полета с двигателем хотя и переменного выброса массы, но переменного наипростейшего типа, а именно — равномерно уменьшающегося выброса. Необходимое при этом упрощение вида зависимости выброса массы со временем



Фиг. 6.

представлено на фиг. 6. По одной оси отложено время, по другой — величина выброса. Угол  $\beta$  должен быть равен:

$$\beta = \arctg \frac{(v_0 + 4C)}{(v_0 + 2C)^2} \cdot \frac{2g^2 K_x^2}{K_y^2}.$$

Таким образом перед технической мыслью встает проблема разработки реактивного двигателя переменного выброса; практически, как было сказано, хотя бы двигателя с равномерно меняющимся выбросом.

Ленинградское Общество изучения  
реактивного движения при Ленсоавиахиме.

Детское Село. 1934 г.

М. К. ТИХОНРАВОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ РАКЕТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРАТОСФЕРЫ

1. Так называемый третий закон Ньютона, закон „равенства действия и противодействия“, лежит в основе ракетного принципа движения. Ракетный принцип движения, точно сформулированный и математически обоснованный нашим ученым Циолковским, открывает перед нами возможность двигаться, ни на что не опираясь.

Обычная фейерверочная ракета является наиболее ярким примером, иллюстрирующим этот принцип движения. Ракета летит потому, что газ, вытекающая из нее вниз, отталкивает саму ракету вверх.

Сила, движущая ракету, или, как мы ее называем, тяга ракеты, обычно в наилучшем случае принимается численно равной секунднему количеству движения, т. е. произведению массы выброшенных газов из ракеты на их скорость. Для подъема на большие высоты потребуется достаточный запас топлива и соответствующая значительная тяга. Получение достаточно больших величин тяги возможно при выбрасывании из ракеты больших масс газа и при больших скоростях этого выбрасывания.

Осуществление этих двух моментов привело к употреблению вместо пиротехнических составов фейерверочной ракеты к топливам, обладающим максимальной возможной калорийностью, т. е. в первую очередь к жидким топливам. Поэтому современная ракета чрезвычайно сильно отличается от фейерверочной, послужившей прообразом ее.

Фейерверочная ракета, обладая коэффициентом полезного действия 1—2%, является чрезвычайно несовершенной конструкцией. Все, что могла дать техника для того, чтобы сделать ракету возможно совершеннее, было применено, и современная ракета представляет собой уже достаточно сложный механизм, заключающий в себе необходимое горючее для полета, приспособления для его подачи в двигатель и сам двигатель, состоящий из механизмов распыливания и приготовления горючей смеси, камеры сгорания и сопла. Последнее, как известно, позволяет достигнуть максимально возможных скоростей истечения продуктов сгорания из ракеты. Весь этот агрегат, заключенный в оболочку, снабженный стабилизаторами для устойчивого полета в атмосфере, снабженный парашютом для безопасного спуска, представляет собой то, что мы в настоящее время

понимаем под словом ракета (фиг. 1). Вполне возможно снабжение ракеты крыльями как для целей взлета, так и для спуска.

По самой сущности принципа, положенного в основу полета ракеты, ясно, что этот летательный аппарат не требует для себя опоры в своем движении в пространстве. Ракета представляет собой аппарат, способный летать в пустоте. Этот вопрос вызывал часто сомнения, и многие исследователи ставили соответствующие опыты. Например, американский проф. Годдар произвел ряд специальных опытов для проверки работы ракеты в пустоте. Правда, опыты были очень несовершенны, так как им не было обеспечено сохранение вакуума в пространстве, куда вытекали газы из ракеты. Опыты дали благоприятный результат. В настоящее время, после теоретических работ целого ряда талантливых исследователей, этот вопрос надо считать достаточно ясным. Ракета не требует атмосферы для своего полета. Ракетный двигатель в пустоте будет работать так же или лучше, чем в атмосфере. Ракета полетит тоже лучше, так как отсутствует сопротивление воздуха.

Поэтому ракета есть такой летательный аппарат, который наилучшим образом приспособлен к высотным полетам. В отличие от других аппаратов, тоже приспособленных к аналогичным полетам (напр. стратостатов, стратосферных самолетов), ракета теоретически границ высоты подъема не имеет. Конечно, для каждого отдельного типа ракеты имеется свой потолок, но потолок этот увеличивается безгранично с увеличением запасов горючего и энергии последнего.

Ясно, следовательно, что ракета является в настоящее время единственным аппаратом для достижения высочайших слоев земной атмосферы, а, следовательно, и одним из средств исследования стратосферы.

Ясно также, что выгодной ракета будет там, где кончатся возможности других аппаратов. Следовательно, на небольших высотах, порядка до 30 км, ракета не даст равного с этими аппаратами эффекта. Но высоты, большие 30 км, тоже представляют значительный интерес, хотя бы с точки зрения исследования космических лучей. Здесь начинается поле деятельности ракет.

Ракета в состоянии поднять, кроме себя, также груз в виде необходимых для этого исследования инструментов и приборов.

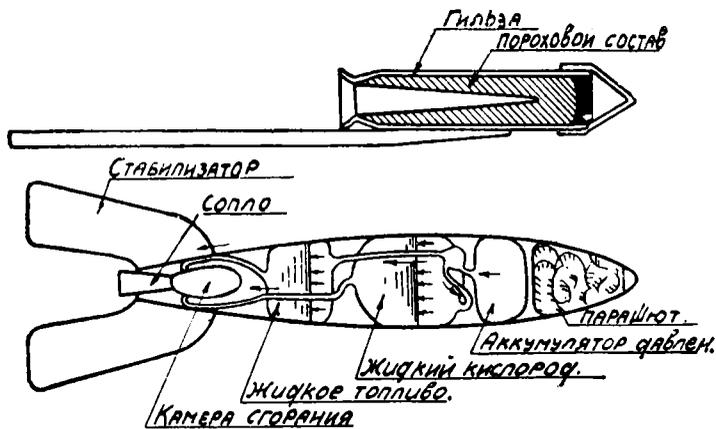
Перед тем как перейти к вопросу о применении ракеты для исследования стратосферы, необходимо остановиться на современных достижениях в этой области.

2. За границей опыты с ракетами на жидком топливе были начаты в конце двадцатых годов. Первый полет такой ракеты был осуществлен в 1931 г. в Германии. Нужно сказать, что к сообщениям прессы о ракетных достижениях необходимо относиться крайне осторожно. Мы имеем целый ряд неверных сообщений. Например, корреспонденции об успехах американского проф. Лайона, будто бы осуществившего подъем ракеты весом в 150 кг на высоту 9500 м, оказались мистификацией. Описание

полета большой ракеты Годдара является неправдоподобным, и его следует поставить под сомнение.

Ракетная техника в настоящий момент засорена различного рода проектами, которых множество. Популяризаторы ракетного полета часто безграмотны и своими выступлениями в печати ничего, кроме вреда, не приносят. Ярким примером является статья „По принципу ракеты“, помещенная в журнале „В бой за технику“ № 1, январь 1933 г. В ней читаем:

„Для испытания силы отдачи была сконструирована мощная пороховая ракета. Ее прикрепили к телеграфному столбу. Будучи подожжена,



Фиг. 1. Сравнительные схемы фейерверочной ракеты и современной ракеты на жидком топливе.

она умчалась в высь со скоростью 1000 км в час, унося вместе с собой столб ...“ и т. д.<sup>1</sup>

Серьезные опыты по пороховым ракетам были произведены в Америке проф. Годдаром и в Германии инж. Тиллингом, погибшим, как известно, при взрыве своей лаборатории.

Тиллинг осуществлял запуск ракет на высоту 2000 м весом в 10 кг.<sup>2</sup> Спуск этих ракет производился при помощи планирования на крыльях, раскрывающихся при достижении ракетой максимальной высоты.

По ракетам на жидком топливе, позволяющим достижение гораздо более значительных высот, необходимо отметить работу Берлинского ракетодрома. Его работы над ракетами с топливом бензином и окислителем кислородом были успешны, но не могли быть широко развернуты из-за

<sup>1</sup> Автор этой статьи Н. К. Федоренков.

<sup>2</sup> По сведениям из периодической печати максимальная высота, достигнутая ракетами Тиллинга, была 10000 м.

отсутствия средств. Несмотря на это, были проведены сотни опытов и многочисленные подъемы ракет.

В настоящий момент вся работа по ракетам за границей засекречена, так как ракеты имеют, вполне понятно, военное значение.



Фиг. 2.

Во всяком случае, надо полагать, что работа над ракетами производится во всех странах и протекает достаточно успешно. Уже говорят о возможности подъема на небольшую высоту человека в ракете.

Работа над ракетой на жидком топливе должна состоять, во-первых, из работы над устойчиво работающим двигателем и, во-вторых, над достижением хорошего к. п. д.

Законченный двигатель должен быть смонтирован в ракету. Схемы ракет могут быть чрезвычайно разнообразны. Для пуска ракеты должен быть применен специальный станок. По особенностям топлива его заливка в баки ракеты должна производиться после установки в станок (фиг. 2). Далее следует пуск.

Нужно считать, что основные вопросы как двигателя, так и ракеты — решены. Поэтому уместно говорить о применении ракеты к исследованию стратосферы.

Дадим, предварительно, характеристику тех условий, в которых придется находиться метеорологическим и другим приборам при помещении их в ракету и при полете в ней.

3. В ракетном двигателе производится сжигание высококалорийных топлив, как, например, бензина, керосина, спирта в среде чистого кислорода или почти чистого, если мы в качестве окислителя станем употреблять азотные соединения кислорода. Такое сжигание отличается чрезвычайно высокими температурами горения. Порядок этих температур 3000—4000° абс.

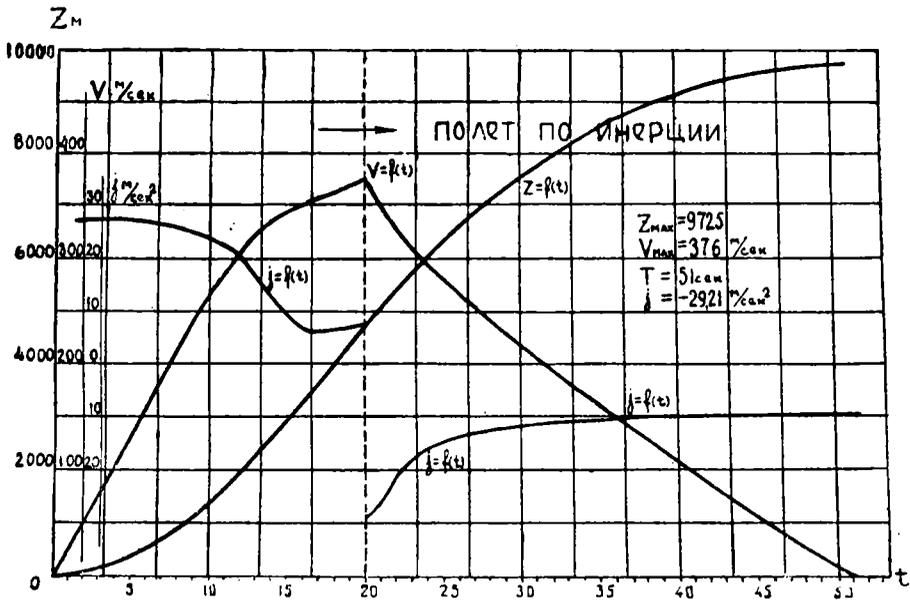
Без сомнения на поверхности двигателя температуры значительно ниже.

Окислителем очень часто служит жидкий кислород. Температура кипения его — 183° С. Кислород помещается на ракете в специальных баках, температура поверхности которых, следовательно, очень низка.

Метеорологические приборы, помещаемые в достаточной близости к ракетному двигателю, должны быть хорошо защищены от влияния как тех, так и других температур, для того, чтобы их показания в дальнейшем

не потеряли точности. Необходимость термоизоляции очевидна. Последнюю мы можем сделать достаточно надежной.

4. Подъем ракеты вверх характеризуется величинами ускорений и скоростей полета. Ускорения в небольших ракетах достигают значения 20—30 м/сек<sup>2</sup>. На диаграмме (фиг. 4) видно, что ускорение сначала уменьшается, благодаря возрастанию сопротивления воздуха со скоростью; оно достигает минимума около скорости полета, равной скорости звука, и затем опять несколько возрастает. После окончания работы двигателя



Фиг. 3.

ускорение меняет знак, так как реактивная сила исчезает, и ракета тормозится сопротивлением воздуха и силой тяжести.

Скорость движения ракеты возрастает во все время полета с работающим двигателем и достигает максимума 376 м/сек. для разбираемого примера (фиг. 3). Вообще для ракет обычно принят порядок максимальных скоростей за звуковой.

Спуск производится на парашюте со скоростью приблизительно 5 м/сек. Парашют выбрасывается специальным приспособлением в момент переворачивания ракеты в максимальной точке подъема. При падении вниз парашют раскрывается силой сопротивления воздуха.

Таким образом, приборы должны выдерживать все ускорения полета.

Как будто здесь значительных трудностей не предвидится, так как еще повидимому в 1921 г. появился ракетный метеорограф И. Кельцера,

выдерживавший на испытаниях ускорения около 50 м/сек.<sup>2</sup> Этот прибор поднимался ракетой на высоту 700 м.<sup>1</sup>

Большие скорости полета препятствуют получению точных замеров при полете вверх, так как приборы всегда имеют отставание в своих показаниях от действительных условий. Помещение приборов внутри корпуса ракеты и, следовательно, трудности, связанные с обдувкой их воздухом, что необходимо для правильности показаний этих приборов, также препятствуют получению точных записей.

В настоящее время достигнут правильный вертикальный полет. Устойчивость его достигается хвостовыми стабилизаторами, сделанными по типу, применяющемуся в самолетостроении. При подъемах на большую высоту, в разреженную атмосферу, эффективность их будет очень малой. Кроме того, возможные колебательные движения ракеты во время полета от воздействия различных внешних сил могут привести к тому, что полет из вертикального перейдет в полет по кривой. Наклонный полет уменьшит высоту подъема. Эти обстоятельства потребуют автоматического управления ракетой. Соответствующее конструктивное оформление не представляет каких-либо непреодолимых трудностей.

Крылатые ракеты вообще не могут летать устойчиво без автоматического управления. Подъем крылатых ракет производится аналогично самолету под действием тяги двигателя. По окончании работы мотора ракета летит по инерции и после достижения максимальной высоты начинает планировать. Вопросы полета крылатой ракеты решаются труднее, и она явится дальнейшей стадией развития обычных ракет, которым крылья понадобятся для спуска. И только следующим этапом явится помещение на таком аппарате человека и его полет за атмосферу.

5. Из всего сказанного вытекает ряд методов использования ракеты для производства исследований стратосферы. Как было указано, при подъеме соответствующие измерения метеорографами произведены быть не могут с достаточной гарантией их точности. Следовательно необходимо измерения производить при спуске ракеты на парашюте. При спуске с большой высоты скорость парашютирования будет значительной, но все же меньшей, чем при подъеме. Конечно, для такой ракеты могут быть сконструированы специальные парашюты с меньшей скоростью опускания.

Наилучшая обдувка приборов воздухом получается тогда, когда они находятся вне ракеты. Это вполне возможно осуществить при спуске на парашюте. Парашют, выбрасываемый специальным приспособлением в высшей точке подъема, может вытащить из ракеты и приборы.

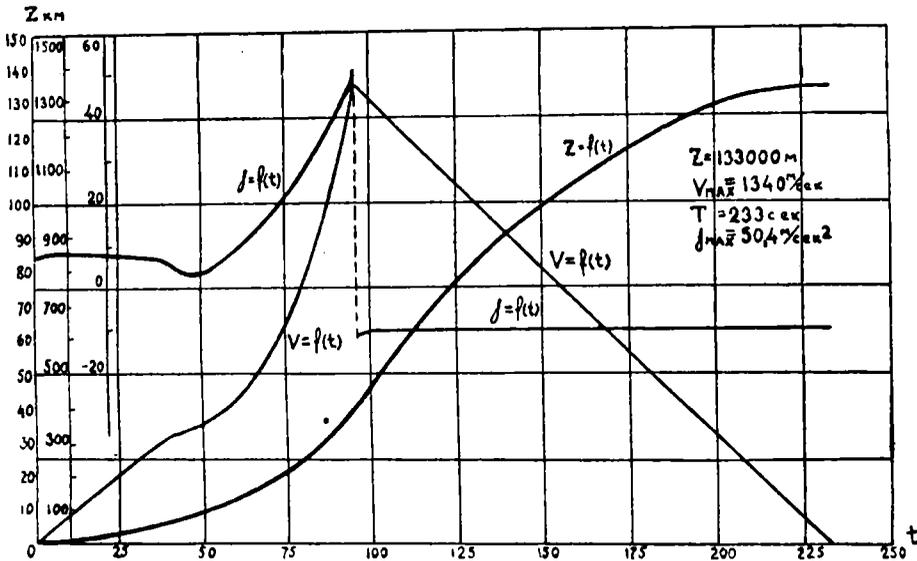
Трос, которым ракета скреплена с парашютом, должен быть сделан достаточной длины. Приборы должны представлять собой одно компактное целое и быть привязаны к парашюту отдельно так, чтобы усилия веса

<sup>1</sup> См. И. Бартельс, *Высшие слои атмосферы*, 1932 г. Бартельс в свою очередь делает ссылку на Kölzer, I., „Wetter“ 38, 153, 1921 г.; „ZS. Feinmech. u. Präzis.“, Nr. 6, 1928 г.

ракеты в момент раскрытия парашюта и полета вниз не заставляли работать ни одну часть прибора.

Вполне возможно, если это потребуется, сделать так, что момент выбрасывания парашюта будет и моментом пуска в ход часового прибора для вращения барабанов, на которых производится запись.

Другой метод отличается от предыдущего только тем, что приборы покидают ракету в высшей точке взлета и спускаются отдельно на своем парашюте.



Фиг. 4. Скоростная и высотная характеристики высотной ракеты.

Крылатые ракеты, спускающиеся планированием, не потребуют выбрасывания приборов наружу. Стратосферу они будут проходить почти горизонтально. Необходимо только осуществить хорошую циркуляцию воздуха через приборы. Ускорения подхода к земле такого аппарата безопасны для приборов.

Таким образом, замеры давления, температуры и влажности, мне кажется, могут быть произведены с достаточной точностью при помощи подъема приборов на ракете. Имеющиеся метеорографы для шаров зондов могут быть применены и здесь. Они достаточно малого веса (около 200 г).<sup>1</sup> Необходимо только предусмотреть влияние на них больших ускорений, что не трудно, судя по метеорографу Кельцера.

Надо заметить, что так как записи приборов должны производиться при вертикальном движении их с достаточной скоростью, то чувствительность

<sup>1</sup> Метеорограф системы проф. П. А. Молчанова. См. его же „Краткий курс аэрологии“, 1933 г.

приборов должна быть повышена. На ряду с этим необходима разработка новых приборов с моментальной фиксацией внешних условий, для снятия характеристики которых они предназначены.

б. В заключение рассмотрим перспективы современной ракетной техники.

Нас интересуют, главным образом, максимальные высоты, рассчитывать на получение которых мы можем, а также условия, в которые будут поставлены наши приборы, поднимаемые на эти высоты.

Без преувеличения надо считать, что высота в 25—30 км есть высота реальная для самого ближайшего времени. Высоты же в 100 и более километров могут быть достигнуты в самом недалеком будущем.

Но не следует молчать и о трудностях, стоящих на пути к этим достижениям. Высокие подъемы требуют очень больших запасов горючего в ракете, доходящих до 80% от начального веса ракеты. Вес конструкции, следовательно, должен быть чрезвычайно малым. Конечно, стоимость одного подъема на такую высоту будет значительной.

Диаграмма (фиг. 4) характеризует полет такой высотной ракеты.

Остается справедливым все сказанное ранее о полете ракеты. Ускорение при взлете равно 9 м/сек.<sup>2</sup> Эта величина достигает минимума в 4 м/сек.<sup>2</sup> при звуковой скорости полета. После перехода этой точки ускорение увеличивается и при окончании работы двигателя равно 50.4 м/сек.<sup>2</sup> Наибольшая скорость равна 1340 м/сек.

Раскрытие парашюта для спуска такой ракеты, несмотря на то, что выбросится он в верхней точке подъема, произойдет с запозданием, в виду практически полного отсутствия воздуха на такой высоте. Поэтому ракета будет сначала в состоянии свободного падения.

Здесь опять надо сказать о необходимости разработки приборов, позволяющих производить замеры в этих условиях.

В дальнейшем, в более плотных слоях атмосферы движение ракеты замедлится сопротивлением воздуха и раскрывшимся парашютом.

Без сомнения чрезвычайно заманчивым является подъем при помощи ракеты на такую высоту человека.

В настоящий момент данный вопрос надо считать открытым, так же, как и подъем человека при помощи ракеты на значительно меньшие высоты. Но возможность такого полета не представляет ничего невероятного. Как правило, обычно приборы и различные приспособления и механизмы первыми проникали в области, трудно доступные человеку, и уже следом за ними шел сам человек.

Работа в направлении мощных высотных ракет тесно связана с вопросами материала, отличающегося достаточной прочностью при малом весе, с вопросами наиболее активного горючего, при применении которого можно было бы снизить вес ракеты.

Очень распространено мнение, что наиболее активным топливом является водород, сгорающий в кислороде. Мной обращено внимание, не

касясь практического применения, на реакции соединения кремния и бора со фтором, дающие еще лучшие результаты.<sup>1</sup>

Но необходимо еще более активное топливо.

Все эти вопросы нужно поставить перед научными институтами Академии Наук для их скорейшего разрешения. Очень важным и математически трудным является вопрос о наивыгоднейшей ракете, т. е. о ракете, которая для подъема на определенную высоту требовала бы минимального количества горючего. Эту задачу мы также ставим перед Академией.

Таким образом, в настоящее время ракета является новым могучим средством в технике освоения стратосферы. Она позволяет достичь чрезвычайно больших высот и в этом не имеет соперников. Использование ее для подъема регистрирующих приборов в стратосферу необходимо.

Для обеспечения этого следует при соответствующем институте организовать отдел стратосферных ракет; в основу плана его положить решения настоящей Конференции и обеспечить хорошую связь этого отдела с Академией Наук и ее научными органами.

---

<sup>1</sup> При этом продукты реакции получаются газообразными, что является чрезвычайно важным.



С. П. КОРОЛЕВ

## ПОЛЕТ РЕАКТИВНЫХ АППАРАТОВ В СТРАТОСФЕРЕ

В работах Конференции освещен широкий круг вопросов, касающихся изучения высших слоев атмосферы. И действительно, как говорит одно мудрое изречение: „Для того, чтобы победить врага, его нужно раньше как следует изучить“.

В последующем изложении мною будет освещен ряд отдельных вопросов в связи с полетом реактивных аппаратов в стратосфере, причем особо подчеркиваем — именно полетов, а не подъемов, т. е. движения по какому-то маршруту для покрытия заданного расстояния. Вопросы эти являются для ракетчиков большими вопросами, своего рода слабыми местами в нашей работе, и изложение их покажет Конференции не фантастические, а реальные задачи сегодняшнего дня, стоящие на разрешении.

Необходимо также оговориться, что из-за недостатка времени, а кроме того по ряду других причин, доклад мой будет в значительной мере носить конспективный характер.

Переходим к рассмотрению классификации существующих реактивных систем. В своем докладе, сделанном на Конференции, М. К. Тихонравов остановился на истории развития и основных определениях, поэтому классификацию даем в простейшем виде, разделив реактивные аппараты на группы, в зависимости от рода топлива, на котором работают установленные на них двигатели. В таком случае получаются три группы.

Первая группа — аппараты, снабженные реактивными двигателями на твердом топливе. В данном случае в качестве топлив могут применяться различные твердые термитные и пороховые составы. Работы с такого рода двигателями получили значительное распространение в Германии, где можно назвать имена Тиллинга, Опеля, Оберта и др.

Вторая группа — аппараты, снабженные реактивными двигателями на жидком горючем. Работы в этом направлении в настоящее время ведутся, можно сказать без преувеличения, почти во всех странах мира. Здесь можно назвать имена таких исследователей, как Оберт (Германия), Годдар (Америка), а также наших соотечественников: К. Э. Циолковского и недавно умершего инженера Ф. А. Цандер.

Третья группа — аппараты, снабженные так наз. воздушными реактивными двигателями. Эти двигатели являются по существу двигателями на жидком топливе, но только с той разницей, что при их работе необходимый для сгорания кислород берется из окружающего воздуха. Работу таких двигателей исследовали Лорен (Франция), проф. Б. С. Стечкин (СССР) и итальянский ученый — инж. Крокко.

Переходим к анализу некоторых характерных особенностей вышеуказанных систем в разрезе поставленной нами задачи.

Одной из отличительных черт аппаратов первой группы, т. е. снабженных реактивными двигателями на твердом топливе, является чрезвычайная кратковременность действия этих последних. В результате этого получается быстрое нарастание скорости, и ускорение достигает весьма значительных величин со всеми вытекающими отсюда последствиями для экипажа аппарата и его конструкции. Вообще говоря, работа реактивного двигателя на твердом топливе представляет не что иное, как реактивный выстрел. Попытки комбинировать такие двигатели в виде многозарядных батарей или устройство перезаряжающих приспособлений натолкнулись на большую конструктивную сложность, громоздкость и весьма значительный вес таких установок. Надо также отметить, что, помимо сказанного, работа с реактивными двигателями на твердом топливе является в достаточной мере опасной. Как пример можно привести гибель, в результате взрыва, лаборатории немецкого инженера Тиллинга со всем персоналом 10 октября 1933 г. И наконец одним из основных недостатков реактивных систем на твердом топливе является весьма невысокая энергоемкость последнего. Так, для пороха мы имеем около 900 калорий с 1 кг, что дает тягу 180—200 кг. По сравнению с некоторыми из существующих жидких топлив, обладающих теплотворной способностью до 10 000 калорий с 1 кг, эти цифры являются незначительными. Из вышеизложенного достаточно ясно видны пределы возможного применения аппаратов, снабженных реактивными двигателями на твердом топливе, или, вернее, невозможность применения этих двигателей для летательных аппаратов. Двигатели на твердом топливе имеют значение как источник большой мгновенной силы. Областью их применения может быть, как уже говорил в своем докладе Конференции В. И. Дудаков, облегчение взлета самолета или, иными словами, реактивный разгон его. Возможны также еще и иные специальные виды применения, но останавливаться на них я не буду.

Переходим к разбору второй группы аппаратов согласно установленной нами классификации, а именно к аппаратам, снабженным реактивными двигателями на жидком топливе. Необходимо отметить большое значение подобных конструкций, работа которых уже не является кратковременным реактивным выстрелом, а может продолжаться заданное время. В процессе работы такого двигателя возможно умышленное изменение режима, т. е. управление двигателем. В качестве компонентов окислителей

и топлив употребляются, как уже говорил М. К. Тихонравов, жидкий кислород или иные содержащие его вещества: бензин, спирт и т. д.

Рассмотрим весовые характеристики реактивных аппаратов, снабженных двигателями на жидком топливе. Первое — экипаж. Здесь речь может идти об одном, двух или даже трех людях, которые, очевидно, могут составить экипаж одного из первых реактивных кораблей. Во всяком случае, вес экипажа является величиной определенной и для нас достаточно ясной. Второе — жизненный запас. Сюда войдут все установки, приборы и приспособления для поддержания жизненных условий экипажа при его работе на большой высоте. Третье — кабина, которая очевидно будет герметической. Одним из конструкторов стратостата СССР, кажется тов. Годуновым, здесь был назван вес кабины около 500 кг. Возможно, конечно, что у ракетоплана каким-то образом можно будет сделать более легкую кабину, но, во всяком случае, порядок цифр, вернее их размерность, не будет очень сильно отличаться от привычных для нас величин.

И наконец последнее — конструкция. Конструкция должна отвечать трем задачам. Первое — допускать взлет и полет (набор высоты) в низших слоях, в тропосфере. Далее — полет с большими скоростями в стратосфере. И наконец планирование и посадка. В задачу моего доклада не входит изложение того или иного конкретного проекта реактивного аппарата для полетов в стратосфере, но приведенными выше рассуждениями я хотел показать, что реактивный аппарат вряд ли будет проще и легче по весу достаточно известных нам авиационных конструкций вообще и, в частности, стратопланов с обычной винтомоторной группой. Вес его будет измеряться не десятками, не сотнями, а, быть, может тысячей или даже парой тысяч килограмм и более.

Каковы будут условия взлета такого аппарата? Независимо от того, каким образом будет произведен взлет, можно сказать, что он будет происходить, по крайней мере в первой своей части, достаточно медленно. Это будет происходить, во-первых, потому, что организм человека не переносит больших ускорений. Ускорение порядка четырех допустимо, но и то в течение ограниченного времени. Кроме того, низшие, наиболее плотные слои атмосферы выгодно проходить с небольшими скоростями, так как в противном случае пришлось бы преодолевать весьма значительное сопротивление воздуха. Таким образом, мы видим, что и здесь реактивный летательный аппарат в период взлета и набора высоты весьма далек от тех сказочных скоростей (и, само собой разумеется, соответствующих им громаднейших ускорений), о которых мы так много читали и слышали. А раз так, то можно сделать наши первые выводы, что реактивный летательный аппарат как по своему весу, как и ряду других чисто конструктивных данных и габаритов, будет не так уже сильно отличаться от довольно известных нам стратопланов с высотной винтомоторной группой. Условия взлета и набора высоты реактивным аппаратом (вплоть до того момента, когда он достигнет значительных скоростей

или, быть может, перейдет на установившийся режим полета) будут до некоторой степени аналогичны условиям взлета и набора высоты обычными стратопланами. А если это так, то значит и потребные для этого мощности двигателей и их тяги будут порядка, близкого самолетным. Посмотрим, каковы будут в этом случае расходы топлива реактивных двигателей.

Как известно, состав смеси реактивных двигателей, работающих на жидком топливе и окислителе, составляет в пропорции около 1:4. Теплотворная способность смеси будет около 2000 калорий и получаемая тяга с 1 кг расхода смеси составит 220—240 кг. В таблице приведены величины расходов по тягам в 1 сек., в 1 мин. и в 1 час. Величины тяги двигателя взяты чисто условно и в данном случае равны 100 кг, 500 кг и 1500 кг. В пределах этих величин, возможно, как раз и будет находиться потребная тяга реактивного аппарата в момент его взлета, набора высоты и затем горизонтального полета.

Таблица расходов в кг горючей смеси в зависимости от тяги Р. Д.

Тяга	Реактивные двигатели на жидком топл.			Воздушные реактивные двигатели		
	Время			Время		
	в 1 сек.	в 1 мин.	в 1 час	в 1 сек.	в 1 мин.	в 1 час
100 кг	0.42	25.2	1 500	0.14	8.4	500
500 „	2.10	126.0	7 550	0.70	42.0	2520
1500 „	6.30	378.0	22 600	2.0	120.0	7500

Вычисления производились по формулам:

$$\text{Тяга: } \Phi = \frac{G}{g} V_{\text{ист.}} \text{ или } \Phi = \frac{Q \cdot 427 \cdot \eta_{\text{эфф.}}}{V_{\text{пол.}}}$$

где принято:  $G$  — секундный расход;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $V_{\text{ист.}}$  — скорость истечения;  $Q$  — полное сообщенное тепло;  $\eta_{\text{эфф.}}$  — эфф. к. п. д. агрегата;  $V_{\text{пол.}}$  — скорость полета.

В правой части таблицы приведены расходы, получающиеся у воздушных реактивных двигателей, о которых я буду говорить несколько дальше. В этом случае вычисление производилось по формуле:

$$\Phi = C_{\text{ф.}} \omega_1 \frac{\rho v^2}{2},$$

где принято:  $C_{\text{ф.}}$  — коэффициент тяги;  $\omega_1$  — площадь входного сечения двигателя;  $V$  — скорость движения.

Необходимо отметить, что приведенные в таблице величины расходов в значительной мере являются оптимальными, и их следует увеличить на 10—15%.

Данные, приведенные в таблице, достаточно говорят сами за себя и не нуждаются в каких-нибудь особых комментариях. Рекомендую эту таблицу вниманию конструкторов, собирающихся летать в стратосфере на аппаратах, снабженных реактивными двигателями на жидком топливе.

Необходимо оговориться, что метод характеристики полета реактивных аппаратов исключительно по продолжительности полета (что как раз и было допущено нами) будет не совсем правильным. Порядок скоростей реактивного аппарата практически будет значительно отличным от тех величин, которые мы имеем у земли. Кроме того, значительная часть пути будет пройдена аппаратом на планировании или при очень малой потребной тяге. Таким образом, общий баланс весов (включая сюда и вес горючего) будет гораздо более приемлемым. Но несомненно, что проблема уменьшения расхода топлива еще долгое время будет стоять как первоочередная, и, не разрешив ее, вряд ли удастся осуществить человеку взлет, полет по заданному маршруту через стратосферу на реактивном аппарате с жидкостным двигателем, завершив свое путешествие посадкой в заданном пункте. Задача же только подъема реактивных аппаратов на очень большие высоты, как мы видели из доклада инж. Тихонравова, может быть разрешена гораздо более легко.

В заключение разберем некоторые, наиболее актуальные вопросы работы реактивных двигателей на жидком топливе. Центральным вопросом является повышение полезной отдачи топлива. Из сравнения теплотворной способности 1 кг жидкой смеси (2000 калорий и 240 кг тяги) и 1 кг пороха (900 калорий и 200 кг тяги) и снимаемых при этом с 1 кг тяг, ясно видно несовершенство процессов, происходящих в реактивном двигателе на жидком топливе. Другим, немаловажным вопросом является получение сплавов с очень высокой температурой плавления для изготовления ответственных частей двигателя. Как пример можно указать на моторы немецкого инженера Оберта, который в результате многолетней экспериментальной работы добился продолжительности работы около 7 мин., не больше.

Затем, коль скоро мы имеем дело с большими расходами горючих компонентов, довольно трудной задачей является создание таких насосов или иных подающих устройств с расходом в секунду в 6, 10 и 15 кг какой-то жидкости. В день открытия нашей Конференции, приветствуя ее от имени ВОИЗ, т. Чудновский (если не ошибаюсь) брался силами изобретателей выполнить социалистический заказ для скорейшего завоевания стратосферы. От имени реактивщиков могу передать т. Чудновскому задание по топливам, по сплавам высокой огнестойкости, по насосам или иным устройствам для подачи больших расходов топлив и т. д. Можно упомянуть еще ряд неразрешенных вопросов, как-то: управление реактивным аппаратом, его устойчивость, вопросы посадки (что, как можно предполагать, будет делом далеко нелегким), необходимость

создания принципиально совершенно новых приборов для управления аппаратом, различных наблюдений и т. д.

Переходим к разбору последнего раздела нашей темы, к аппаратам, снабженным воздушными реактивными двигателями.

Получающиеся громадные количества топлив, которые нужны аппаратам с жидкостными реактивными двигателями, заставили техническую мысль искать какое-то иное решение задачи. Естественно, что при полетах с большими скоростями возникла мысль об использовании кислорода, имеющегося в воздухе, как это делается в авиации. По этому поводу итальянский инж. Крокко говорит: „Речь идет о том, чтобы при движении захватывать окружающий воздух, сжимать его под давлением, достаточным для создания хорошего коэффициента полезного действия двигателя, затем, подавая распыленное топливо, сжигать его при постоянном давлении и наконец дать возможность расширяться продуктам горения для достижения скорости, превышающей скорость засасываемого воздуха. Производство массы воздуха, проходящего в данный промежуток времени, на этот выигрыш скорости и даст необходимую движущую силу нашему аппарату“. Необходимо отметить что воздушные реактивные двигатели могут работать только при условии сообщения им какой-то начальной скорости — 60—80 м в сек. Для этой цели необходимо наличие постороннего источника силы, будь то жидкостный реактивный двигатель или несколько ракет на твердом топливе, действующих непродолжительное время. В таблице (стр. 852) приведены величины расходов топлива воздушных реактивных двигателей. Получается значительно более благоприятная картина. Расход топлива — примерно в три раза меньше, чем у аппаратов, снабженных реактивными двигателями на жидком топливе. Даже при наличии каких-то вспомогательных устройств для приобретения начальной скорости, общий весовой баланс аппаратов с воздушными реактивными двигателями будет довольно благоприятным. Необходимо указать, что воздушные реактивные двигатели смогут быть применены на высотах не более 30—35 км, так как тяга их изменяется пропорционально плотности воздуха. Преимущество таких двигателей, по сравнению с высотными винтомоторными группами, у которых мощность также падает с уменьшением плотности, заключается, помимо несколько большего потолка, еще и в том, что на высоте будут возможны весьма значительные скорости полета. А у аппаратов с высотной винтомоторной группой, как мы уже тут слышали от тт. Розанова и Пышнова, наибольшая скорость полета в стратосфере едва ли превысит 700 км в час.

Перейду к заключению.

Из докладов на Конференции о стратопланах мы видели, что те полетные данные, которые можно получить при полетах с высотной винтомоторной группой, т. е. потолки порядка 15—20 км и наибольшие скорости порядка 500—700 км в час, весьма далеки от тех данных, которые принято ожидать при полетах в стратосфере. Предел высот и скоро-

---

стей у реактивных летательных аппаратов будет несомненно значительно выше, но задать сегодня эти цифры я не берусь из-за значительной пока что еще свежести этого вопроса и по целому ряду других соображений. Полагаю, что вопросы, освещенные мною в докладе, достаточно ясно показывают, как еще далеки мы от успеха. И если нет у реактивных аппаратов таких близких и низких пределов, как у стратопланов с винтомоторной группой, то все же до реального еще достаточно далеко.

Работа над реактивными летательными аппаратами трудна, но необычайно интересна и многообещающа. Трудности, в конечном счете, несомненно преодолимы, хотя, быть может, и с несколько бóльшим трудом, чем это кажется на первый взгляд.

---



Н. И. ВОРОГУШИН

## ОХЛАЖДЕНИЕ АВИОДВИГАТЕЛЕЙ В СТРАТОСФЕРЕ

1. Для надежной работы авиодвигателя необходимо, чтобы температура его деталей и циркулирующего в нем масла не превосходила определенных допустимых пределов. Повышение температуры выше этих пределов вызывает разложение масла, заедание трущихся поверхностей, размягчение металла подшипников и т. п. — надежность работы двигателя уменьшается.

Только при удачном решении вопросов отвода тепла от двигателя и рассеяния его в данных условиях можно надеяться на правильную работу двигателя.

С понижением плотности воздуха теплопередача охлаждающих поверхностей уменьшается, и есть основания утверждать, что при стратосферных полетах вопросы охлаждения потребуют много внимания, если не станут лимитирующими высоту подъема. Это относится не только к двигателю внутреннего сгорания, но и ко всем тепловым двигателям.

Целью настоящего доклада является отметить значительные трудности рассеяния тепла в условиях больших высот, показать, с чем приходится оперировать конструкторам авиомоторов и самолетов и сформулировать некоторые задачи, решение которых могло бы нас приблизить к освоению стратосферы.

2. Количество тепла, которое необходимо отвести в единицу времени от мотора, находящегося в установившемся состоянии, можно выразить равенством,

$$Q_{\text{охл.}} = Q_{\text{топ.}} - Q_{\text{эфф.}} - Q_{\text{выкл.}},$$

где

$Q_{\text{топ.}}$  — тепло, выделенное топливом,

$Q_{\text{эфф.}}$  — тепло, превращенное в работу на валу двигателя.

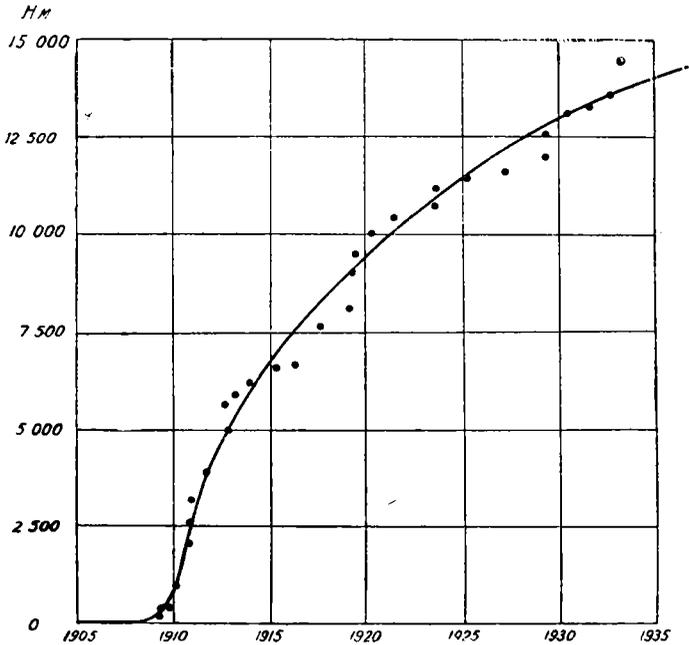
$Q_{\text{выкл.}}$  — тепло, ушедшее с выхлопными газами.

Средствами отвода тепла от двигателя являются или воздух, непосредственно омывающий двигатель, либо жидкость, циркулирующая около цилиндра двигателя и нагретых поверхностей, охлаждаемая, в свою очередь, воздухом в радиаторе.

Всякое охлаждение авиодвигателя есть, в конечном счете, воздушное, и о рассеянии тепла в воздух, главным образом, и следует вести речь.

Выраженное в процентах,  $Q_{\text{охл.}}$  составляет 18—25% от всего тепла, внесенного с топливом, из которого 8—13% передается через стенки цилиндра и днище (4.5% днище, 8.5% стенки), 1—2% получаются от трения поршня, 4—7% — от выхлопа (выхлопной патрубков).

Перечисленное составляет 13—22%, которые отводятся в радиатор, в случае жидкостного охлаждения. К этому надо добавить тепло, отводимое с маслом — 0.5—2%, тепло, снимаемое с картера воздухом — 1—3%.



Фиг. 1. Кривая рекордов высоты.

Для машин водяного охлаждения отводимое тепло составляет в среднем 18—22%, для машин воздушного охлаждения 15—20%. Все данные относятся к земным условиям работы моторов. Поставленные до сих пор рекорды высоты достигнуты на моторах воздушного охлаждения.

16 IX 1932 г. англичанин Uwin<sup>1</sup> поставил рекорд высоты в 13404 м с мотором „Pegasus“ фирмы Бристоль. Этот мотор на 3200 м высоты развивал 540 л. с. при 2000 об. в мин. Степень сжатия была равна 7. В этом полете было отмечено значительное возрастание температур картера (со 100 до 150°С к концу полета), и наблюдались затруднения с охлаждением масла (число масляных радиаторов пришлось увеличить от 5 до 13 и поставить еще один дополнительно).

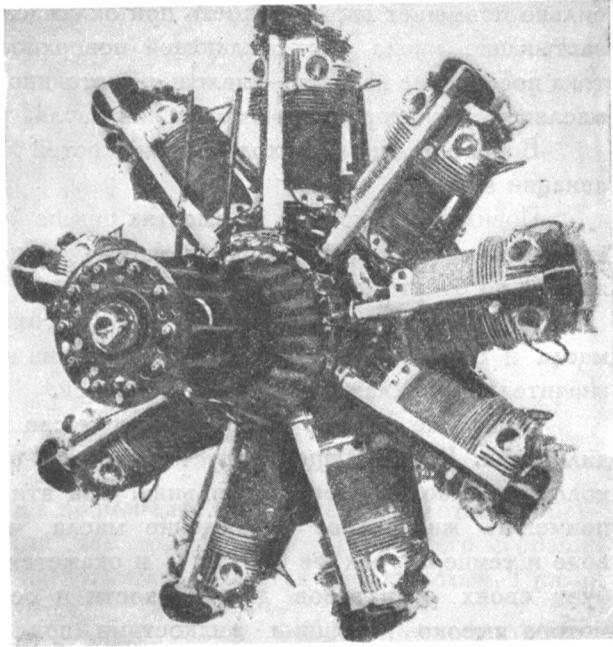
28 IX 1933 г. француз Lemoine с мотором „Mistral Major“ KRSd-14 поставил рекорд высоты в 13661 м.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Рекорд Лемуана побит итальянцем Ренато Донати (Donati), достигшим высоты 14 443 метра). Мотор „Pegasus“ такой же, как и у Uwin'a. Полет продолжался 1 час 13 мин. 50 сек. Достигнутая высота резко выходит из кривой достигнутых высот по фиг. 1.

Когда Лемуан спустился на землю после рекордного подъема, в баках самолета оставалось всего 2 кг горючего, т. е. на 3—5 минут работы двигателя.

Все данные, которые имеются об этих рекордных полетах, позволяют установить, что 1) по достижении потолка летчики немедленно начинали спуск; 2) вес аппарата, в том числе и топлива, берется предельно малый; 3) ухудшение теплоотвода на высоте весьма существенно сказывается на температурах двигателя и требует значительного увеличения поверхностей, отводящих тепло, а следовательно и весов.

Для подъема на дальнейшие высоты на тот же поднимаемый вес надо увеличить мощность, и вряд ли окажется возможным на цилиндре воздушного охлаждения разместить необходимую охлаждающую поверхность. На фиг. 2 изображен авиодвигатель „Pegasus“. Фиг. 3 изображает его цилиндры, а на фиг. 4 показаны сечения по литой и обработанной кругом ковкой головкам цилиндра воздушного охлаждения. По фиг. 3 и 4 видно, что дальнейшее эффективное оребрение затруднительно.



Фиг. 2. Авиомотор „Pegasus“.

В двигателях жидкостного охлаждения передача тепла воздуху выносится в радиатор. Тепло от двигателя всегда может быть отведено жидкостью, для его рассеяния поверхности радиаторов могут быть развиты значительно более. Таким образом, для полетов на очень больших высотах двигатель жидкостного охлаждения будет пригоднее.

Решает во всех случаях авиационный вес всей моторной системы.

В качестве охлаждающей жидкости вода потребует герметической системы, работающей под излишним внутренним давлением почти в атмосферу (на высоте), так как температура кипения воды резко падает с высотой. В окружающей температуре — 55—60° С всегда возможно переохлаждение отдельных уголков радиаторов, трубок и т. п., и замерзание воды может быть еще неприятнее, чем низкая температура кипения.

Желательно применение для охлаждения жидкостей с низкой температурой застывания, кипящих при высокой температуре и, понятно, индифферентных к металлам в условиях применения в авиомоторе. Желательна большая теплоемкость жидкости. Применяются: этилен-гликоль, глицерин, легкие масла.

Наиболее просто было бы охлаждение легким маслом, но масло сильно повышает свою вязкость при охлаждении, и в радиаторе возможно застывание масла у охлаждающей поверхности и образование горячего тока посередине каналов — явление, постоянно встречающееся в воздушно-масляных радиаторах для охлаждения масла, циркулирующего в моторе.

Вопрос подбора подходящих жидкостей является весьма важной для авиации задачей.

Повидимому, полеты на высотах свыше 14500 м возможны лишь при жидкостном охлаждении, пока температуры цилиндров воздушного охлаждения не будут снижены значительно.

Обслуживающее охлаждение, т. е. охлаждение циркулирующего масла и особенно воздуха, выходящего из нагревателя, требуют также значительных охлаждающих поверхностей.

Выше уже сказано о застывании масла в воздушно-масляных холодильниках. К тому еще следует упомянуть о трудностях проталкивания холодного масла через холодильник. Оба эти обстоятельства заставляют применять жидкостное охлаждение масла, что хорошо получается при воде и температурах ее 80—85° С и окажется недостаточным или потребует своих радиаторов для жидкости и особой сети при охлаждении мотора высоко кипящими жидкостями при температурах охлаждения 130—150° С, тогда как масло в современном моторе должно иметь температуру не выше 80—100° С.

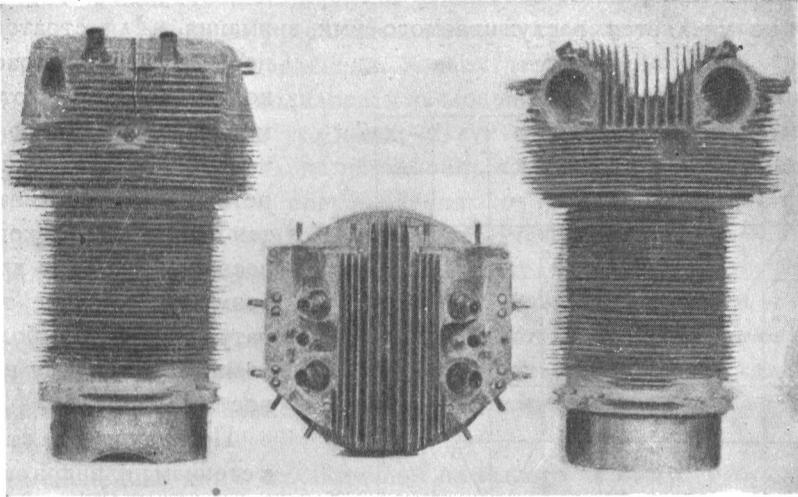
Температура воздуха, идущего для питания мотора, сильно повышается при его поджати в нагнетателе.

Следующая таблица показывает, какие примерно будут температуры воздуха на различных высотах за нагнетателем (одноступенчатым) при поддержании давления в нагнетателе, равного земному.

Высота	Наружная $t^{\circ}$	Повышение $t^{\circ}$ на нагнетателе	$t^{\circ}$ воздуха за нагнетателем
5 000	—17.5	79.5	57
8 000	—37	120	83
11 000	—56.5	167	110.5

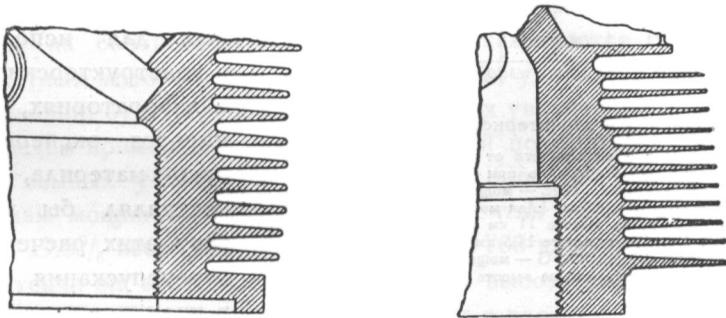
При применении современных топлив, во избежании детонации, эти температуры должны быть снижены, и воздух придется пропускать через холодильники.

Воздушные холодильники при сравнительно малых температурных перепадах оказываются мало эффективными и дают заметную слагаемую в весе моторной установки, увеличивая и сопротивление самолета.



Фиг. 3. Цилиндры двигателя воздушного охлаждения.

По фиг. 5 видно, что без применения нагнетателей полеты на большую высоту с современными нам двигателями внутреннего сгорания невозможны, и применение нагнетателей является необходимым. При их



Фиг. 4. Разрез головки цилиндра двигателя воздушного охлаждения.

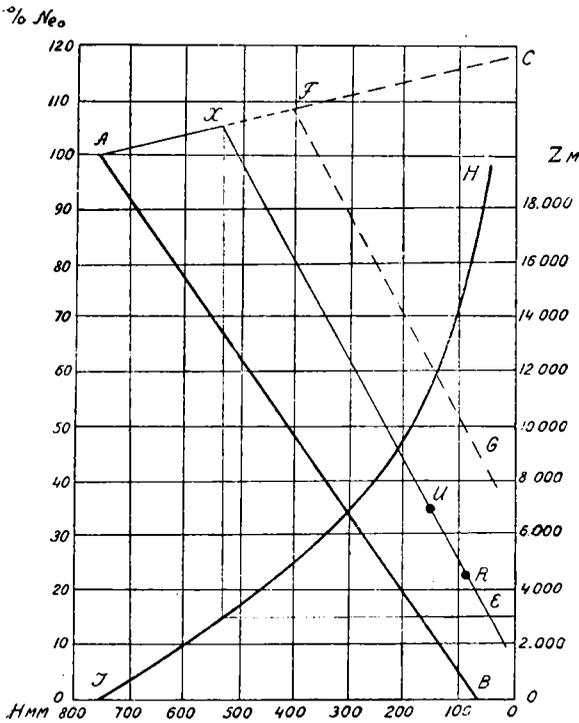
применении количества тепла, подлежащие отводу от двигателя, на высоте могут уже возрастать, в зависимости от высотной характеристики мотора.

3. Для надежного функционирования мотора температура стенок не должна превосходить предела, определяемого качеством 1) смазки, 2) топлива, 3) металлов конструкции, 4) работой запальных свечей.

Течение тепла от газов в стенки (через детали двигателя в охлаждающую среду) и путь тепла трения до сих пор мало изучены в двигате-

лях, несмотря на их важную, а подчас и решающую роль. Не будет ошибкой сказать, что вопросы форсировки двигателей в главнейшей их части есть вопросы отвода тепла через детали двигателя.

К сожалению, из-за сложности в теории и эксперимента, этим вопросам не уделяется заслуживаемого ими внимания. Для стратосферного же двигателя расчеты



Фиг. 5. Высотная характеристика двигателя.

Мощность авиомоторов в зависимости от высоты: AB — мощность невысотного мотора. AC — мощность при поддержании во всасыв. трубе постоянного давления. ADE — мощность мотора, имеющего макс. мощность на высоте 3200 м. (Для мотора „Пегаз“ — на высоте 3200 м 5,0 л. с. Uwin на высоте 11 км имел мощность 170 л. с. (точка U). У R. Donati на высоте 14,5 км мощность была вероятно всего 115 сил (точка R) (!). AFG — мощность мотора, имеющего макс. мощность на высоте 5000 м.

количества тепла, отводимого в стенки, и вероятных температур стенок приобретают сугубый интерес, так как, с целью экономии весов, необходимо идти на возможно высокие температуры и не иметь больших „запасов в сторону надежности расчета“.

Передачу тепла от газов к стенкам цилиндра рассматривают сравнительно немного авторов. Следует отметить работы Герцфельда, Нуссельта Бриллинга, Репентина, Яклича.

Все эти работы или не приведены в вид, пригодный для использования в конструкторских бюро и в лабораториях, или мало имеется экспериментального материала, который составлял бы надежную базу этих расчетов. Роль лучеиспускания от газов

в цилиндре к стенкам оценивается весьма различно. Имеется еще несколько моментов, затрудняющих инженеров. Желательна экспериментальная проверка результатов этих расчетов, в особенности количества тепла, придаваемых стенкам от поршня.

По расчетам передачи тепла от цилиндров двигателей воздушного охлаждения и от поверхностей радиаторов имеется очень много работ. Но пользоваться ими для расчетов и при проектировании также затруднительно.

Громадную, почти решающую роль имеет характер и вид обтекания воздухом головки цилиндра, междуреберного пространства, радиаторов как в целом, так и между трубками.

Поэтому вопросы охлаждения на самолете не могут быть разрешены без аэродинамиков, и здесь очень большой интерес и значение будут иметь совместные работы аэродинамиков, теплотехников и мотористов.

В применении теории подобия и имеющихся формул и способов расчета к стратосферным условиям возникают сомнения, так как опытов при сильно пониженных давлениях, низких температурах и при высоких скоростях обдува не производилось, и насколько расчетные коэффициенты, полученные в нормальных условиях, будут отвечать стратосферным — неизвестно. Очень желательна постановка хотя бы самых элементарных опытов по теплопередаче при давлениях от 150 до 50 мм ртутного столба при скоростях обдува 40—100 м/сек. и температурах —30—60° С.

Подбор охлаждающих устройств и определение их качеств на практике на самолетах являются операциями очень дорогими и, главное, требующими очень много времени. Они для стратосферных условий окажутся несравненно более сложными. Поэтому здесь особенно желательно предварительное проведение исследовательских и хорошо обоснованных расчетных работ.

До последних лет с охлаждением на высоте не было недоразумений так как моторы были невысотными или с небольшой высотностью. С подъемом на высоту способность к отводу тепла охлаждающей системы падала медленнее, чем количество тепла, подлежащее отводу от мотора.

Поверхностей хватало, или они оказывались избыточными против земных условий, наблюдалось переохлаждение двигателей и требовалась экранировка охлаждающих поверхностей.

Для моторов с большой высотностью количества тепла, подлежащие отводу на соответствующих высотах, оказываются большими, чем для невысотных моторов, и поверхности отвода, удовлетворительные для земных условий, будут требовать значительных увеличений.

Приведем примерный подсчет, сделанный по данным Репентина.

Для земных условий в моторе типа „Юпитер“ при 2150 об./мин. эффективная мощность равна 510 л. с. Репентин считает, что в стенки переходит 19.5<sup>0</sup>/<sub>6</sub> всего тепла топлива или 28 760 кал./час.

Это тепло он относит к трем поясам по высоте цилиндра. Скорости обдува значительно уменьшаются от головки к картеру.

Получается следующая таблица:

П о я с ы	Скорость воздуха	Количе- ство отво- димого тепла кал./час.	t° стенки цилиндра		Ковфф. тепло- перехода к воздуху	Ковфф. теплопере- хода от газа к стенке (внутр.)
			наружн.	внутр.		
I . . . . .	40	20 330	240	277	474	2020
II . . . . .	12	6 015	210	215	140	775
III . . . . .	5	2 415	190	196	70	388

Если подсчитать изменение коэффициента теплопередачи для первого пояса с высотой при скоростях 40 и 100 м/сек., принимая по Репентину

$$\alpha = K \delta \frac{\lambda_b}{d^{0.214}} \left( \frac{V C_{pm} \gamma}{l_m} \right)^{0.786},$$

то значения  $\alpha$  для первого пояса будут

Z метр =	0	5000	10000	15000
V = 40 м/сек.	474	330	222	126
V = 100 м/сек.	975	695	468	265

т. е. способность рассеивать тепло у охлаждающих поверхностей уменьшается на 15 000 м против земного в 3.76 раза,

Чтобы составить представление о величине потребного обребнения, инж. ЦИАМ А. П. Белуевым был проделан следующий расчст.

Предполагается, что в вышеуказанном двигателе давление во всасывающей трубе не меняется до высоты в 5000 м. Обдув мотора происходит со скоростями по поясам 100, 30 и 12.5 м/сек. Количество тепла, переходящее в стенку цилиндра от газов непосредственно и через днище поршня, принимается зависящим от среднего индикаторного давления следующим образом.

По формуле Нуссельта-Бриллинга коэффициент теплоперехода, зависящий от соприкосновения, выражается

$$\alpha = 0.99 \sqrt[3]{P^2 T_g} (1 + 0.185 c_m).$$

Допуская справедливость этого выражения для всего хода поршня, принимая, что температура газов мало изменяется при постоянстве состава смеси и принимая, что в качестве давления можно вставить в эту формулу среднее индикаторное давление, то отношение

$$\frac{(Q_{gas})_z}{(Q_{gas})_o} = \left[ \frac{(P_i)_z}{(P_i)_o} \right]^{0.66}$$

будет выражать изменение количества тепла, получаемое стенками цилиндра от газа при неизменных оборотах.

В зависимости от мощности, развиваемой на разных высотах, подсчитаны количества тепла, которые надо отвести, и определены потребные для рассеяния тепла поверхности ребер из условия неизменности температур стенки, определяемых требованиями работы двигателя,

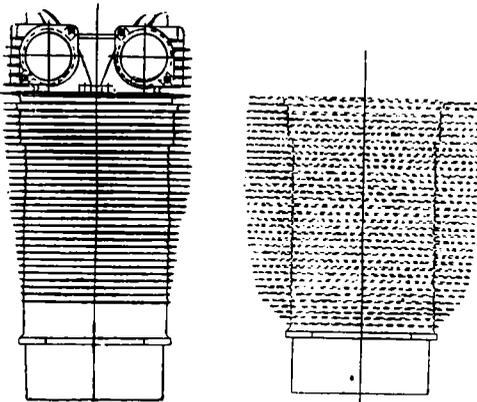
На фиг. 6 изображено изменение количества тепла и коэффициент теплоперехода в зависимости от высоты для двигателя, высотная характеристика которого дана на фиг. 5.

Для высоты 15 000 м получается обребнение, изображенное на фиг. 7.

Наверное такое оребрение работать не будет, так как протекание воздуха между ребрами очень стеснено. Если даже приведенный расчет признать утрированным, показатель степени 0.786 в уравнении для  $\alpha$  велик. Пай дает 0.736, Нуссельт 0.716<sup>6</sup>, Рейер—0.567. Все же картина получается вполне определенной.

То же самое можно показать и для радиаторов.

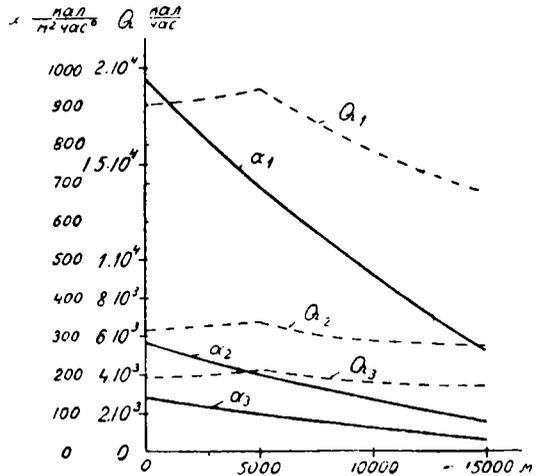
Следует отметить еще некоторые особенности работы мотора в стратосферных условиях. Низкие температуры окружающего мотор воздуха увеличат неравномерность в температурах отдельных частей мотора и будут вызывать добавочные напряжения. Идущие вне картера трубопроводы охлаждающей жидкости и масла подвержены будут застыванию, о чем уже упомянуто выше. Таким образом, становится вопрос о тепловой изоляции трубопроводов картера и других деталей.



Фиг. 7. Оребрение цилиндра двигателя „Юпитер“, полученное по расчету для высоты 15 000 м.

проектировщик стратоплана и его мотора, вытекает необходимость достаточно больших работ по вопросам охлаждения.

Мотористам и аэродинамикам с этими вопросами справиться будет трудно, и необходимым является участие физиков и теплотехников.



Фиг. 6. Изменение количеств тепла и коэффициента теплоотдачи.

Необходимо также учитывать влияние солнечного освещения. Если принять, что поток тепла от солнца дает 1.7 грамм-калорий на 1 см<sup>2</sup> в минуту, то это составит 1020 кал./м<sup>2</sup>/час. Считая, что только 1/8 этого тепла будет поглощаться поверхностью, то это составит 340 кал./м<sup>2</sup>/час., и поверхности охлаждения будут нагреваться.

Радиаторы и моторы, следовательно, должны быть экранированы от прямых лучей солнца.

Из приведенного краткого обзора обстоятельств и затруднений, с которыми должен иметь дело

Выводы из опытов и расчетов по охлаждению в применении к авиомоторам и их охладительным устройствам должны быть проверены „в целом“ или на работе действительной установки в высотных условиях, что очень затруднительно, или на элементах конструкции на земле в высотных условиях.

Кроме вопросов, связанных с течением и отводом тепла, есть еще целый ряд их, связанных с протеканием сгорания, действием зажигания, величиной мощности и т. д., вопросов, подлежащих также экспериментальному разрешению для обеспечения надежных стратосферных полетов.

Для изучения поведения моторов в высотных условиях в ряде стран созданы так наз. высотные камеры, в которых мотор заключается в закрытую камеру, и, при работе мотора на тормоз, в камере понижается температура, и устанавливается пониженное давление. Обычно высотные условия в камерах соответствуют высотам в 6000—8000 м. Построить высотную камеру для испытания мощных моторов в стратосферных условиях очень дорого и технически трудно, вследствие огромных количеств тепла, проходящего через авиомотор, которое должно быть в конечном счете все рассеяно.

Возможно применить прием, обычно теперь употребляемый при разрешении тепловых и термодинамических вопросов и вопросов, касающихся зажигания и свечей, это — проведение опытов над одноцилиндровыми двигателями, имеющими тот же цилиндр или в точности отвечающими цилиндру изучаемого мотора. А. П. Валуевым в МАИ разработан проект камеры, которая представляет собой закрытую аэродинамическую трубу, изолированную с поверхности, с камерой Эйфеля, которая выполнена с размерами  $2.5 \times 2$  м в плане и имеет 2.5 высоты. Посередине камеры устанавливается одноцилиндровый двигатель с испытуемым цилиндром как жидкостного, так и воздушного охлаждения. Мощность двигателя поглощается электродинамометром, расположенным вне камеры справа. Обдув цилиндра и циркуляция воздуха через холодильные змеевики, расположенные в канале среди камеры, осуществляется вентилятором, приводимым в действие электромотором извне.

Расчетные данные камеры следующие.

Мощность цилиндра на высоте 15 000 м — 35 сил, высотность цилиндра 5000 м. Температура в камере минимум — 65. Давление — по стандартной атмосфере. Подсчеты показали, что общая работающая мощность при испытании составляет примерно 450 сил. Холодильная установка составляет главную часть стоимости сооружения камеры. В камере, кроме двигателей, возможны любые испытания, напр. радиаторов и холодильников, материалов (с установкой разрывной машины в камере), аппаратуры, приборов (физиологические и медицинские) и т. д.

Такая камера для одних авиомоторных испытаний не была бы полностью нагружена. Вряд ли какому-нибудь из институтов под силу ее сооружение только для своих нужд. В случае же кооперативного ее

сооружения и использования, она могла бы быть осуществлена и конечно много раз оправдала бы свою большую стоимость ценностью и разнообразием полученных результатов, необходимых для достижения надежных и продолжительных полетов в стратосфере.

Из всего изложенного следуют выводы:

1. Охлаждение авиодвигателей современного типа, достаточно форсированных наддувом, на больших высотах очень затруднительно.
2. Точность расчетов отвода тепла по формулам, основанным на теореме подобия, в условиях больших высот не известна.
3. Методика расчетов течения тепла в двигателе и его системах разработана недостаточно.
4. Для расчета охлаждающих систем в стратосферных условиях необходимо проведение ряда экспериментальных работ, обеспечивающих установление правильной и надежной методики расчетов.
5. При проектировании охлаждающих устройств необходимо учитывать действие солнечных лучей.
6. Для выполнения работ по овладению охлаждением необходимо сотрудничество физиков, аэродинамиков, техлотехников и мотористов.
7. Для проведения опытов с одноцилиндровым двигателем и с конструктивными элементами (отсеками) охладительных устройств желательно сооружение высотной камеры. Камера должна быть использована также для серий других испытаний и исследований, требующих давлений и температур, соответствующих стратосферным высотам.
8. Не дожидаясь сооружения высотной камеры, следует теперь же заняться вопросами теплоотвода в условиях высотных давлений.



В. А. ЧИЖЕВСКИЙ

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТРАТОПЛАНА, ЕГО КОНСТРУКЦИЯ И ДЕТАЛИ

Прежде чем приступить непосредственно к теме, я отмечу несколько общих моментов.

Если рассмотреть исторически постепенность достижения высот самолетами, то можно отметить следующее.

Со времени появления первого самолета для завоевания первых 6 км высоты потребовалось всего лишь четыре года. На завоевание последующих 7 км и установление для самолета рекорда высоты в 13 661 м потребовалось уже более 20 лет.

Объясняется это тем, что высотный полет требовал наличия легких авиационных моторов, а для достижения высот свыше 8—9 км—применения особых устройств — импеллеров, которые, захватывая окружающий атмосферный воздух, сжимают его и в таком виде подают в двигатель. Конструкция этих импеллеров весьма сложна, и удачные образцы их с большой степенью сжатия насчитываются единицами.

На сегодня проблема полета на самолете в стратосфере в значительной своей части есть проблема стратосферного двигателя.

Второй момент — получение больших скоростей.

В настоящее время мы имеем рекорд скорости — 682 км, установленный Анджелло (Италия), причем для достижения этой скорости потребовался мотор мощностью 3000 л. с., а если бы мы захотели достигнуть еще большей скорости, от мотора потребовалась бы такая мощность, какой современный мотор дать не может.

Перед нами два пути — либо получить большую скорость, применяя все большую и большую мощность, — либо мы можем сопротивление воздуха уменьшить, поднявшись на большую высоту, где воздух имеет меньшую плотность, а следовательно оказывает и меньшее вредное сопротивление полету самолета. Как известно, для каждой данной скорости имеется одно значение плотности воздуха, при котором сопротивление его будет минимальным.

Это можно представить на следующем графике (см. фиг. 1).

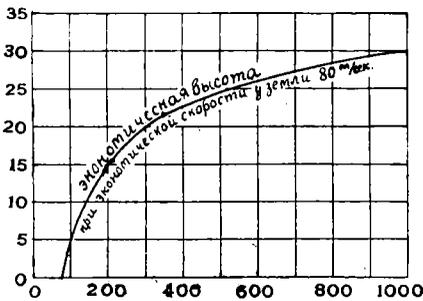
В очень высоких слоях, где сопротивление будет мало, можно получить весьма большие скорости, при сравнительно небольших мощностях.

Наша задача будет сводиться к тому, чтобы достигать скоростей, не упираясь в лоб сопротивления воздуха, а стараясь обойти это сопротивление воздуха, совершая полет в соответствии с кривой графика 1.

Рассматривая с точки зрения аэродинамики полет в стратосферу на летательных аппаратах тяжелее воздуха, можно наметить три случая:

1. Полет по законам аэродинамики,
2. Полет за пределами действия нормальных законов аэродинамики,
3. Полет вне воздушной среды.

Первый случай — это обычные полеты современных самолетов, имеющих профилированные крылья и обычные авиационные моторы.



Фиг. 1. Зависимость экономической скорости от высоты полета.

Сопротивление воздуха здесь следует законам квадрата скорости, потребные для полета мощности пропорциональны кубу скорости.

Второй случай — это полеты на больших скоростях, приближающихся к звуковым и сверхзвуковым скоростям. В этом случае сопротивление воздуха начинает следовать законам баллистики, очень быстро возрастая с возрастанием скорости. Чрезвычайно возрастают и потребные мощности. Так, по исследованиям многих теоретиков для полета

небольшого самолета со звуковой скоростью у земли требуется мощность порядка 30 тыс. л. с. Благодаря же уменьшению плотности воздуха по мере увеличения высоты, потребная мощность для полета такого самолета с той же скоростью на высоте 30 км будет составлять только 2—2,5 тыс. л. с.

Третий случай — полет вне воздушной среды возможен лишь при применении реактивных двигателей, и полет такого самолета будет происходить на совершенно особых основаниях, в настоящий момент почти не разработанных. Однако развитие работ по реактивным двигателям требует постановки уже сейчас задачи управления летящим аппаратом помощью только реактивных сил, создаваемых реактивными двигателями аппарата.

Рассматривая эти три случая полета, мы можем сказать следующее.

Первый случай полета освоен.

Второй — изучается и подлежит последовательному освоению, причем здесь следует отметить, что осуществление его у земли ограничивается теми мощностями авиационных двигателей, которыми мы располагаем сейчас. Перенесение этого полета на большие высоты ограничивается чрезмерным утяжелением нагнетающих приспособлений, увеличение размеров которых и количества ступеней по мере поднятия на высоту приводит к тому, что на высотах 17—20 тыс. м эти приспособления берут от

мотора на приведение их в действие такую большую мощность, что остающейся мощности начинает нехватать для поддержания полета. Мотор начинает работать сам на себя.

Высоту 20—22 тыс м можно считать абсолютным потолком самолетов, снабженных авиационным двигателем.

Совершение полетов на высотах больше 20 тыс. м требует применения двигателей, могущих работать независимо от окружающей их среды. В качестве таких двигателей могут быть использованы реактивные двигатели, интенсивная разработка которых ведется почти во всех странах, но пока еще нет законченных образцов.

Вот почему на сегодняшний день из летательных аппаратов тяжелее воздуха, пригодных для полета в стратосфере до высот 20 тыс. м, является стратоплан (стратопланом мы называем самолет с высотным авиационным двигателем)

В данном докладе я коснусь рассмотрения технических требований к такому стратоплану.

Следует отметить ошибочность довольно распространенного мнения, что достаточно самолету проникнуть стратосферу на высоту 15—20 тыс. м как скорость его полета сможет достигнуть значения 700—900 км в час.

Мы знаем, что скорость полета на высоте и потребная мощность для горизонтального полета на том же режиме изменяются обратно пропорционально корню квадратному из относительной плотности воздуха:

$$\frac{V_h}{V_0} = \sqrt{\frac{1}{\Delta}}; \quad \frac{N_h}{N_0} = \sqrt{\frac{1}{\Delta}},$$

где:

$V_0$  — скорость полета у земли,

$V_h$  — скорость полета на высоте,

$N_0$  и  $N_h$  — соответственные потребные мощности,

$\Delta$  — относительная плотность воздуха.

Если возьмем, например, самолет, имеющий скорость полета 200 км в час и требующий мощность для полета в 200 л. с., то на высоте 15 тыс. м для полета на этом же режиме потребуются скорость в  $2^{1/2}$  раза большая, а чтобы обеспечить эту скорость требуется и мощность в  $2^{1/2}$  раза большая, но это условие как раз не удовлетворяется современным состоянием авиационного самолетостроения.

Статоплан имеет своей целью изучение условий полета на высоте:

1) проверка работы мотора, 2) проверка работы герметической gondoly, 3) проверка работы экипажа в условиях герметической gondoly, 4) изучение полетных свойств самолета.

Первое и основное требование, которое мы должны предъявить к стратоплану — это малый вес, малая нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  несущей поверхности. Я здесь приведу конкретный ответ, который мы получили при исследовании одного из самолетов. Если нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  будет 47 кг,

если, не меняя конструкцию самолета, эту нагрузку снизим до 37 кг, то это даст нам выигрыш в потолке 500 м.

Второе требование — хоршее относительное удлинение крыла. Здесь мы получили следующую закономерность: когда относительное удлинение  $\lambda$  увеличивается в пределах от 5 до 10—13, то в этих пределах это увеличение играет большую роль, но когда переходит к  $\lambda$ , большей 13, то там роль  $\lambda$  падает, примерно, в таком порядке: если мы, имея самолет, где  $\lambda=11$  и не меняя веса, сумели бы сделать крыло к этому самолету с  $\lambda=13$ , то получим выигрыш в 600 м в потолке. Дальнейшее увеличение  $\lambda$  будет вести к увеличению веса и даст в конечном итоге отрицательные результаты. Так, если при том же весе увеличить  $\lambda$  с 13 до 15, то выигрыш в потолке составит всего лишь 300 м, но очевидно, что выполнить крыло с таким большим удлинением, не увеличив веса, не возможно. Для стратоплана мы можем остановиться на  $\lambda$  порядка 11—13, в этих пределах можно получить достаточные результаты.

Третье требование — это хорошая обтекаемость: убирающееся шасси, все зализано.

Я должен сказать, что, все-таки, в данный момент основное требование это — требование к винтомоторной группе. Если мы будем иметь винтомоторную группу хотя бы порядка 2 кг на л. с., то, имея такую винтомоторную группу, которая сохранила бы потребную мощность до 15 тыс. м, мы могли бы взять потолок 17—18 тыс. м. Конечно, винт с переменным шагом, потому что если винт хорош для скорости полета у земли, то на высоте, не меняя шага, мы не сможем получить необходимую тягу. Наоборот, если мы подберем винт для высоты, то самолет не сможет оторваться от земли.

Стратоплан должен обладать хорошей устойчивостью и управляемостью, штопор для стратоплана на сегодня необходимо исключить. Летчик, находясь в тяжелых условиях, в тесной гондоле, должен иметь аппарат послушный и достаточно устойчивый.

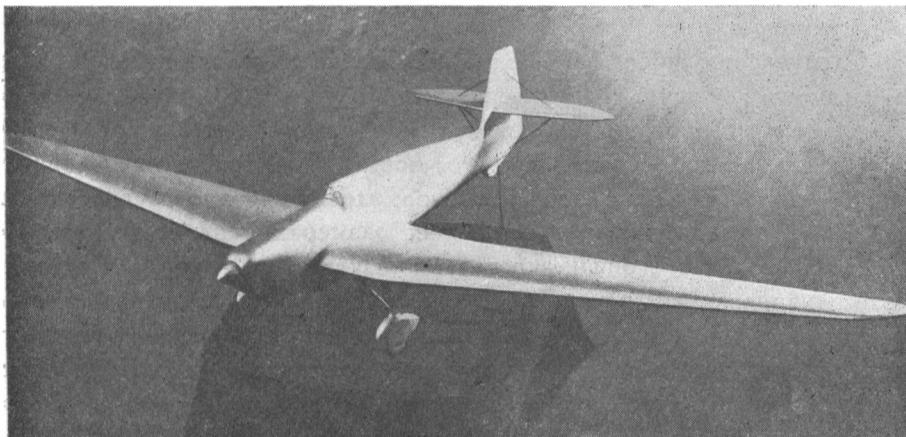
Относительно норм прочности, поскольку мы исключаем штопор, мы можем принять перегрузку для крыла  $n=4$  и даже  $n=3.5$ , если будем ставить вопрос о полетах на максимальную высоту — о рекордном самолете.

Моторная рама должна быть съемной, а сам фюзеляж должен быть сконструирован так, чтобы допускать постановку различных моторов, имеющих различные импеллеры. Различные веса моторов могут сильно влиять на центровку самолета, поэтому фюзеляж должен допускать различный вынос моторов. Это требование выставляется постольку, поскольку сейчас мы не имеем законченной винтомоторной установки, и потому необходимо обеспечить возможность постановки на стратопланы различных моторов в целях ускорения эксперимента.

Далее перехожу к вопросу управления. Различные материалы, употребляемые на проводку управления, и материалы, из которых сделаны крылья, могут привести к различным изменениям длины крыльев и органов

управления при изменении температуры. Здесь может получиться так, что органы управления будут зажаты или станут туго управляемыми.

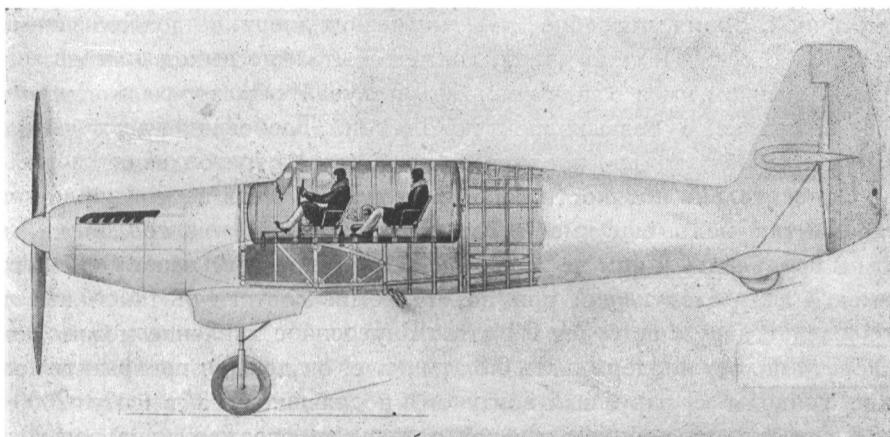
Не менее важный вопрос — смазка органов управления. Опыт показал, что при температуре  $-50, -70^{\circ}$ , масло затвердевает так, что повернуть



Фиг. 2. Вид модели стратоплана.

рычаг нельзя. Следовательно, смазывать детали надо либо какой-то специальной, незамерзающей смазкой, либо вообще не смазывать.

Вопрос о материалах, которые должны идти на постройку стратоплана, до сих пор остается мало выясненным.



Фиг. 3. Боковой вид стратоплана.

Те работы, которые были проделаны в Ленинграде и в Москве, сигнализируют об очень интересных явлениях следующего порядка: по мере понижения температуры материал почти сохраняет свой коэффициент прочности, очень мало изменяется и удлинение; казалось бы, все благо-

получно, но испытание материалов на удар показывает, что материал становится более хрупким, как бы приближаясь по своим свойствам к стеклу. Таким образом, этот момент надо учесть и при выборе того или другого материала для стратсплана, нужно подходить критически с точки зрения того, будет ли этот материал хорошо работать в условиях низкой температуры.

Следующее требование — одно из основных требований: стратоплан должен иметь хорошую герметическую гондолу.

Какие же требования мы должны предъявить к гондоле?

Прежде всего — полная герметичность. Это требование очевидно. Второе — хороший и достаточный обзор; здесь довольно трудно сделать стекла, во-первых, прочные при больших размерах окна, во-вторых, сделать стекла так, чтобы они не запотевали изнутри и не замерзали снаружи. В этом направлении есть целый ряд предложений, одно из которых сводится к следующему: на выхлопную трубу мотора надевается кожух, воздух, проходящий через этот кожух, нагревается и по трубе подводится от мотора к окнам, здесь он мелкими струйками направляется на стекло окна, таким образом стекло будет обдуваться теплым воздухом, и возможность замерзания исключается. От запотевания изнутри применяется особая смазка, может быть установлен также „электрический дворник“.

Несомненно, надо поставить требование, чтобы хотя одно окно могло открываться, чтобы летчик в случае нужды мог идти на посадку, смотря через открытое окно.

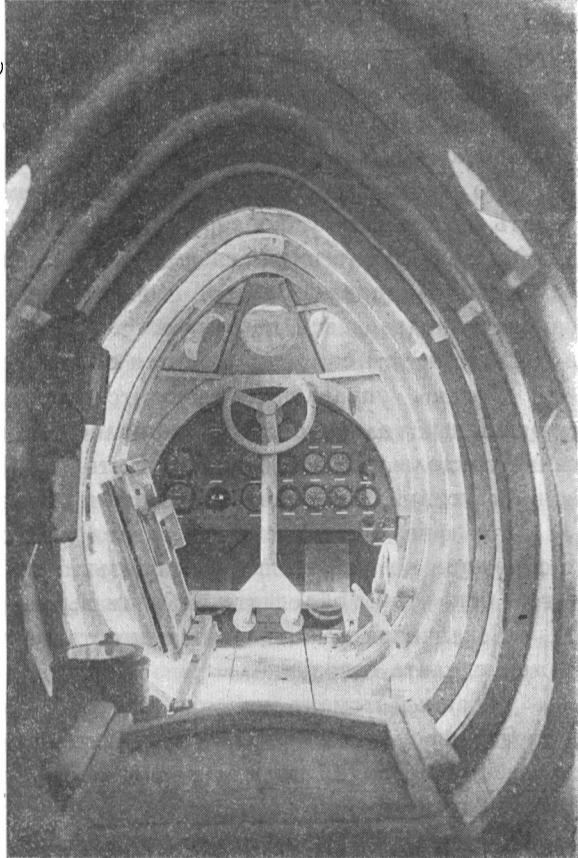
Следующий вопрос — дверь. Дверь гондолы должна быстро и безотказно открываться как снаружи, так и изнутри и быть абсолютно герметичной. Время, потребное для открывания двери, не должно занимать больше 5—8 сек. Помимо двери, должен быть еще выход или запасной люк над летчиком, имея в виду возможный случай катастрофы, когда пилот может оказаться в безвыходном положении. Требование двух выходов должно быть обязательно предъявлено к гондоле стратоплана.

Относительно прочности гондолы я думаю, что в настоящий момент, когда мы так мало еще имеем опыта с герметическими гондолами, мы должны предъявить к ним не менее чем шестикратный запас прочности. Я имею в виду следующее: при полете можно достигнуть такой высоты, где давление наружное будет 0.1 атм. Внутреннее давление можно рекомендовать пилоту поддерживать 0.8 атм., т. е. он должен прекратить сообщение гондолы с наружным воздухом, поднявшись на высоту 2000 м. Такое снижение давления ни в какой степени не отражается на организме человека, но в значительной степени понижает те напряжения, которые возникают в стенке гондолы. Поэтому, беря разность давлений внутреннего и внешнего, умножая на шесть, получаем 4.2 атм; это и будет разрешающее избыточное давление для гондолы.

Для поддержания внутри гондолы температуры, необходимой для нормальной работы пилота, гондола должна быть соответствующим образом

утеплена и иметь тот или иной способ подогрева. Подогрев может быть электрическим; можно также сделать отвод от выхлопных газов, пропуская которые через трубы, проложенные внутри гондолы, и регулируя заслонкой, поддерживать необходимую температуру.

Следующий вопрос, о котором здесь уже говорилось на заседании физиологической секции — это вопрос снабжения гондолы достаточным количеством воздуха. Для этой цели могут быть применены различные схемы. Первая схема: либо воздух подается из компрессора, который приводится в движение ветрянкой, стоящей на крыле, либо воздух помощью небольшой отводной трубки берется из импеллера и подается в кабину. В обоих случаях надо отфильтровать воздух от масла, попадающего из компрессора, и отрегулировать необходимую температуру подаваемого воздуха, для чего, может быть, потребуется установка небольшого воздушного радиатора. Для поддержания постоянного давления в гондole должны быть



Фиг. 4. Внутренний вид гондолы стратоплана.

установлены автоматически работающие клапаны-регуляторы. Взятие воздуха от импеллера на мощности мотора отразиться не может, потому что количество воздуха, потребное для питания гондолы, ничтожно по сравнению с кубатурой воздуха, проходящего через импеллер.

Вторая схема: в кабину подается кислород из специальных приборов — либо из баллона с сжатым кислородом, либо из аппарата, в котором испаряется жидкий кислород, либо из аппарата с так наз. сухим кислородом, где кислород образуется в результате химической реакции.

Углекислота, выделяемая человеком при дыхании, должна быть удалена. Для этой цели может быть использована машинка, обычно применяющаяся на подводных лодках. Работает эта машинка следующим

образом. Помощью электрического вентилятора воздух гондолы прогоняется через патроны со щелочью, которая поглощает углекислоту, при этом патроны сильно нагреваются и могут служить дополнительным источником тепла в гондоле.

Я не буду останавливаться на тех образцах стратопланов, которые уже на сегодня существуют за границей и которые частично пытались подняться в стратосферу. С ними можно хорошо познакомиться, пользуясь авиационной литературой.

В виде иллюстрации приведу некоторые данные проекта, который разработан под моим руководством.

По настоящий день остается спорным вопрос, следует ли гондолу делать независимо от конструкции самолета, т. е. вкладывать ее в фюзеляж, прикрепляя легкими связями, или включить ее в общую конструкцию самолета. Я держусь первой точки зрения, так как во втором случае самолет, подвергаясь нагрузкам в полете, может вызвать деформации в гондоле, и тем самым нарушится ее герметичность.

Органы управления выводятся из гондолы наружу при помощи специальных сальников. Это наиболее трудный момент при конструировании гондолы. Выводы должны быть герметичными, не создавать дополнительных усилий, безотказно работать при низкой температуре.

На фиг. 4 представлен разрез макета гондолы. Гондола имеет скользящие по направляющим полозьям сидения, откидывающиеся кроме того в бок, чтобы облегчить пилотам выход из гондолы.

Заканчивая доклад, я должен остановиться на выводах, которые мы можем сделать сегодня.

В данный момент мы можем прямо сказать, что основное в полете в стратосферу — это двигатель; двигатель решает вопрос полета в стратосферу. Конференция должна подчеркнуть необходимость скорейшей разработки и постройки стратосферного двигателя и, поставив этот вопрос перед соответствующими организациями, должна привлечь внимание к этому вопросу.

Надо отметить необходимость окончания в кратчайший срок постройки стратоплана, чтобы к моменту получения стратосферного двигателя успеть облетать стратоплан, установив на него обычный мотор, наладить работу герметической гондолы и всех специальных устройств.

Если мы получим мотор даже с весом 2 кг на л. с., который сохранял бы соответствующую мощность, то можно совершить полет на 16—18 тыс. м, и мы получим новое средство для изучения стратосферы.

Полет в стратосферу может быть совершаем в любую лётную погоду, и мы сделаем большой шаг в деле завоевания стратосферы.

В. А. ЧИЖЕВСКИЙ

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГОНДОЛЫ СТРАТОСТАТА „СССР“ И ЕЕ КОНСТРУКЦИЯ

Вопрос о том как построить, как сделать надежную, хорошую гондолу представляет интересную и довольно трудную техническую задачу.

Интерес, который за этот год пробудился в широких кругах наших инженерно-технических сил в связи с полетами стратостатов, чрезвычайно велик.

Я постараюсь здесь остановиться на основных моментах, с которыми мы сталкиваемся при решении этого вопроса.

Проблема полета в стратосферу может быть разделена на две задачи: первая — найти такой способ передвижения по воздуху, который позволил бы человеку достигнуть стратосферных высот (имеется в виду 12—20 км и выше) и продержаться там требуемое количество времени. Эта задача решается по линии стратостатных полетов, полетов на стратопланах (обычные самолеты, имеющие специальные высотные авиационные моторы и герметическую гондолу) и ракетопланах (специальный самолет с очень малой поверхностью крыльев, на котором установлена ракета или реактивный двигатель).

Первенство на сегодняшний день принадлежит стратостатам: стратостат „СССР“ установил 30 IX 1933 г. мировой рекорд, достигнув высоты в 19 тыс. м. Вероятно, в ближайшие два года стратопланам удастся достигнуть высоты 15—17 км, и только когда появятся ракетопланы, которые смогут теоретически достигать любых высот, можно будет считать, что первая задача будет полностью решена.

Вторая задача стратосферного полета — это создание в полете таких условий, при которых человек мог бы безопасно существовать на любых высотах и иметь возможность вполне надежно управлять теми летательными аппаратами, которые его поднимают в стратосферу.

Рассмотрению решения этой второй задачи и посвящается настоящий доклад.

Научными исследованиями и жизненной практикой установлено, что человеческий организм может выдерживать длительное пребывание на высотах 4—5 тыс. м, без заметного нарушения деятельности его органов. На высотах от 5 до 14 тыс. м человек может существовать, но при этом

требуется искусственное добавление кислорода во вдыхаемый человеком воздух. Кислород подается из баллонов или специальных приборов в маску, надеваемую на лицо. Аэронавты и пилоты снабжаются специальными теплыми комбинезонами, имеющими электрические подогреватели.

Кратковременное пребывание без масок возможно для человека и на высотах свыше 5 тыс. м (примерно до 8 тыс. м), но при этом у человека появляется сонливость, притупление восприятия внешних явлений, и при сколько-нибудь значительном физическом или умственном напряжении человек может потерять сознание и погибнуть. Такие случаи имели место в истории воздухоплавания не один раз.

Подъем свыше 14 тыс. м для человека невозможен, хотя бы он дышал одним чистым кислородом: давление воздуха на этих высотах достигает всего лишь 100 мм Hg и ниже. Кислород, попадая в легкие, смешивается с водяными парами и углекислотой, и из общего давления 100 мм Hg на его долю приходится всего лишь 20 мм, а эта величина является критической, и дальнейшее ее уменьшение приостанавливает жизнь человека.

При поднятии на высоты 9—13 тыс. м человек испытывает, кроме того, чрезвычайно большие неудобства от раздутия кишечной полости, которая давит на брюшную перегородку, стесняя дыхание. У многих людей появляются сильнейшие боли в суставах, головные боли и т. п. Объясняется это тем, что у человека в различных частях тела имеются небольшие пустоты, заполненные азотом. При падении внешнего давления, азот, заключенный в этих пустотах, начинает расширяться и давить на близ находящиеся ткани, что и вызывает боль. У некоторых индивидуумов это наблюдается в такой степени, что делает совершенно невозможным поднятие их на высоты порядка 12 тыс. м.

Из вышеизложенного ясно, что для пребывания человека на высотах свыше 14 тыс. м, помимо обеспечения его достаточным количеством кислорода, необходимо поддержание нормального атмосферного давления в окружающей его среде. Можно допустить и несколько сниженное давление, но во всяком случае оно не должно быть ниже 0.8 атм, что соответствует высоте около 2 тыс. м и не оказывает вредного влияния на организм человека.

Для поддержания давления в среде, окружающей человека, при подъеме на высоту в настоящее время применяются два способа: либо человек надевает специальный герметический костюм, либо помещается в герметическую гондолу.

Герметический костюм изготавливается из воздухо непроницаемого материала достаточной прочности, чтобы выдерживать разность давлений внутреннего и внешнего. Для предохранения человека от замерзания костюм имеет электрические подогреватели. Применение костюма для длительного пребывания мало пригодно, так как раздутие костюма стесняет движения человека, а малейшее нарушение герметичности может погубить человека.

В будущем такой „стратосферный костюм“ будет незаменимой и постоянной принадлежностью стратосферных кораблей, когда экипажу понадобится на короткий срок выйти из герметической гондолы для производства тех или иных работ на поверхности корабля.

Герметическая гондола весьма удачно разрешает вопрос о пребывании человека в стратосфере. Создание гондолы представляет довольно сложную задачу в виду многогранности требований, предъявленных к ней.

Какие же требования мы должны предъявить к гондоле?

Гондола должна быть абсолютно герметичной; вмещать необходимое количество людей, давать хороший обзор во все стороны; допускать свободное управление клапаном; иметь надежное устройство для сбрасывания балласта; иметь быстро закрывающиеся и открывающиеся герметические люки; подставку-амортизатор, которая предохраняла бы гондолу от удара при посадке с большой скоростью; в гондоле должна поддерживаться необходимая температура. При всем этом вес гондолы должен быть минимальным.

Вот те требования, которые мы предъявляем к гондоле стратостата.

Рассматривая эти требования, я буду останавливаться на том, как они были разрешены при конструировании гондолы стратостата „СССР“.

Прежде всего при проектировании гондолы нужно остановиться на выборе ее формы. Как известно, шаровая поверхность является идеальной для сосудов, имеющих избыточное внутреннее давление, почему мы и остановились на шарообразной форме гондолы.

Формула для напряжений в стенке шара имеет следующий вид:

$$Z_{\max} = \frac{p \cdot R}{2\delta},$$

где  $p$  — разность давлений внутреннего и внешнего,

„  $R$  — радиус шара и

„  $\delta$  — толщина стенки.

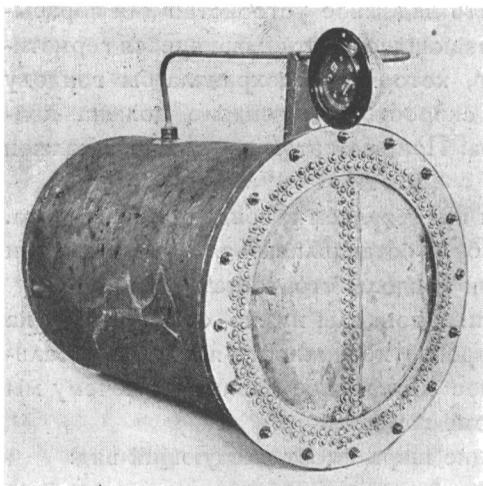
Напряжение в стенке прямопропорционально внутреннему давлению, радиусу гондолы и обратнопропорционально толщине стенки.

Эта формула, видимо, многими забывается, и некоторые конструкторы пытаются осуществить гондолу не в виде шара, а, на пример, в виде квадрата, переходящего вверху в конус. Между прочим на этот путь стали ленинградские конструкторы при проектировании гондолы стратостата „Осоавиахим“. На выставке вы видели результаты испытания такой гондолы: как только дали в нее избыточное давление, сейчас же плоская стенка потеряла устойчивость и выпучилась, в углах образовались складки и морщины.

Далее эта формула говорит следующее: чем больше мы берем диаметр гондолы, тем больше будет напряжение в материале. Значит, мы должны брать диаметр гондолы максимально меньшим, таким, чтобы только дать свободу действий помещающимся там людям и суметь хорошо разместить научные приборы и оборудование.

Толщина стенки говорит о следующем: чем толще мы возьмем стенку, тем меньше будут в ней напряжения, т. е. нам выгодно брать материалы с малым удельным весом. Мы остановились на кольчуг-алюминиевом материале, легко поддающемся обработке и имеющем малый удельный вес. Если взять высокосортную сталь, то можно было бы из условий прочности стали взять эту стенку порядка 0.5 мм и тоньше, но тогда в случае небольшого удара при посадке эта стенка получит большие деформации.

Далее, необходимо было выбрать конструктивную схему.



Фиг. 1. Бачок для испытания швов на герметичность.

Можно сделать гондолу либо из толстых стенок всю сплошную, либо можно взять тонкую стенку и подкрепить ее целым рядом профилей, круговых шпангоутов, либо, наконец, сделать отдельно силовой каркас, за который подвешивается сама гондола и к которому крепятся все приборы и грузы, и этот каркас обтянуть тонкой металлической пленкой.

Первые две схемы менее удобны потому, что 1) крепление оборудования и приборов требует большого количества кронштейнов, крепящихся к стенке, а следовательно вызывающих местные нагрузки на стенки гондолы; 2) подвеска гондолы к газовой

оболочке требует помещения гондолы в специальную сетку, что мешает размещению люков в боковой стенке, и 3) различные по величине деформации стенки и каркаса будут вызывать значительные дополнительные напряжения.

Мы остановились на третьей схеме, потому что она более рациональна по следующим соображениям: каркас принимает на себя вес сосредоточенного груза, вес балласта, вес людей, вес приборов, а шаровая оболочка идеально работает на восприятие разницы давлений внутреннего и внешнего.

Остановившись на кольчуг-алюминии, надо было решить задачу, каким образом эти кольчуг-алюминиевые листы склепать в одно целое.

Вопрос герметичности шва потребовал целый ряд экспериментов. Это испытание мы производили на специально сделанном бачке: делали серию клепаных швов, привинчивали к бачку, внутрь которого подавался воздух из компрессора, и избыточное давление доводилось до 3 атм.

Таким образом, проверяя герметичность швов, мы остановились на двурядном шве со специальной промазкой.

На фиг. 1 представлен вид бачка для испытания швов.

Каркас гондолы состоял из 8 вертикально идущих кольчуг-алюминиевых труб, оканчивающихся вверху и внизу 8 стальными узлами, имеющими пластинки, посредством которых каркас соединяется со стенкой гондолы. Восемь верхних узлов имеют уши, к которым крепятся стальные тросы, идущие от подвесного обруча, соединенного с 24 стропами, спускающимися от газовой оболочки.

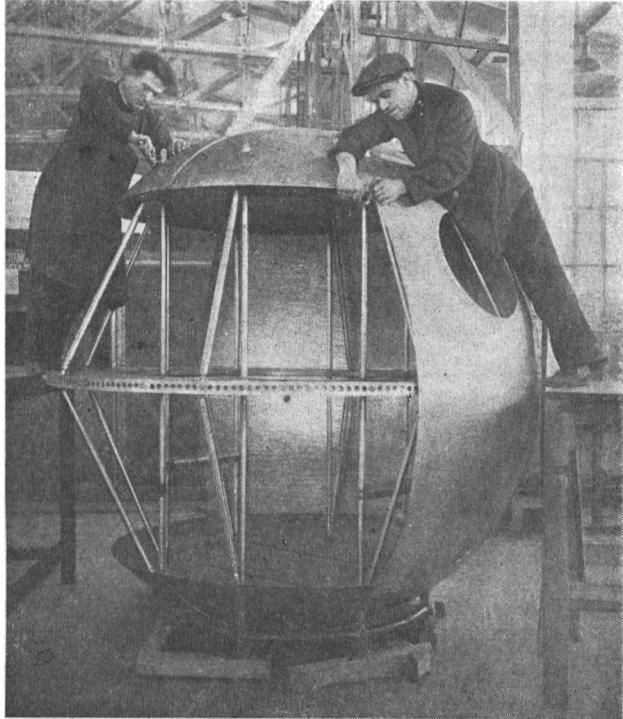
К ушам 8 нижних узлов крепится стальное кольцо с башмаками, в которое заделываются восемь ног посадочной амортизации и к этому же стальному кольцу крепится второе кольцо, на которое подвешиваются мешки с балластом. Таким образом, при старте вся нагрузка от подвешенного балласта не затрагивает самой гондолы, передаваясь от балластного кольца на стальное кольцо и амортизационную подставку.

К нижним узлам каркаса крепятся балки, поддерживающие пол.

К середине 8 вертикальных труб крепится стол, идущий кольцом вдоль экватора шара. Стол дополнительно поддерживается восемью кольчуг-алюминиевыми трубами, идущими от верхних узлов, и восемью трубами, идущими к нижним узлам. Вся система труб, связанная балочками стола, дает монолитный каркас, весьма удобный для крепления к нему оборудования и приборов. Трубы каркаса и борта стола были обтянуты войлоком, чтобы предохранить пилотов от удара в момент посадки.

На фиг. 2 представлен снимок каркаса гондолы.

Следующий весьма интересный вопрос — это устройство входных люков. Их должно быть не менее двух, чтобы, во-первых: дать возможность пилотам в случае аварии быстро покинуть гондолу, выпрыгнув с парашютами через люк, и, во-вторых, выбраться из гондолы, если бы один из люков гондолы, опрокинувшейся при посадке, оказался обращенными к земле.

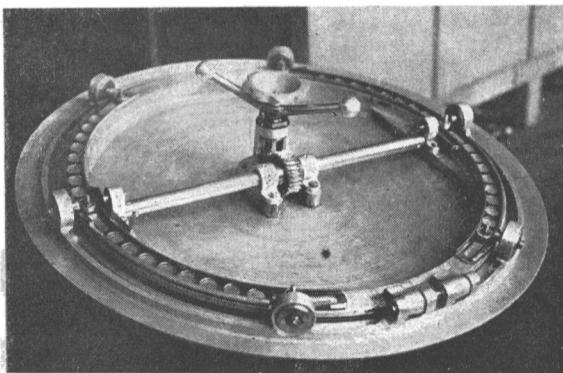


Фиг. 2. Вид каркаса гондолы — момент пригонки обшивки.

Люк открывался внутрь гондолы — это обеспечивало большую герметичность люка, так как внутреннее давление на люк весьма сильно прижимало его к резиновой прокладке, помещенной в паз кольца, вклепанного в стенку гондолы.

К запирающему механизму люка предъявляется требование: во-первых, обеспечить хорошую затяжку люка, во-вторых, допускать открытие люка как изнутри, так и снаружи и, в-третьих, допускать открытие люка в возможно короткий срок, желательно 5 секунд.

Дверка люка была отлита из силюмина; выступающая кромка дверки при запираании опиралась на резиновую прокладку и специальным механизмом плотно прижималась к ней.



Фиг. 3. Общий вид люка.

Прокладка была изготовлена из резины, повышенной эластичности, изготовленной Научно-исследовательским институтом резиновой промышленности.

На фиг. 3 представлен общий вид люка.

Для обеспечения видимости гондола должна иметь окна, которые позволяли бы смотреть вверх,

вниз и в стороны. Для этой цели в стенке гондолы были прорезаны 9 окон: одно вверх — для наблюдения за оболочкой стратостата, одно вниз — для наблюдения за землей и остальные по сторонам.

Желательно было сделать как можно больший диаметр окна, чтобы пилоты могли свободно наблюдать, но это желание сделать большой диаметр окна наталкивалось на то, что стекло, будучи плоским, плохо переносило избыточное давление. Был произведен целый ряд испытаний стекла и остановились на диаметре 100 мм и толщине стекла 8 мм. Испытания производились на вышеупомянутом бачке, причем, помимо испытания на избыточное давление, стекла, будучи под давлением, подвергались одновременно температурной нагрузке путем попеременного погружения бачка в кипяток и холодную воду. Стекло для обеспечения лучшей прозрачности было применено оптическое.

Если во время старта или во время полета случайно уроненный предмет разобьет стекло, то окно может прикрываться металлическим копаком, имевшим резиновую прокладку и зажимное устройство.

На фиг. 4 дан общий вид окна.

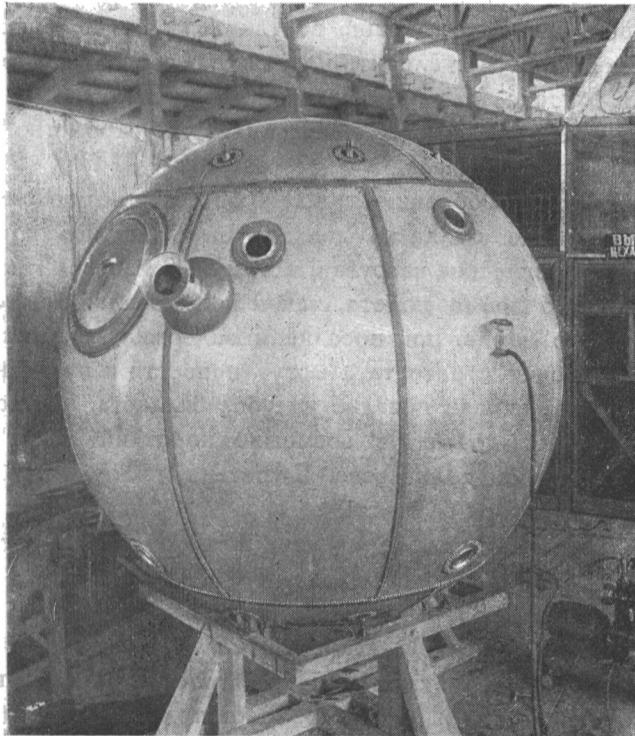
Устройство надежного управления клапаном — одно из главных требований, предъявленных к гондоле. Как известно, запутавшаяся



Фиг. 4. Общий вид окна.



Фиг. 5. Клапанное управление.



Фиг. 6. Испытание гондолы на герметичность.

и оборвавшаяся веревка в полете профессора Пикара причинила ему не мало беспокойств.

Вопрос управления клапаном усложняется тем обстоятельством, что при подъеме и спуске стратостата, вследствие изменения формы оболочки, меняется расстояние от клапана, находящегося в верхней точке стратостата, до гондолы. Если не обеспечить регулировку длины клапанной веревки, она может либо провиснуть и зацепиться за что-нибудь, либо получить натяжение и открыть клапан. Поручить регулирование длины клапанной веревки одному из пилотов нецелесообразно, так как в значительной степени отвлечет его внимание от других более важных задач.

На стратостате „СССР“ было применено оригинальное и вместе с тем весьма простое устройство. Через сальник, вклепанный в стенку гондолы, был пропущен вал, на внутреннем конце которого был укреплен штурвал, а на внешнем металлическая катушка. Перпендикулярно своей оси катушка имела отверстие, в которое пропускалась клапанная веревка. Благодаря грузику, подвязанному к концу клапанной веревки, она всегда находилась в слегка натянутом состоянии. Когда пилот начал поворачивать штурвал, веревка наматывалась на катушку, натягивалась и открывала клапан. Пилоту предъявлялось лишь требование после пользования клапаном вернуть штурвал в прежнее положение, при котором ось отверстия в катушке вертикальна. За правильностью положения катушки пилот мог следить через окно, расположенное против нее.

На фиг. 5 представлен вид клапанного управления.

Не менее важную задачу представляет и устройство приспособления для сбрасывания балласта.

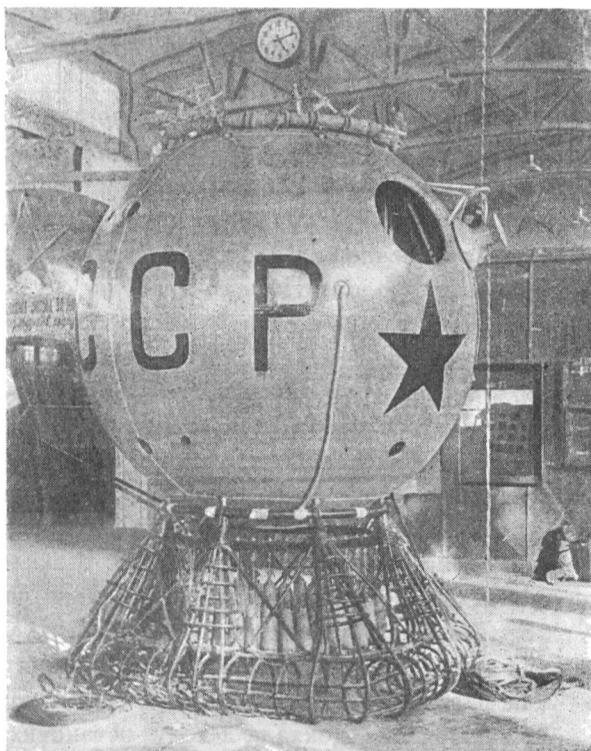
К этому приспособлению предъявляются следующие требования: во-первых, подвеска балласта должна быть вполне прочной, чтобы выдерживать динамические нагрузки, могущие появиться как при раскачивании гондолы во время полета, так и при посадке. Потеря балласта в момент удара о землю при посадке и задержка вскрытия разрывного устройства оболочки стратостата могут привести к вторичному подъему стратостата и дальнейшей посадке уже без балласта, что весьма опасно. Во-вторых, балласт должен в возможно короткий срок сбрасываться безотказно и в любом количестве. В-третьих, пилот должен точно знать количество оставшегося балласта.

Задача эта получила следующее конструктивное разрешение на стратостате „СССР“.

Балластное кольцо, о котором упоминалось выше, имело сорок отверстий. В отверстия снизу вставлялся валик, закантривавшийся сверху кольца шпилькой. К валику на стальных тросиках прикреплялся мешок с балластом. Все шпильки были последовательно соединены стальным тросом, который своим концом крепился к катушке, насаженной на вал, подобный валу клапанного устройства и пропущенный сквозь нижнюю часть стенки гондолы. На внутреннем конце вала находилась ручка.

При поворачивании ручки трос, наматываясь на катушку, выдергивал шпильку за шпилькой, расконтренный валик под тяжестью балластного мешка выскальзывал из отверстия кольца, и мешок, будучи привязанным к амортизационной корзине за нижний конец, опрокидывался, дробь высыпалась через верхний конец мешка. Таким образом, устранялись несчастные случаи, которые могли бы произойти, если бы дробь падала в виде тяжелых мешков.

Длина троса, соединявшего шпильки, была подобрана так, что при одном полуобороте вала вытаскивалась одна шпилька. Следовательно, если пилот хотел сбросить три мешка балласта, он должен был повернуть ручку на  $1\frac{1}{2}$  оборота. Хронометраж показал, что все сорок мешков балласта, в случае нужды, могут быть сброшены в 20 секунд. Кроме того, чтобы дать возможность пилоту видеть свой запас балласта, у двух окон гондолы снаружи были укреплены два зеркала,



Фиг. 7. Гондола в законченном виде.

при посредстве которых пилот видел подвешенные под гондолой мешки балласта. В качестве балласта была взята дробь вследствие ее большого удельного веса, компактности и хорошей сыпучести.

Чтобы предохранить гондолу от удара о землю, в случае если посадка будет происходить с повышенной скоростью, гондола была снабжена амортизационной подставкой, сплетенной из ивовых прутьев. Подставка крепилась к нижнему стальному кольцу. Путем статических и динамических испытаний подставка была подобрана с таким расчетом, чтобы при посадке со скоростью 5 м/сек. она ломалась и поглощала при этом работу падения. Перегрузка при этом получалась равной 6, что для человека не опасно. Принятый тип подставки был еще удобен тем, что являлся хорошим основанием для гондолы при нахождении ее на земле и позволял удобно разместить мешки с балластом.

Чтобы поддержать внутри гондолы нормальную температуру и избежать резких колебаний ее, вся гондола была обшита чрезвычайно легким оленьим войлоком, поверх которого была полотняная обшивка. Светло-голубая окраска должна была отражать в значительной степени солнечные лучи. Войлочная обшивка имела еще и то значение, что она в значительной степени устраняла термические напряжения, которые появлялись в кольчуг-алюминиевой обшивке гондолы вследствие высокой температуры со стороны, обращенной к солнцу, и весьма низкой температуры с противоположной стороны.

Многочисленные электрические провода, шедшие из гондолы к приборам, находящимся вне гондолы, были выведены следующим образом. Провод, оголенный на небольшом участке, пропаявался оловом и помещенный затем в металлическую трубку заливался изоляционной массой.

Для обеспечения пилотов кислородом в гондоле имелся аппарат с жидким кислородом. Помимо него, на случай потери гондолой давления, имелись баллоны с сжатым кислородом и индивидуальными масками.

Для удаления углекислоты, выделяемой пилотами при дыхании, употреблялись патроны со щелочью, через которые помощью электрического вентилятора прогонялся воздух кабины.

Особо тщательной проверке гондола подверглась в отношении герметичности. Для этого в гондолу накачивался воздух до давления 1.5—1.8 атм. Каждый шов, соединение фланцев внимательно обследовались, и все замеченные дефекты устранялись. В заключение испытаний гондола под давлением была оставлена на несколько часов, причем герметичность ее оказалась вполне удовлетворительной.

На фиг. 6 представлен момент испытания гондолы на герметичность.

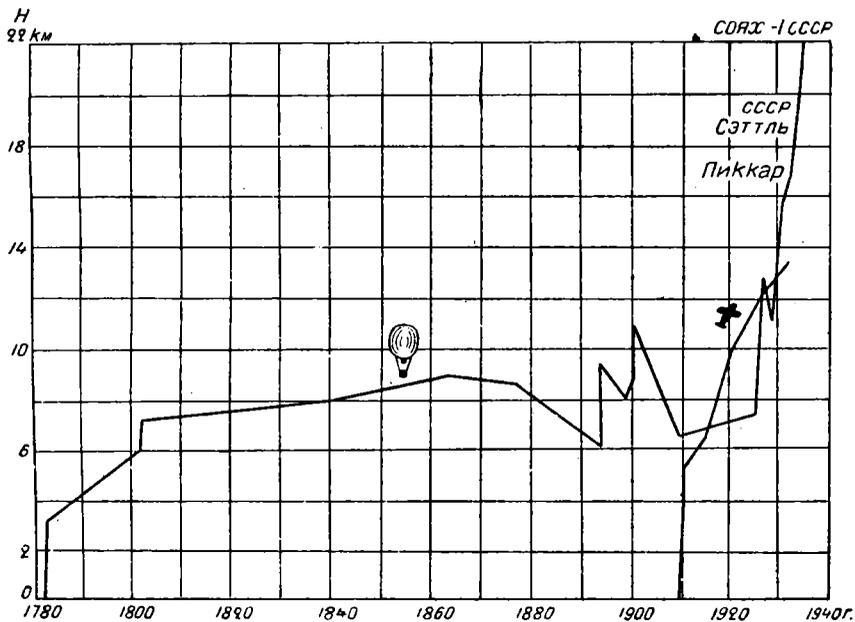
На фиг. 7 дан общий вид гондолы в законченном виде.

В заключение доклада я хочу остановиться на вопросе о безопасности полета на стратостатах. В связи с катастрофой стратостата „Осоавиахим-1“ мы получили целый ряд предложений, имеющих в виду обеспечить безопасность полета. Часть из них заслуживает внимания и расчетной и экспериментальной проверки. В большинстве своем они сводятся к устройству парашютов к гондоле, к обращению оболочки стратостата в парашют, к подогреву газа, взятию дополнительных запасов газа в сжатом виде и т. п. Много предложений, касающихся также гондолы стратостата. Некоторые предлагают делать раскрывающиеся гондолы, чтобы в случае катастрофы пилоты могли спастись на индивидуальных парашютах. Все эти предложения грешат одним недостатком: они увеличивают вес всей системы.

Я полагаю, что при соблюдении точности расчета стратостата, при правильном выполнении конструкции, при достаточном запасе балласта, если предусмотреть все возможные встречи в полете неожиданности — полет имеет все шансы на удачное завершение.

Е. Е. ЧЕРТОВСКОЙ  
СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТОСТАТЫ

I. Из всех средств современной воздушной техники наиболее удобным для целей спокойного и длительного исследования атмосферы как нижних, так и верхних ее слоев непосредственно самим человеком является воздушный шар — аэростат — стратостат.



Фиг. 1.

Если заглянуть в историю аэростата, то с момента его изобретения он явился самым доступным, надежным и верным средством в деле завоевания воздуха. И действительно, плавный, спокойный полет на аэростате, хотя бы по сравнению с самолетом, при отсутствии тряски мотора и шума пропеллера, создает из него прекрасную научную воздушную лабораторию.

Кроме того, до настоящего времени высотность аэростата, если мы рассмотрим фиг. 1, значительно выше высотности любого из современных летательных аппаратов. По сравнению с рекордной высотой полета самолета, на сегодняшний день аэростат имеет высотность, большую почти в 1.65 раза.

Далее, если сравнить аварийность летательных средств динамического движения с аварийностью аэростатов, то последняя представляется значительно низкой.

Все указанное выше наглядно демонстрирует в современных условиях воздушной техники аэростат — стратостат как средство для исследования атмосферы, имеющее следующие положительные качества: а) удобство для ведения в воздухе исследовательской работы; б) наибольшую высотность; в) относительную безопасность, а также дающее возможность совершать наиболее длительные по времени полеты.

II. Переходя к вопросу определения предельной высотности современных стратостатов, нам придется иметь дело с тремя основными величинами, решающими этот предел.

Эти величины следующие:

- а) Значительная степень разреженности воздуха<sup>1</sup> с высотой в стратосфере, вследствие чего
- б) значительное увеличение объемов оболочек стратостатов и отсюда
- в) значительное увеличение веса систем стратостатов.

На графике (фиг. 2) представлена кривая изменения степени разреженности воздуха с высотой. Из рассмотрения этой кривой видно, что до высоты 30 км степень разреженности увеличивается до 66. С высоты 30 км до 36 км степень разреженности, резко увеличиваясь, доходит до 168.

Так как изменение объема, а значит и увеличение веса системы стратостата, будет всецело зависеть от степени разрежения, то из рассмотрения указанного графика можно сделать приближенное предположение, что по конструктивным, объемным и весовым величинам высотность современных стратостатов будет иметь предел пропорциональности, находящийся около высоты 30 км.

Если мы возьмем определение зависимости наибольшего достигаемого стратостатом разрежения в соответствии с диаметром шара, весом gondoly и весом единицы поверхности оболочки, считая и его подвесную систему, то по общеизвестным формулам для выполненного стратостата, без учета влияния разности температур, мы получим следующие соотношения (данные по весам взяты из труда К. Э. Циолковского).

Пусть подъемная сила шара

$$A = (\rho - \rho_1) \cdot V, \text{ где } \rho \text{ — плотность воздуха,} \\ \rho_1 \text{ — плотность водорода}$$

$$V = \frac{\pi D^3}{6} \text{ — объем оболочки.}$$

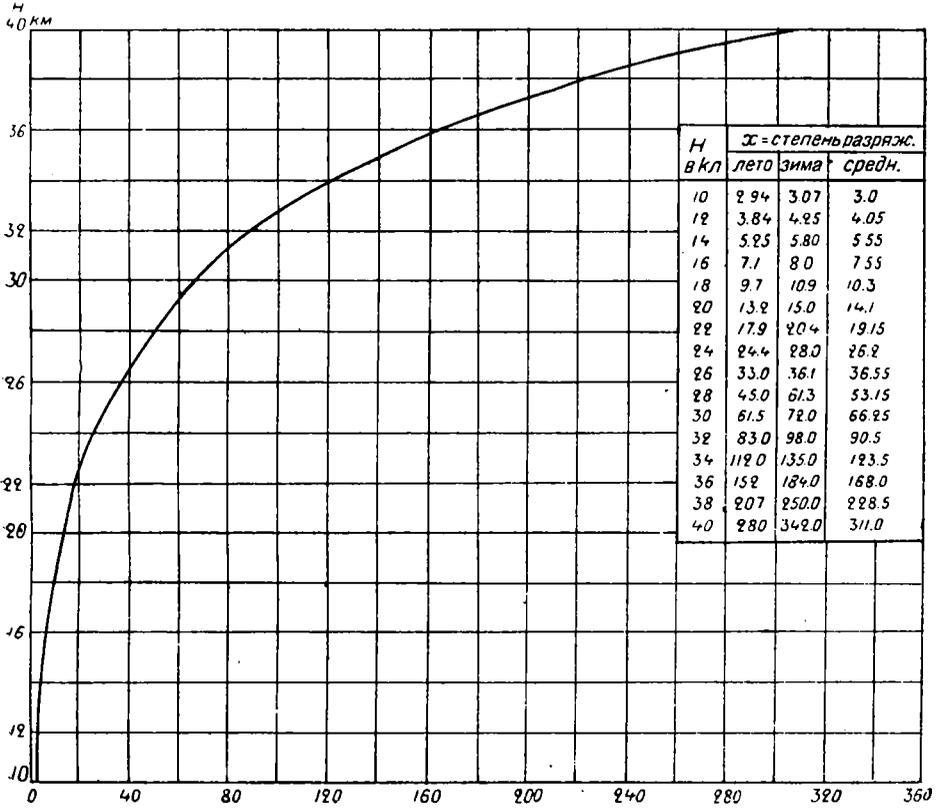
При достижении на высоте разрежения  $X$ , у земли, на уровне моря, объем газа будет в  $X$  раз меньше, и потому подъемная сила:

$$A = \left( \frac{\rho - \rho_1}{X} \right) \cdot \frac{\pi D^3}{6}. \quad [1]$$

<sup>1</sup> Величина, обратная относительной плотности воздуха.

Часть этой подъемной силы пойдет на поднятие гондолы с экипажем и оборудованием; назовем эту часть  $\frac{1}{n}$ .

Другая часть подъемной силы пойдет на поднятие оболочки и подвески; назовем ее:  $(1 - \frac{1}{n})$ .



Фиг. 2.

Следовательно, вес гондолы  $P = A \cdot \frac{1}{n}$ , [II]

вес оболочки  $P_0 = A \cdot (1 - \frac{1}{n})$ . [III]

Площадь оболочки шара равна  $S = \pi D^2$ .

Следовательно, вес единицы поверхности оболочки:

$$p_0 = \frac{A(1 - \frac{1}{n})}{S}. \quad [IV]$$

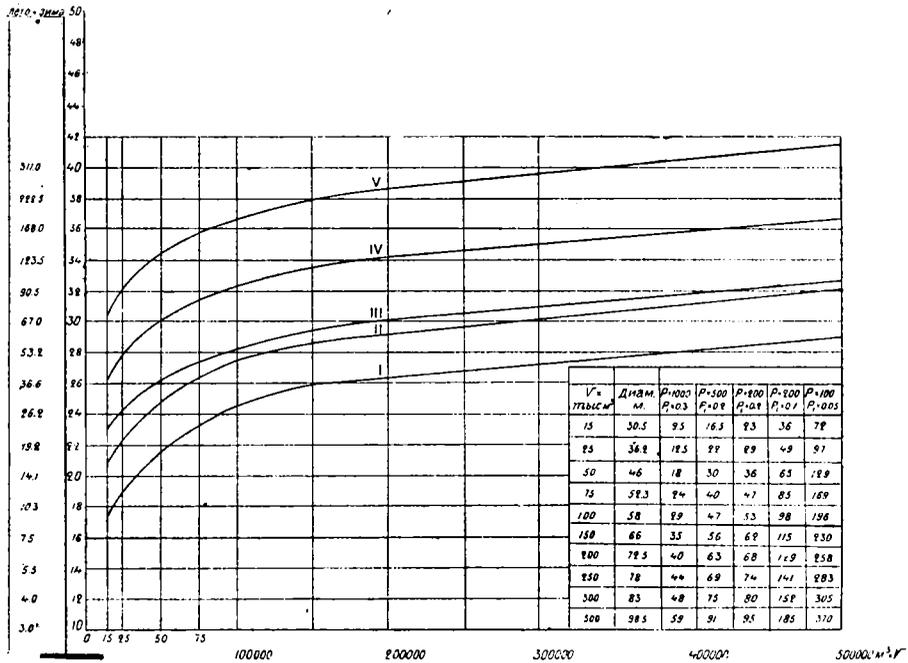
Отсюда, заменяя  $A$  и  $S$ , получим:

$$p_0 = \frac{(\rho - \rho_1)}{X} \cdot (1 - \frac{1}{n}) \frac{D}{6}. \quad [V]$$

Следовательно, вес  $1 \text{ м}^2$  оболочки увеличивается с диаметром шара  $D$  и уменьшается со степенью разрежения  $X$ .

Приравнивая вес гондолы подъемной силе шара, найдем:

$$P = \left( \frac{\rho - \rho_1}{X} \right) \cdot \frac{\pi D^3}{6} \cdot \frac{1}{n} \tag{VI}$$



Фиг. 3.

Исключая из уравнений [V] и [VI] —  $\frac{1}{n}$ , получим:

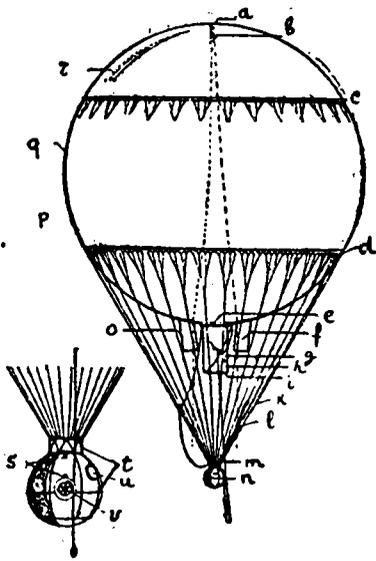
$$X = \frac{(\rho - \rho_1) D^3}{6 \left( \frac{P}{\pi} + \rho_0 D^2 \right)} \tag{VII}$$

Из этой формулы видна простая зависимость наибольшего достигаемого стратостатом разрежения в зависимости от  $D$  шара, веса гондолы и веса единицы поверхности оболочки шара с ее подвесной системой.

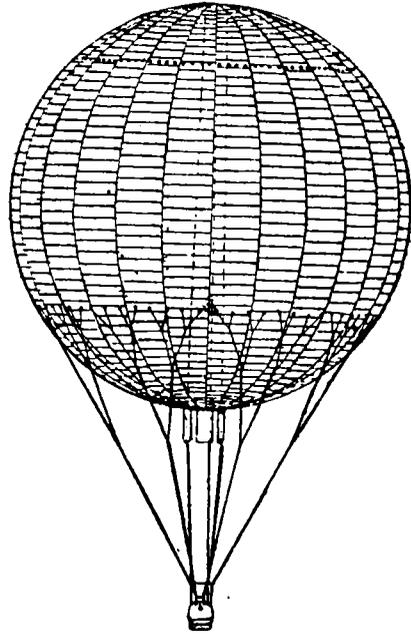
Произведенное по формуле [VII] приближенное вычисление высотности и объемов стратостатов для пяти весовых вариантов приведены на графике фиг. 3 (для теоретического суждения).

Из этого графика мы видим, что выгодность увеличения объемов оболочек современных стратостатов, в зависимости от приращения высоты, имеет предел, лежащий до 25—28 км и до объемов 75—100 тыс. м³.

Как мы сказали выше, указанный график составлен без учета разности температур, имеющих место в действительных условиях полета, а потому и действительная высота будет лежать несколько выше.



Фиг. 4.



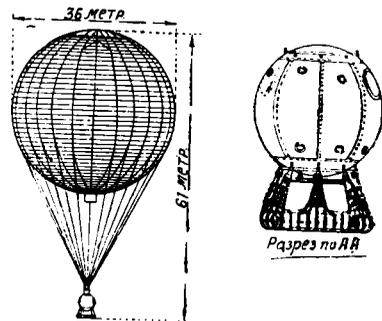
Фиг. 5.

Дальнейшее, даже незначительное приращение высоты, вследствие быстро прогрессирующего увеличения числа степени разреженности (фиг. 2), потребует оболочек громадных размеров, а следовательно и больших весов, что является и конструктивно и эксплуатационно невыгодным.

Так как цель наших советских полетов не есть побитие рекордов, а исключительно научно-исследовательская, то станет ясным, что, не добиваясь крайними мерами приращения для рекорда высотности, — нам в первую очередь необходимо для дальнейшей работы надежно закрепить уже завоеванные высоты с целью их детального изучения и полного освоения.

Отсюда необходимость такой надежной и безопасной материальной части, которая позволила бы летать в стратосферу круглый год и не требовала бы выбора особо-идеальных условий старта в смысле метеорологической обстановки.

III. Рассмотрим современные, уже летавшие стратостаты с точки зрения их конструктивного оформления и примененных материалов (см. сводку на стр. 892).



Фиг. 6.

Таблица 4

## С В О Д К А

основных конструкций, примененных материалов для стратостатов Пикара, "СССР" и "СОАХ-1"

## I. Оболочка и ее детали

№ п/п.	Наименование	Стратостат Пикара (экипаж — 2 чел.)	Стратостат "СССР" (экипаж — 3 чел.)	Стратостат "СОАХ-1" (экипаж — 3 чел.)
1	Объем в м <sup>3</sup> . . . . .	14130 (Фиг. 4)	24320 (Фиг. 6)	24920 (Фиг. 5, 6а)
2	Диаметр в м . . . . .	30	36	36.24
3	Материал . . . . .	До нижне- го пояса Однослой- ная хлопча- то-бум. ткань	Верх оболочки до верев. кольца (на R = 8 м) — трехсл. перкаль. Ниже: основн. матер. — пер- каль А	Верх оболочки до поясн. лоп и пояс подвесн. лоп — двусл. паралл. дублнр. перкаль Б
4	Вес балл. материи г/м <sup>2</sup> . . . . .	200	220	250
5	Временное сопротивлен. { По основе кг/п. м По утку кг./п. м	930	550	1200
		860	500	850
6	Вес оболочки кг . . . . .	630	950	920
7	Раскрой . . . . .	Меридиональный	Трапециодальный	Трапециодальный
8	Число полотниц . . . . .	100	24	25
9	Газопроницаемость ткани литр/м <sup>2</sup> сутки . . . . .	25	до 30	35
10	Тип шва . . . . .	Склеенный и прошитый 2 строчками, шириной 25 мм, с накладками лент с обеих сторон, шириной 30 мм	Для трехслойной Склеенный и прошитый 2 строч- ками, шириной 25 мм, с наклад- ками лент с обеих сторон, шири- ной 30 мм	Для двуслойной Склеенный и прошитый 1 строч- кой, шириной 22 мм, с наклад- ками лент с обеих сторон, шири- ной 30 мм

11	Окраска ткани . . . . .	Для однослойной	Склеенный и прошитый 1 строчкой, шириной 20 мм, с накладкой лентой с наружной стороны, шириной 30 мм
12	Вес окраски 1 м <sup>2</sup> . . . . .	Алюминиевая	15—20 гр
13	Число аппендиксов . . . . .		5
14	Расположение и размеры аппендиксов . . . . .		1 главный $D = 2.4$ м, 2 боковых $D = 0.75$ м (для пропуска разрывных веревок), 2 боковых между экватором и поясами лапами $D = 0.5$ м (для наполнения водородом)
15	Число разрывных полотнищ		2 (фиг. 9)
16	Площадь одного полотнища в м <sup>2</sup>		24
17	Отрыв под грузом в кг . . . . .		65
18	Продолж. выхода воздуха из оболочки при выполнении ее объема . . . . .		3 мин.
19	Система крепления на оболочке подвесной системы . . . . .	Для однослойной	Пятилучевые лапы размером $325 \times 328$ мм, 64 шт. на параллели $R = 15.7$ м ниже экватора. Статическая нагрузка на лапу 23—25 кг (фиг. 13)
20	Крепление на оболочке системы поясных веревок . . . . .	Для однослойной	То же Число лап — 100 шт. Размер лапы — $378 \times 286$ мм. Расположены на параллели $R = 15.7$ м выше экватора
		Алюминиевая	Упрощенный тип сетки: имеющей верхнее веревочное кольцо $D = 8$ м, от которого по оболочке идут 24 стропы, укрепленные на оболочке при помощи шайб
		Желто-хромовая марки FF	При помощи шайб, расположенных выше экватора
		10 гр	
		4	
		2 боковых $D = 1.5$ м, 1 главный $D = 2.5$ м (с кольцом Roeschel'я для удобного ввода воздуха внутрь оболочки при спуске), 1 боковой на поясе для ввода разрывной веревки	
		1 (фиг. 7)	
		20	
		55	
		3 мин. 45 сек.	
		Пояс с параболическими фестонами: от 128 узлов переходит к 32 стропам посредством гусиных лап. Нагрузка статическая на стропу = 43 кг (фиг. 10)	
		То же, но выше экватора	

(Продолжение табл. 4)

№№ п/п.	Наименование	Стратостат Пикара (экипаж — 2 чел.)	Стратостат "СССР" (экипаж — 3 чел.)	Стратостат "СОАХ-1" (экипаж — 3 чел.)
21	Тип клапана . . . . .	Тарелочный, облегченный алюминиевый (фиг. 12)	Тарелочный, нормальный	Тарелочный, облегченный, алюминевый
22	Диаметр клапана в м . . . . .	0.65	0.85	0.75
23	Усилие для открывания клапана в кг . . . . .	30	25	28
24	Вес клапана в кг . . . . .	7	14	14
II. Т а к е л а ж				
25	Число строп . . . . .	32 (у тондолов переходит в металл. тросы длиной 6 м)	24	8 { 8 вторых спусков 16 первых 32 гусиных лапы
26	Прочность строп (разрыв. усил. в кг . . . . .)	800	1050	1600 { 1200 — вторые спуски 600 — первые спуски 230 гусиные лапы
27	Вес такелажа без подвесного обруча в кг) . . . . .	40 (вместе с тросами)	120	36
28	Тип подвесного обруча, размер и вес . . . . .	Стальное кольцо сечением 62 × 60 мм, диам. 1.25 Вес 6 кг (фиг. 13)	Стальное кольцо сечением 55 × 53 мм диам. 1,5 м Вес — 5 кг	Стальное кольцо сечением 45 × 43 мм диам. 1.50 м Вес 3.5 кг (фиг. 14)

29	Диаметр в м . . . . .	2.1 (фиг. 15)	2.3 (фиг. 16)	2.4 (фиг. 17)
30	Объем в м <sup>3</sup> . . . . .	4.85	6.2	7.2
31	Форма . . . . .	Шар	Шар	Шар
32	Конструкция . . . . .	Сварная (автогенная сварка из 3-х алюминиевых штампованных частей)	Клепаная кольчуг-алюминиевая из 12 листов. Двойной заклепочный шов, шаг заклепок 18 мм. Швы промазаны авиолаком (фиг. 18)	Сварная (автогенная сварка) хромоникелевая сталь Ст = 1.6%, Ni = 22% из 10 листов (фиг. 19)
33	Толщина листов оболочки гондолы в мм . . . . .	3.5	2	0.7—0.8 (фиг. 20)
34	Временное сопротивление разрыву кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	24	30—35	60—65
35	Прочность шва в % от прочности материала . . . . .	70	80	95
36	Газонепроницаемость швов в % . . . . .	100	95	100
37	Расчетное максимальное сверхдавление в атм. (в зависимости от выс.) . . . . .	2.5	3.0	3.0
38	Вес гондолы (чистый в кг) . . . . .	450	280	250
39	Каркас . . . . .	Трубчатый, 8 вертикальных стоек и 3 горизонтальных кольца	Из алюминия. Труб сечением 35 × 40 мм. Вертик. шт. 8. Наклон. шт. 16. Профилей 8 (фиг. 21)	Из стальных хромоникелевых трубок диам. 12—14 мм 10 стрингеров и 6 горизонтальных колец. Оболочка к каркасу присоединена при помощи климмер электроточ. сваркой (фиг. 22, 23, 20)
40	Подвеска гондолы . . . . .	Вертикальные стойки, введенные из гондолы, оканчиваются узлами с кольцами шт. 8, за	От спец. узлов, введенных из гондолы 8 шт., заканчивающихся снаружи гондолы кольцами, идут к обручу стальные тросы	Веревочная сетка с 3 впадинами по горизонтали стальными тросами сечением 8 мм, одетая снаружи на гондолу, от которой

(Продолжение табл. 4)

№ № п.п.	Наименование	Стратостат "Пикара" (экипаж — 2 чел.)	Стратостат "СССР" (экипаж — 3 чел.)	Стратостат "СОАХ-1" (экипаж — 3 чел.)
41	Тип лаза и количество . . . . .	которые гондола подвешивается к подвесному обручу при помощи тросов Два лаза. Лаз состоит из 2 крышек (отлитых из алюминия) — нар. и внутр., стягиваемых болтом (штурвалом). Герметичность достигнута резиновой прокладкой	Два лаза. Лаз состоит из 1 крышки, закрываемой изнутри при помощи специального роликового устройства и затворного клина — штурвалом. Герметичность достигнута резиновой прокладкой. Материал крышки лаза — отливка из силумина	к обручу идут 16 веревочных строп  Один лаз, закрываемый изнутри при помощи 12 барашков. Герметичность достигнута резиновой прокладкой
42	Месторасположение лаза . . . . .	Сбоку, выше экватора	Сбоку, выше экватора	Вверху
43	Диаметр лаза в мм . . . . .	500	500	800
44	Продолжительность открытия лаза в секундах . . . . .	25	8	140
45	Диаметр стекла для окон в мм . . . . .	100 (фиг. 24)	100	180
46	Диаметр окон в свету в мм . . . . .	80	80	150
47	Толщина стекла в мм . . . . .	7,5	9	11—12
48	Управление клапанной веревки	1-й полет Катушка-барaban снаружи гондолы — управление штурвалом от барабана внутри гондолы (фиг. 26)	То же, что у Пикара (фиг. 25)  То же, что и в первом полете Пикара, но иное конструктивное оформление (фиг. 27, 29)	То же, что и во втором полете Пикара, но иное конструктивное оформление (фиг. 30, 31)

49	2-й полет	<p>Клапанная веревка проходит через U-образную стальную трубку внутри гондолы по 2 блокам. Трубка заполнена в нижней части ртутью</p> <p>Два сообщающихся сосуда, переключаемых между собой герметическими кранами. Расположены внутри гондолы (Фиг. 26)</p>	<p>Снаружи, внизу под гондолой — под двухтаровым козлом — подвешены мешки с балластом. Вращением штурвала изнутри гондолы мешки освобождаются от подвески; последняя осуществлена при помощи тросов, намотываемых на барабан штурвала (фиг. 32, 33, 34)</p>	<p>То же, что и у Пикара, но иное конструктивное оформление. В гондоле предлосм. расположены двух выбрасывателей — в полет был взят один (Фиг. 28)</p>
50		<p>Скорость выбрасывания балласта . . . . .</p>	<p>Не менее 10—12 кг в сек.</p>	<p>1 кг в сек. при 1 выбрасывателе 2 кг в сек. при 2 выбрасывателях</p>
51		<p>Амортизатор . . . . .</p>	<p>Ивовый, тип усеченной пирамиды, под гондолой, высотой 1 м (фиг. 35)</p>	<p>Ивовый, кольцевой и в сечении D = 0.5 м и по форме D = 0.2 м (фиг. 36)</p>
52	1-й полет	<p>По меридион. сечению <math>\frac{1}{3}</math> алюм. <math>\frac{1}{3}</math> черн. Расчетная температура до +20°С Действительная температура +39°С</p> <p>2-й полет</p> <p>Алюминиевая. Расчетная температура внутри гондолы +15°С Действ. темп. — 20°С</p>	<p>Голубая</p> <p>Расчетная темп. внутри +20°С Действит. темп. до +30°С</p>	<p>Серая</p> <p>Черного цвета . . . . . 50% Белого " . . . . . 45 Цвөгного " . . . . . 5</p> <p>Расчетная темп. Внутри = +20°С Действ. до +23°С</p>

IV. В обзоре мы взяли более нам известные статостаты: Пикара, „СССР“ и „СОАХ-I“ (стратостат Сеттля и его полет нам мало известны, а потому он не входит в обзор).

Для оценки конструкций, материалов и норм прочностей указанных стратостатов возьмем следующие критерии:

- 1) Высотность в зависимости от объема и весовых данных.
- 2) Прочность несущих систем.
- 3) Конструктивное оформление основных частей.
- 4) Соответствие рассматриваемых систем условиям аварийности.

1) Из рассмотрения всех систем по 1-му пункту (высотность), на основании данных в табл. (см. ниже) видно, что на первом месте по коэффициенту высотности „ $K$ “ стоит стратостат Пикара (последнее подтверждает невыгодность больших объемов оболочек, необходимых для достижения высот даже выше 20 км).

Система страт.	Достигнутая высота полета в км	Степ. разрежен. $a$	Объем систем $V$ в тыс. м <sup>3</sup>	Нижшая норма прочности $p$	Вес системы $Q$ в тонн.	$K = \frac{a p}{V Q}$
„Пикар“ . . . . .	16.400	10	14.130	18	2.130	6.0
„СССР“ . . . . .	19.000	15	24.320	15	2.600	3.5
„СОАХ-I“ . . . . .	22.000	25	24.920	10	2.480	4.0
„СОАХ-I“ (расч. высота) . .	20.500	20	24.920	10	2.480	3.2

2) Рассматривая нормы прочности (см. ниже таблицу) для основных конструкций стратостатов, видно, что наибольший, даже излишний запас прочности имеет стратостат Пикара (что подтверждает и относительно наибольший вес его системы), увеличенный — „СССР“ и нормальный „СОАХ-I“

Таблица норм прочностей  
(ответств. частей констр.)

Детали и материал	„Пикар“	„СССР“	„СОАХ-I“
Ткань оболочки . . . . .	23	20	19
Такелаж . . . . .	18	15	не ниже 10
Подвесной обруч . . . . .	22	20	15

3. Переходя к обзору конструктивных оформлений, исходя из принятых норм прочности и эксплуатационного удобства, мы рассмотрим здесь лишь следующие наиболее ответственные части конструкций стратостатов:

<sup>1</sup> Расчет системы стратостата „СОАХ-I“ производился на нормальные условия полета со скоростью спуска не более 10 м/сек. (аварийные условия были исключены, так как для старта должна быть выбрана соответствующая метеорологическая обстановка.

а) подвесные системы (такелаж), б) гондолы, в) люки гондол, с точки зрения только эксплуатационных удобств, г) управление клапаном, д) управление балластом.

а) Подвесные системы (такелаж). Из рассмотрения норм прочностей и конструктивного оформления подвесных систем стратостатов наибольшей прочностью и легкостью обладает система Пикара, но является не совершенной, так как заставляет работать совместно и ткань оболочки, являющейся по существу газовым чехлом.

Система подвески стратостата „СССР“, обладая значительной прочностью, является лучшей подвеской, представляя собой упрощенную сетку, накинутую на оболочку.

Система подвески стратостата „СОАХ-1“ имеет нормы прочности из расчета на нормальные условия полета со скоростью спуска, не превышающего 10 м/сек., и являясь легкой конструкцией, конечно не соответствовала аварийным условиям спуска.

б) Гондолы. Если взять оценку как со стороны прочности, так и выбора материала для оформления наиболее легкой и прочной конструкции, наиболее совершенной из всех является гондола стратостата „СОАХ-1“, имеющая при максимальной прочности минимальный вес и простоту в изготовлении. (Большую прочность этой гондолы наглядно подтверждает следующее: во время аварий „СОАХ-1“ при ударе о землю со скоростью 40—45 м/сек. — все швы и материал гондолы оказались целыми).

Гондола „СССР“, клепаная из кольчуг-алюминиевых листов, имеющая при меньшем объеме несколько больший вес, чем у „СОАХ-1“ — является довольно прочной и испытанной также в полете конструкцией, но, конечно, уступающей во много раз перед сварной — по прочности, легкости и простоте изготовления.

Гондола Пикара уступает гондоле „СССР“ и СОАХ-1 и в весе и в прочности.

в) Люки гондол. Здесь с бесспорной очевидностью в смысле эксплуатационных удобств и надежности является хорошо спроектированный и оформленный люк стратостата „СССР“: по прочности, простоте и скорости открывания (снаружи и изнутри).

Люк Пикара обладает достаточной прочностью и простотой, но имеет значительно больший вес, утяжеляющий систему гондолы.

Люк стратостата „СОАХ-1“, спроектированный в верхней части гондолы, исключительно из-за выбранной схемы гондолы и ее подвески (сетка) имеющий достаточную прочность, не может быть признан удобным по расположению и скорости открывания.

г) Управление клапанной веревкой на опыте двух полетов Пикара, представляющее собой ввод клапанной веревки внутрь гондолы через U-образную стальную трубку, наполненную ртутью, оценено им как устройство, дающее в условиях герметичной гондолы более точное управление клапаном.

От катушки (барабан) снаружи гондолы, выведенной через сальник (устройство ввода клапанной веревки при первом полете Пикара), Пикар отказался, так как последняя менее гарантирует натянутость веревки, а следовательно дает большую возможность для ее запутывания в системе подвесного такелажа, что в результате отнимает из рук пилота управление ответственным органом управления — клапаном.

Стратостат „СССР“ имел последнее устройство (катушка-барабан снаружи гондолы).

Стратостат „СОАХ-1“ имел управление клапаном через пикаровскую U-образную трубку.

На основании заключения Пикара и имеющихся сведений о полете „СОАХ-1“, примененное в указанных стратостатах устройство для управления клапаном через U-образную трубку является наиболее совершенным из существующих систем.

д) Управление балластом. Пикар на опыте двух полетов составил положительное мнение о внутреннем выбрасывателе балласта как органе управления, дающем возможность вести точное пилотирование.

Примененная конструкция двух сообщающихся сосудов не дает, однако, возможности выбрасывания балласта больше своей пропускной способности—1 кг в 1 сек. (хотя в первом полете Пикар и имел значительно форсированный спуск, требовавший скорого выбрасывания большого количества балласта, однако это же устройство он оставил и для второго полета).

Стратостат „СОАХ-1“ имел аналогичное устройство, но в двух комплектах, также расположенное в гондоле.

Стратостат „СССР“, имея устройство снаружи, дающее возможность выбрасывать любое большое количество балласта, но не дающее возможности выбрасывать его маленькими порциями (порция балласта „СССР“ равна 10 кг)

Поэтому, считая, что и тот и другой тип выбрасывателя балласта не обладает возможностью выбрасывать балласт от минимального до максимального количества в любой нужной пропорции, — необходимо признать обе эти конструкции достаточно не совершенными.

4) Переходя к вопросу соответствия аварийности указанных систем стратостатов, мы критериями оценки возьмем два наиболее веских требования: а) при аварийности иметь возможность создать из оболочки парашют; б) затратить минимальное время для выбрасывания экипажа из герметичной гондолы: а) Первое условие в существующих конструкциях является в оформлении крайне сложным лишь по одному тому, что из оболочки стратостата невозможно конструктивно выполнить просто и надежно работающий нормальный тип парашюта.

Поэтому ни одна из существующих систем оболочек не отвечает нормальным условиям парашютирования и даже нормам прочности, принимаемым для грузовых парашютов.

Не имея опытных, верных данных о парашютировании оболочек стратостатов, говорить о требуемых для этого конструктивных оформлениях детально — сейчас затруднительно.

б) Второе условие — создание моментального выбрасывания людей из герметичной гондолы, это более совершенное и реальное требование, но нужно оговорить, что и здесь удобные люки „СССР“ и Пикара, неудобный люк стратостата „СОАХ-1“, без осуществления первого требования (создание парашюта для замедления скорости спуска) не дадут возможности при их малом диаметре моментально выброситься, в крайне морально тяжелой обстановке, экипажу с надетыми на себя парашютами.

V. Заканчивая вкратце по основным позициям обзор современных конструкций, необходимо для будущего сделать следующий основной вывод, а именно: нам, прежде всего, нужно всемерно научно и технически закрепить уже завоеванные высоты, а для этого необходимо создать надежную в эксплуатации материальную часть будущих наших советских стратостатов.

Исходя из этого, к конструкциям будущих наших стратостатов мы должны предъявить, как одни из главных, следующие требования:

1) При расчетах и проектировании конструкций необходимо принять и случай аварийного спуска, но для этого нужно получить ряд опытных данных по парашютированию оболочек и по специальным парашютам для гондол.

Мы должны ввести в практику повседневной опытной работы по аэростатам — аэродинамические лабораторные опыты с оболочками и проверку конструкций оболочек стратостатов на летающих моделях (стратостато-зондах), а также углубить методику гидростатических испытаний!

Это и даст те сведения, которых мы сейчас не имеем и о которых мы спорим и гадаем.

2) Применение устройств для быстрого выбрасывания экипажа из герметичной гондолы должно быть осуществлено, но, опять-таки, на основе опытов. Предлагаемый многими конструкторами тип раскрывающейся моментально самой гондолы, представляя удобства при аварии, одновременно является и опасным в полете.

Во всяком случае работа эта имеет большие трудности, так как при минимальном весе, требуемом любой конструкцией стратостата, здесь нам необходимо сохранить еще и максимальную прочность и надежность.

3) Система выбрасывателя балласта должна быть осуществлена в будущих конструкциях и для минимального и одновременно максимального количества выбрасываемого балласта в любой нужной пропорции изнутри гондолы, с обязательной регистрацией по времени количества выброшенного пилотом балласта.

4) В процессе проектирования все материалы и конструкции стратостатов обязательно должны пройти ряд специальных испытаний, изложенных мной в сводной таблице (см. приложение 1).

И, наконец, основное: 5) все же в условиях герметичных гондол пилот скован ее рамками и условиями в управлении сложной системой стратостата. Поэтому, совершенно правильно — и с точки зрения безопасности и с точки зрения удобства и свободы пилотирования, а также научного наблюдения, — проводить полеты на стратостатах с открытыми корзинами, но в специальных индивидуальных костюмах — скафандрах, при которых экипаж, имея все указанные удобства в управлении и работе, может при аварии покинуть потерпевший аварию стратостат на индивидуальных парашютах, даже в стратосфере.

Проводимая работа за границей и у нас, в частности в Ленинграде, на основании ряда проведенных опытов дает право сказать, что создание такого костюма-скафандра — дело не далекого будущего.

Следовательно, верный и надежный путь к проведению безопасных полетов на стратостатах это — создание специального воздушного стратосферного костюма-скафандра.

Он предоставит все удобства для пилотирования и работы, а в случае аварии даст больше возможностей к спасению экипажа, нежели сложные устройства открывающихся герметичных гондол.

Таблица к фиг. 2

Высота над уровнем моря в км	Л е т о				З и м а			
	Общее давление	T	Вес 1 м <sup>3</sup> воздуха	Давление водяных паров	Общее давление	T	Вес 1 м <sup>3</sup> воздуха	Давление водяных паров
0.0	762.55	14.7	1 224.42	10.46	763.35	1.7	1 287.58	4.69
0.5	718.75	13.6	1 159.17	9.17	717.42	1.2	1 212.31	4.35
1.0	677.24	11.8	1 099.61	7.81	674.11	0.6	1 147.23	3.56
1.5	637.81	9.0	1 046.50	6.21	633.12	— 2.2	1 084.23	2.93
2.0	600.31	6.2	995.19	4.97	594.37	— 4.1	1 025.03	2.27
2.5	564.67	3.6	945.56	3.97	557.71	— 6.4	970.08	1.71
3.0	530.82	1.0	897.73	3.12	522.99	— 9.1	919.87	1.30
4.0	468.23	— 4.2	808.07	1.87	458.91	—15.3	826.62	0.72
5.0	411.93	— 9.9	726.57	1.06	401.32	—22.2	743.33	
6.0	361.32	—16.2	653.35	0.57	349.62	—21.3	666.41	
7.0	315.84	—24.2	587.39		303.34	—36.6	596.05	
8.0	274.98	—30.7	524.26		261.94	—43.6	530.41	
9.0	238.39	—38.2	471.70		225.37	—49.6	468.61	
10.0	205.77	—44.8	418.94		193.19	—54.3	410.34	
11.0	176.95	—50.0	368.66		165.19	—56.8	355.20	

Таблица к фиг. 2

Высота над уровнем моря в км	Л е т о			З и м а		
	Общее давление	T	Вес 1 м <sup>3</sup> воздуха	Общее давление	T	Вес 1 м <sup>3</sup> воздуха
12.0	151.80	-52.8	319.03	141.11	-57.2	303.43
13.0	130.14	-52.7	273.51	120.55	-56.3	259.22
14.0	111.58	-52.3	234.50	102.99	-56.5	221.46
15.0	95.67	-51.9	201.06	87.99	-57.1	189.20
16.0	82.03	-51.5	172.40	75.18	-57.3	161.66
17.0	70.34	-51.0	147.83	64.24	-57.6	138.13
18.0	60.32	-50.1	126.77	54.89	-57.6	118.03
19.0	51.73	-49.5	108.72	46.91	-57.6	100.87
20.0	44.37	-49.8	93.25	40.09	-57.9	86.20
21.0	38.05		79.97	34.26		73.67
22.0	32.64		68.60	29.28		62.96
23.0	27.99		58.82	25.02		53.80
24.0	24.01		50.46	21.39		45.99
25.0	20.60		43.29	18.28		39.31
26.0	17.67		37.14	15.63		33.61
27.0	15.16		31.86	13.36		28.73
28.0	13.01		27.34	11.42		21.01
29.0	11.16		23.45	9.77		24.56
30.0	9.58		20.13	8.35		17.95
31.0	8.22		17.28	7.14		15.35
32.0	7.05		14.82	6.10		13.12
33.0	6.05		12.72	5.22		11.24
34.0	5.19		10.91	4.46		9.59
35.0	4.46		9.37	3.82		8.21
36.0	3.83		8.05	3.27		7.03
37.0	3.28		6.89	2.79		6.00
38.0	2.82		5.93	2.39		5.14
39.0	2.42		5.09	2.04		4.39
40.0	2.08		4.37	1.75		5.76

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА <sup>1</sup>

обязательных испытаний материалов и конструкций стратостатов

№ по порядку	Наименование материала	Детали, конструкции и отдельные элементы	Испытания	Количество испытаний	Нормы и требования
1	2	3	4	5	5
1	Ткань для оболочки стратостата		<p><b>А. Нормальные</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вес</li> <li>2. Нормальное сопротивление разрываемому усилию и удлинения:               <ol style="list-style-type: none"> <li>а) по основе</li> <li>б) по утку</li> </ol> </li> <li>3. Газопроницаемость</li> </ol> <p><b>В. Специальные</b></p> <p>На воздействие в течение 24 часов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Жестких лучей порядка 10<sup>5</sup> и 10<sup>7</sup> ионов см<sup>2</sup> сек.</li> <li>2. Фиолетовых и ультрафиолетовых лучей солнечного спектра</li> <li>3. Кислорода (концентрация не ниже 70%)</li> <li>4. Вакуума до 5 мм ртутного столба</li> <li>5. Высоких до +70°С температур</li> <li>6. Низких до -70°С температур</li> <li>7. Для выявления электрических свойств прорезиненной окрасочной ткани (при разных температурах и влажности) от трения:               <ol style="list-style-type: none"> <li>а) ткани по ткани</li> <li>б) подвески по ткани</li> <li>в) подвески по подвеске</li> <li>г) газа по ткани</li> </ol> </li> <li>8. На действие озона</li> <li>9. На старение ткани (на газопроницаемость при температуре +70°С в течение 96 часов)</li> </ol>	<p>Обязательно из каждого куска материи, идущего на пошивку оболочки, с 2-х сторон куска по 3 образца на расстоянии не менее 3 м от конца)</p> <p>Из опытного куска материи не менее 10 образцов</p>	<p>Согласно проектным техническим условиям</p> <p>После совокупного воздействия указанных в п. В факторов ткань должна обладать:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>а) 100% прочностью от нормальной</li> <li>б) увеличить газопроницаемость не более чем на 5%</li> </ol>

2	Швы оболочки	<p>А. Нормальные</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Газопроницаемость</li> <li>Временное сопротивление разрыву усилию и удлинения:             <ol style="list-style-type: none"> <li>вдоль шва</li> <li>поперек шва</li> </ol> </li> </ol> <p>В. Специальные</p> <p>То же, что и п. А, но после 24 часового воздействия:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Высоких температур до <math>+70^{\circ}\text{C}</math></li> <li>Низких температур до <math>-70^{\circ}\text{C}</math></li> </ol>	Не менее 10 опытных образцов	Шов должен обладать по сравнению с тканью оболочки: 100% прочностью и 100% газонепроницаемостью
3	Наружная окраска на ткани	<p>А. Нормальные</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Вес</li> </ol> <p>В. Специальные</p> <p>На воздействие в течение 24 часов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Фиолетовых и ультрафиолетовых лучей солнечного спектра.</li> <li>Кислорода (концентрация не ниже <math>70\%</math>)</li> <li>Вакуума (до 5 мм ртутного столба)</li> <li>Высоких температур до <math>+70^{\circ}\text{C}</math></li> <li>Низких температур до <math>-70^{\circ}\text{C}</math></li> <li>На проницаемость сильных тепловых лучей в течение 6 час., падающих перпендикулярно на окрашенную ткань</li> </ol>	Не менее 5 образцов из ткани, идущей на прошивку оболочки	<p>1. Согласно проектн. техническим условиям</p> <p>В — 1, 2, 3, 4, 5 должна сохранять нормальные свои качества</p> <p>В — 6 Проницаемость тепловых лучей через ткань должна быть не более <math>50\%</math></p>
4	Веревки для строп, спусков и гусиных лап.	<p>А. Нормальные</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Временное сопротивление разрыву усилию</li> <li>Удлинение</li> <li>На удар груза, равного <math>1/2</math> веса полетной гондолы сброшенной с высоты 1,5 м, после чего:</li> <li>На действии статического груза, равного весу полетной гондолы в течение 12 часов</li> <li>На переменные нагрузки.</li> </ol>	От каждого конца веревки, идущей, на такелаж по 2 образца	Согласно проектным техническим условиям

(Продолжение)

№ по порядку	Наименование материалов	Детали, конструкции и отдельные элементы	Испытания	Количество испытаний	Нормы и требования
1	2	3	4	5	6
5		<p>Узел натуральную величину, включающий в себя:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Площадь облоочки, работающей для передачи нагрузки от 1 строения</li> <li>2. Переходы на стропу</li> <li>3. Стропу</li> </ol>	<p><b>В. Специальные</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. То же, что и п. А, но после 24 час. замораживания при температуре <math>-50^{\circ}\text{C}</math></li> <li>2. То же мокрых</li> <li>3. То же мокрых и замороженных при температуре <math>-50^{\circ}\text{C}</math></li> <li>4. То же замороженных и оттаянных</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. На удар груза, равного <math>1/2</math> веса полетной гондолы, поднятой на высоту 1.5 м после чего:</li> <li>2. На действие статического груза, равного весу полетной гондолы в течение 12 час.</li> </ol>	<p>Не менее 20 образцов из веревки, идущих на такелаж</p> <p>Не менее одного испытания</p>	<p>В. Прочность должна быть не менее 90% от нормальной</p> <p>После испытания все части узла должны остаться целыми</p>
6	Подвесной обруч-стальная труба		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Под действием груза <math>\approx 6</math> кратному весу полетной гондолы в течение 12 час.</li> <li>2. На удар груза, равного полетному весу гондолы, поднятой на высоту 1.5 м</li> </ol>	<p>Не менее одного испытания</p>	<p>Остаточные деформации должны отсутствовать</p>
7	Модели облоочки с подвесной системой, соответствующие различным зонам выполнения		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гидростатические испытания при различных сверхдавлениях до максимального</li> </ol> <p>Для исследования:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>а) укорочения и удлинения облоочки</li> <li>б) увеличения ее диаметра</li> </ol>		<p>Согласно проектным техническим условиям</p>

- в) увеличения вертикального и меридионального сечений  
 г) увеличения различных поперечных сечений  
 д) степеней выполнения оболочек и колебаний объема газа в ней  
 е) положения при различных выполнениях центра подъемной силы  
 ж) расположения подвески для гондолы на оболочке, с точки зрения деформации оболочки  
 з) расположения подвески с точки зрения избежания трений подвески об оболочку и др.

## 2. Аэродинамические испытания:

В аэродинамической трубе при скоростях потока воздуха от 3—30 м в сек. для выявления коэффициента парашютности оболочки, без вскрытия и со вскрытием разрывных полотнищ при различно выполненных моделях последней

**Деревянные модели**  
 соответствующие различным зонам выполнения оболочки стратостата.  
**Форма моделей**  
 устанавливается по данным гидростатических испытаний

Клапан

1. Вес
2. Газопроницаемость в сутки
3. Пропускная способность для водорода при полном открытии литр/сек.
4. Усилие для полного открытия клапана

- По п. 2
2. Не более 30% от его полной пропускной способности
  3. По проектным техническим требованиям
  4. Не более 50 кг

(Продолжение)

№ по порядку	Наименование материалов	Детали, конструкции и отдельные элементы	Испытания	Количество испытаний	Нормы и требования
1	2	3	4	5	6
9		Оболочка стратостата с системой подвесных и поясных веревок, клапаном и разрывными полотнищами	<p>1. Взвешивание оболочки и системы подвесного такелажа</p> <p>2. Продувка оболочки воздухом от 0,1 до 0,8—0,9 ее полного объема для выявления:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>а) дефектов в ткани и прорезинке оболочки</li> <li>б) дефектов в швах оболочки</li> <li>в) правильности сферической формы оболочки</li> <li>г) расположения поясной и подвесной системы</li> <li>д) дефекта вскрытия разрывных полотнищ</li> <li>е) длины провисания клапанной веревки</li> <li>ж) работы клапана</li> <li>и) электрических свойств оболочки</li> </ul>	5	<p>По п. 1 Допускается отклонение в весе не более 10%</p> <p>По п. 2 а, б Допускаются к приемке дефекты, могущие быть устранены на месте продувки</p> <p>По п. 2 в, г Допускаются к приемке при полном соответствии проектным формам и схемам</p> <p>По п. 2 д 1. Срыв карабина и вскрытие разрывного должно быть под грузом не более 50—55 кг</p> <p>2. Продолжительность вскрытия до 12 сек.</p> <p>3. Полный выход воздуха из оболочки должен быть в течение не более 4—5 мин.</p> <p>По п. 2 ж Полное открытие клапана должно быть под статическим грузом не более 50 кг с продолжительностью для полного открытия клапана не более 3 сек.</p>
10	Материал гондолы		<p>А. Нормальные</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Удельный вес</li> <li>2. Бременные сопротивления разрывающему усилию</li> </ul>	Не менее 10 образцов из различных частей материала, идущего на изготовление	По п. А Согласно проектным техническим требованиям

<p>3. Относительные удлинения 4. Магнитность 5. Нержавеющие свойства 6. Химический анализ 7. Микроскопический анализ</p>	<p>В. Специальные</p> <p>То же, что и п. А — 2, 3, но после 24-часового воздействия</p> <p>1. Высоких до <math>+100^{\circ}\text{C}</math> и 2. Низких до <math>-80^{\circ}\text{C}</math> температур</p>	<p>По п. В</p> <p>Сталь должна сохранить полностью свои нормальные свойства</p>
<p>Швы оболочки гондолы, включая соединительные швы оболочки с узлами люков, окон и выводов</p>	<p>А. Нормальные</p> <p>1. Прочность</p> <p>2. Газонепроницаемость</p> <p>В. Специальные</p> <p>То же, что и п. А — 1, 2, но после 24-часового воздействия</p> <p>1. Высоких до <math>+100^{\circ}\text{C}</math> и 2. Низких до <math>-80^{\circ}\text{C}</math> температур</p>	<p>По п. А — 1</p> <p>Прочность должна быть не ниже 90% от прочности целого материала оболочки</p> <p>По п. А — 2</p> <p>Газонепроницаемость должна быть <math>= 100\%</math></p> <p>По п. В</p> <p>Шов должен сохранить полностью свои нормальные свойства</p>
<p>Стекла</p>	<p>А. Нормальные</p> <p>1. Исследование стекла на отсутствие дефектов, понижающих его свойства</p> <p>2. Испытания на правильность обжига исследованием в поляризованном свете</p> <p>3. Определение прочности гидравлическим методом на сверхдавление в течение 6 час.</p>	<p>По п. А — 1</p> <p>Стекло должно иметь совершенно мошек, грубых свиелей и камней</p> <p>По п. А — 2</p> <p>Стекло должно удовлетворять нормам ОСТ а по отжигу оптического стекла</p> <p>По п. А — 3</p> <p>Стекло должно прочно сопротивляться сверхдавлению не менее 5 атм.</p> <p>Каждое стекло, идущее в полетную гондолу</p>

(Продолжение)

№ по порядку	Наименование материалов	Детали, конструкции и отдельные элементы	Испытания	Количество испытаний	Нормы и требования
1	2	3	4	5	6
13	Предохранительные колачки на стекла	<p>В. Специальные</p> <p>То же самое после воздействия в течение 24-х часов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высоких до +50° С и</li> <li>2. Низких до -70° С температур</li> <li>3. На резкую тепломмену и неравномерное нагревание отдельных частей его в указанных пределах температур</li> </ol>	<p>По п. 1</p> <p>Герметичность должна быть = 100%</p> <p>По п. 2</p> <p>Колпачок должен прочно сопротивляться сжативанию не менее 2 атм.</p> <p>По п. 3</p> <p>Скорость закрывания должна быть не более 1/2 сек.</p>	<p>Остаточные напряжения должны совершенно отсутствовать</p> <p>По п. В</p> <p>Стекло должно сохранить полностью свои нормальные свойства</p>	
14	Узел нормального люка	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Герметичность</li> <li>2. Прочность (гидравлическим методом на сжативание в течение 12 часов)</li> <li>3. Скорость закрывания</li> </ol>	<p>По п. 1</p> <p>Герметичность должна быть не менее = 95%</p> <p>По п. 2</p> <p>Узел люка должен прочно сопротивляться сжативанию не менее 3 атм, остальные деформации должны совершенно отсутствовать</p> <p>По п. 3</p> <p>Не более 5 сек.</p>	<p>По п. 1</p> <p>Герметичность должна быть не менее = 95%</p> <p>По п. 2</p> <p>Узел люка должен прочно сопротивляться сжативанию не менее 3 атм, остальные деформации должны совершенно отсутствовать</p> <p>По п. 3</p> <p>Не более 5 сек.</p>	

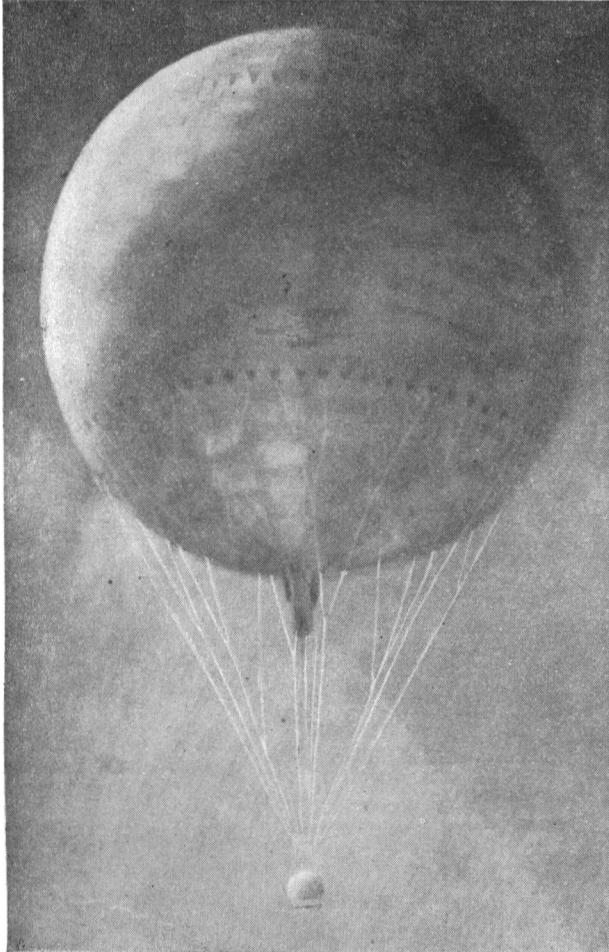
<p>15</p> <p>Равличные детали наружных входов и соединений</p>	<p>4. На скорость выхода человека, одетого в меховую одежду с парашютом при одновременном открывании люка (испытание может быть проведено в общем испытании всей гондолы, см. § 16)</p>	<p>По п. 4 Не более 10 сек.</p> <p>Основное требование Скорость выхода всех людей экипажа из гондолы должна быть не более 30 сек., включая сюда и время погребное для открытия люков</p>
<p>16</p> <p>Гондола</p>	<p>1. Герметичность 2. Прочность (испытания могут проводиться в общем испытании гондолы)</p> <p>1. Вес</p>	<p>По п. 1 и 2 Должны иметь 100% герметичность и 100% прочность</p> <p>По п. 1 Допускается отклонение в весе от проектного не более 20%</p> <p>По п. 2 До 2% в сутки</p>
<p>Гондола</p>	<p>3. Прочность и одновременно воздухопроницаемость под давлением до 0.5 атм. в течение не менее 3 часов, с находящимся внутри гондолы экипажем</p> <p>4. Прочность несущей части гондолы на динамические удары</p>	<p>По п. 3 Все части гондолы должны сохранять свою первоначальную форму. Остаточные деформации должны существенно отсутствовать</p> <p>По п. 4 Несущая часть гондолы должна выдерживать те же динамические удары, что и стропы</p>
<p>Гондола</p>	<p>5. Защита нижней части внутренней поверхности гондолы от действия садких реактивов</p>	<p>По п. 5 Должна быть полная защищенность от действия садких реактивов</p>

(Продолжение)

№ по порядку	Наименование материалов	Детали, конструкции и отдельные элементы	Испытания	Количество испытаний	Нормы и требования
1	2	3	4	5	6
17		Ввод клапанной веревки	1. Герметичность 2. Скорость действия клапаном до полного его открытия 3. Предельное усилие в гондоле, необходимое для полного открытия клапана (Испытание проводится совместно с испытанием гондолы) (см. § 16)	Полетный образец	По п. 2 Не более 5 сек.  По п. 3 Не более 15 кг
18		Выбрасыватель балласта	1. Герметичность  2. Скорость выбрасывания балласта (Испытание проводится совместно с испытанием полетной гондолы) (см. § 16)	Полетный образец	По п. 1 Должна быть 100%  По п. 2 До 50 кг/сек.
19	Окраска гондолы		А. Нормальные  1. Вес  2. Механическая прочность и эластичность	Опытный образец	По п. А — 1 Согласно проектным техническим требованиям  По п. А — 2 Планка должна выдерживать изгиб на стандартных стержнях ( $0 \approx 1$ мм)

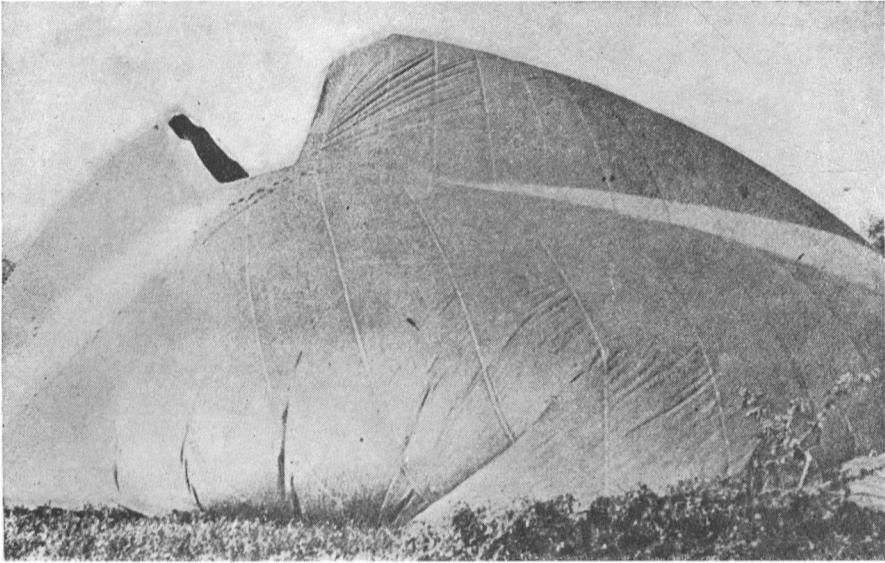
3. Тепловой эффект	По п. А — 3	При дневном режиме полета окраска гондолы должна сохраться внутри гондолы температуру от + 8° С до + 25° С
4. Химическое влияние на материал оболочки	По п. А — 4	Должно совершенно отсутствовать
5. Газонепроницаемость	По п. А — 5	Должна быть = 100%
6. Оtridgeальность в образовании на поверхности окраски термических токов	По п. А — 6	Должна быть полная отрицательность в образовании термических токов
В. Специальные		
То же, после 24-часового воздействия		
1. Высоких до + 100° С и	По п. В — 1, 2, 3	Окраска должна сохранить свои нормальные свойства
2. Низких до — 80° С температур		
3. Гамма лучей (ионизация — 10 000 ионов см <sup>2</sup> в сек.)		
Парашют гондолы и механизмы для его действия		Полетный образец



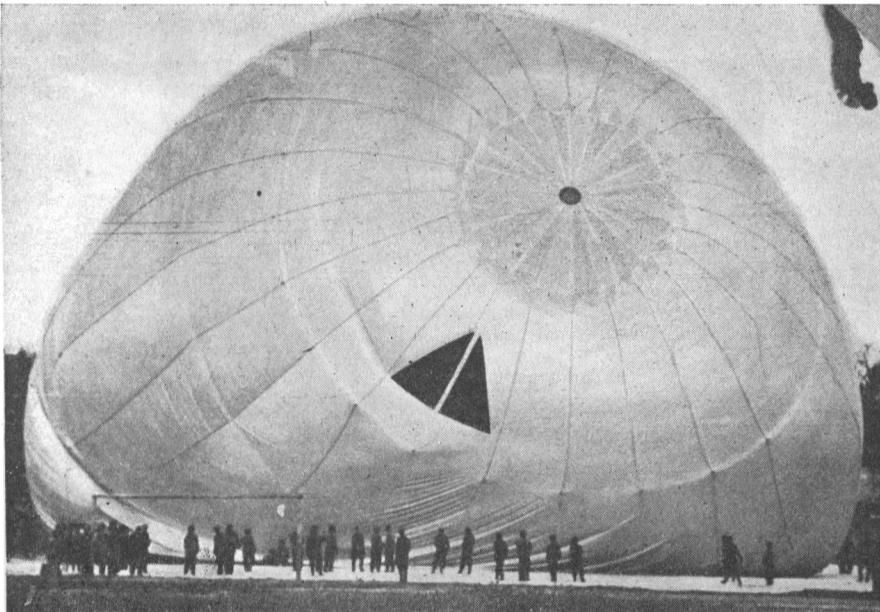


Фиг. 6а.



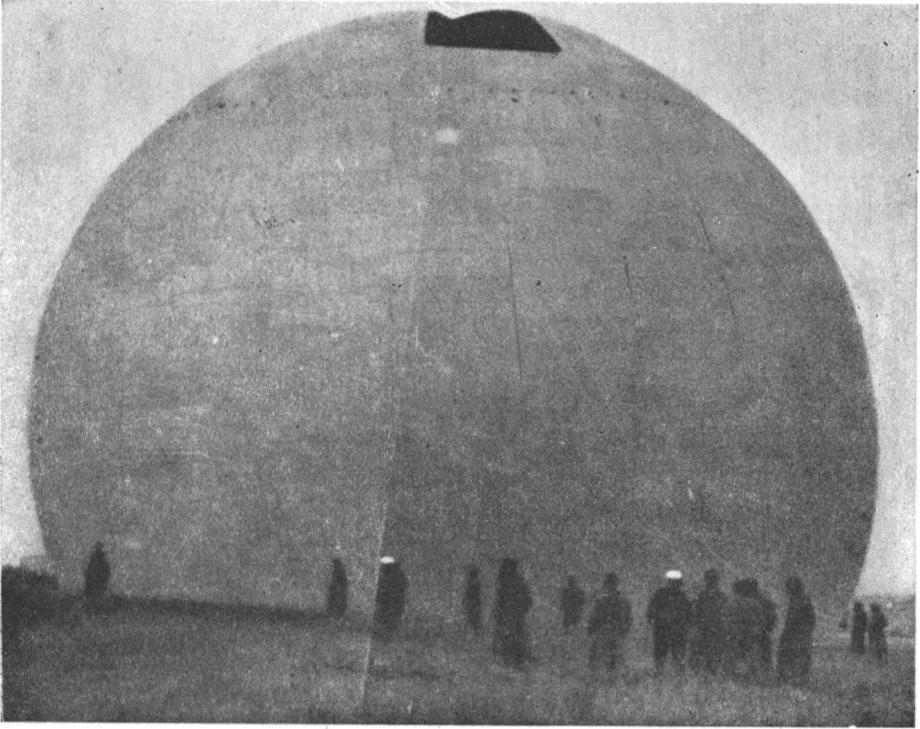


Фиг. 7.

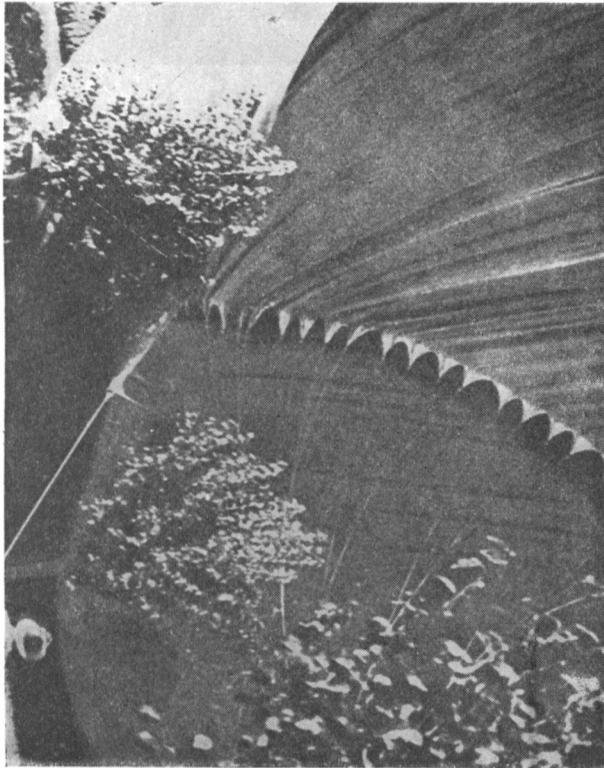


Фиг 8.



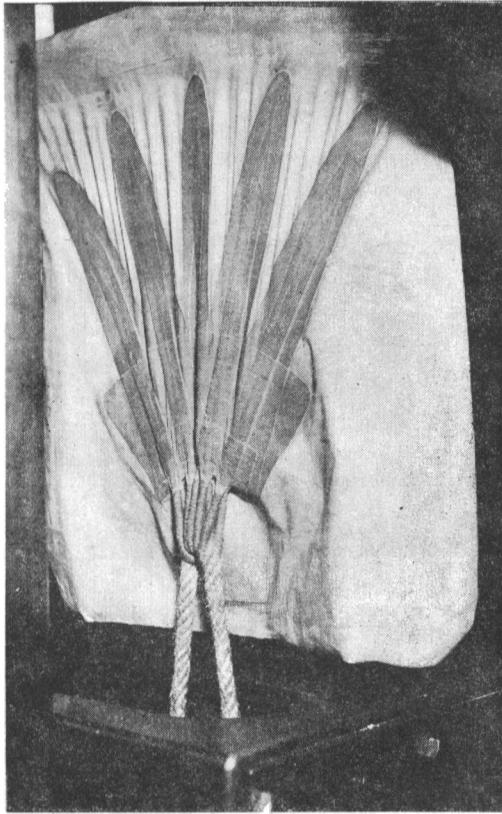


Фиг. 9.

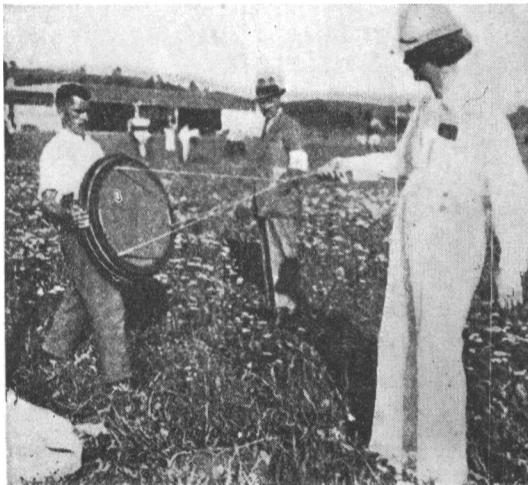


Фиг. 10.



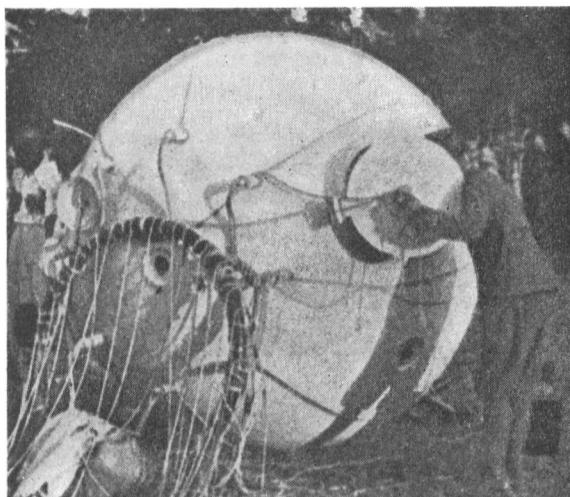


**Фиг. 11.**



**Фиг. 12.**



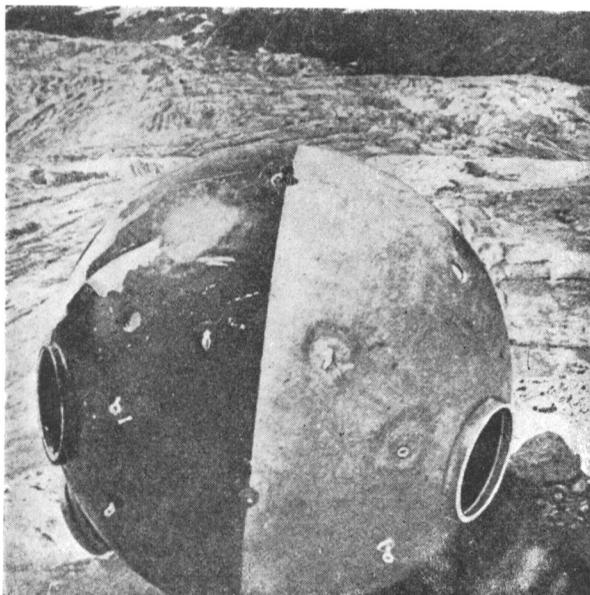


**Фиг. 13.**

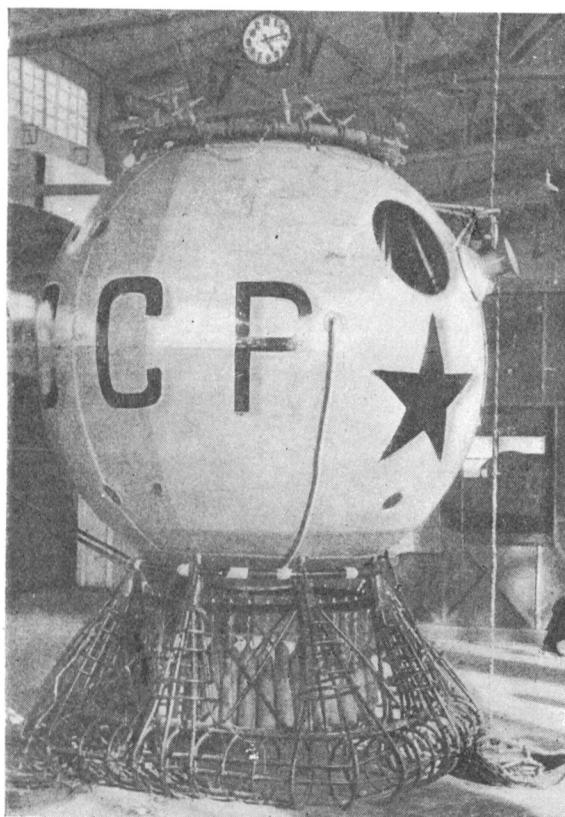


**Фиг. 14.**



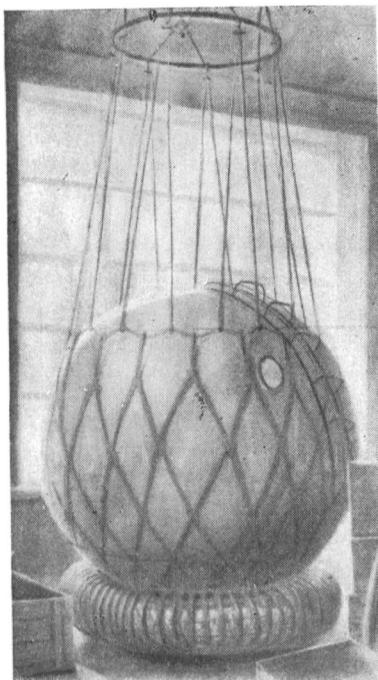


Фиг. 15.

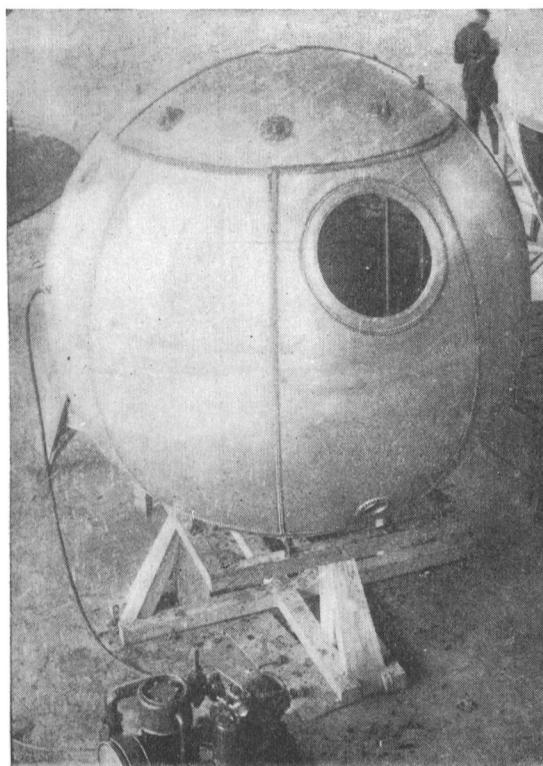


Фиг. 16.



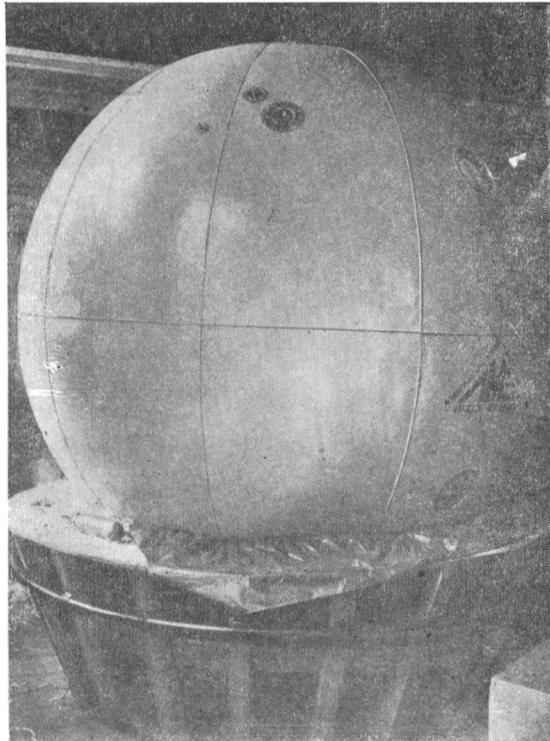


Фиг. 17.

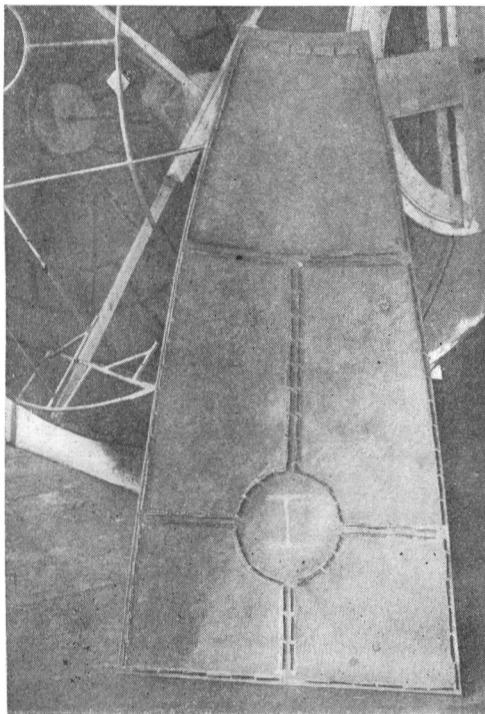


Фиг. 18.



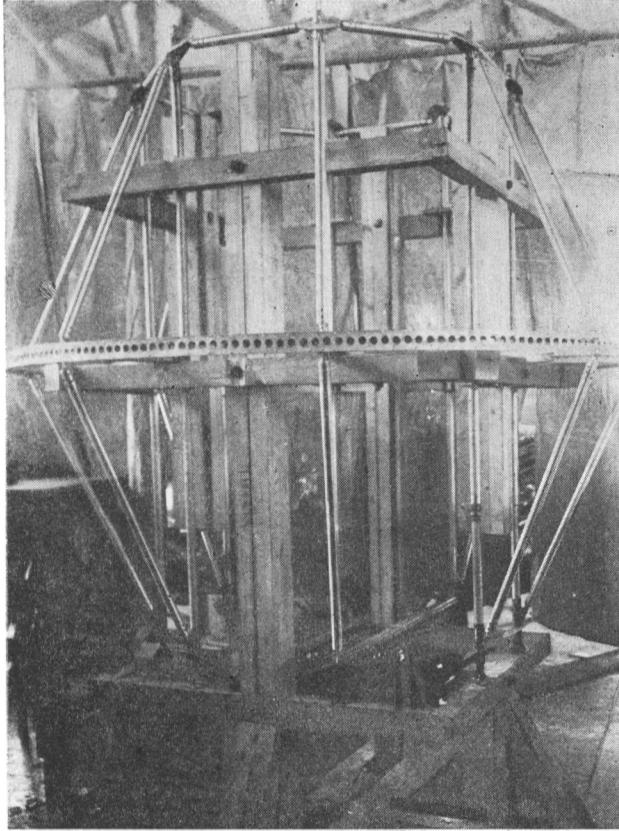


**Фиг. 19.**

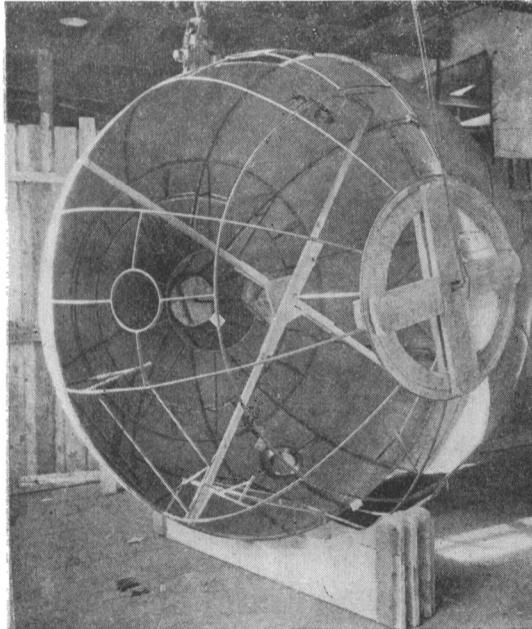


**Фиг. 20.**



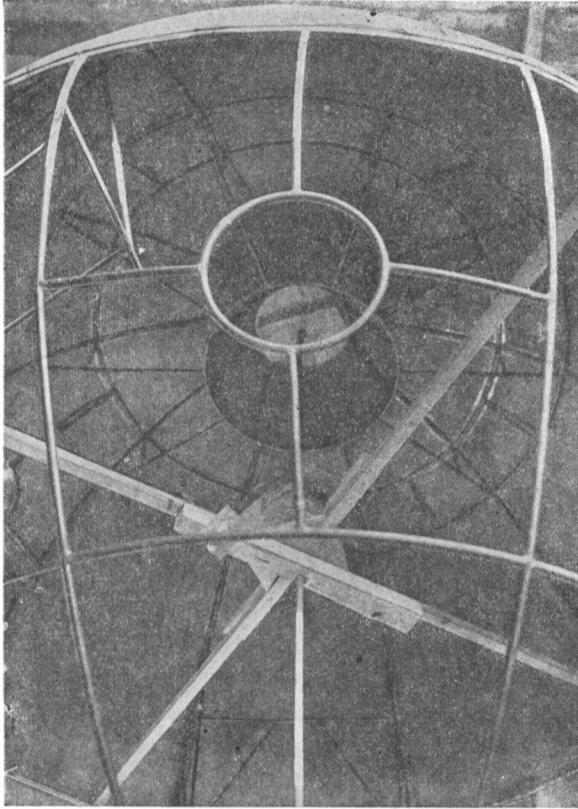


Фиг. 21.

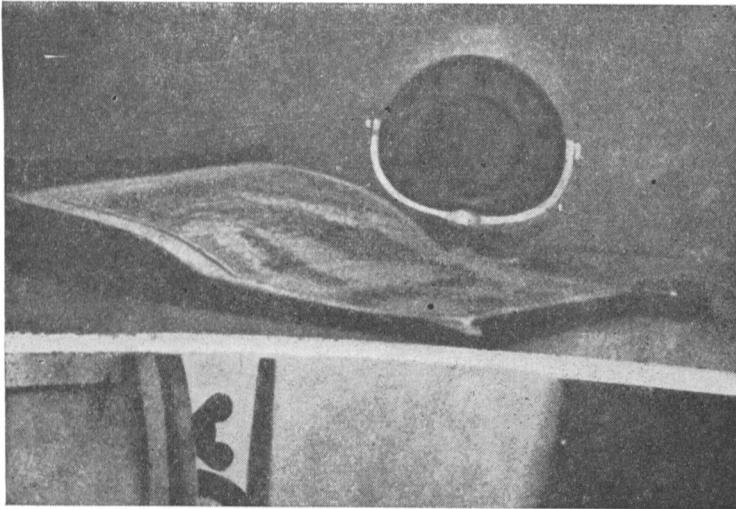


Фиг. 22.



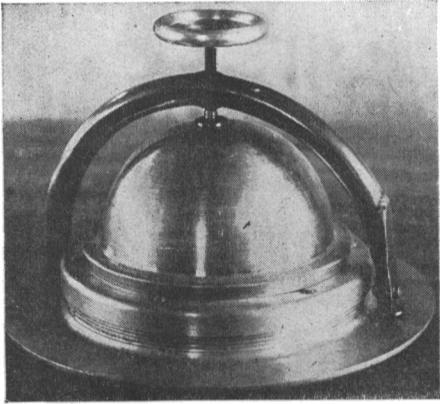


Фиг. 23.

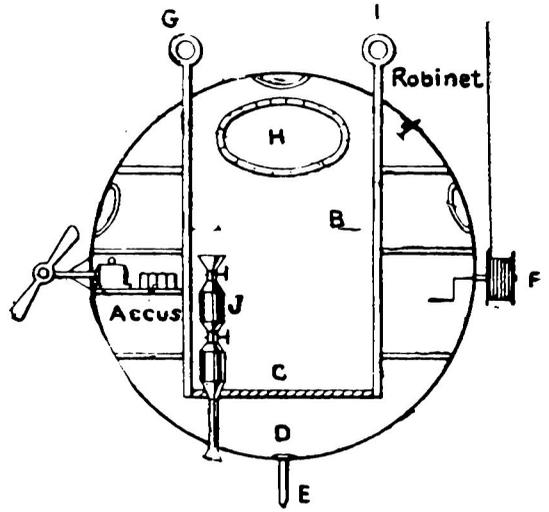


Фиг. 24.





Фиг. 25.



Фиг. 26.

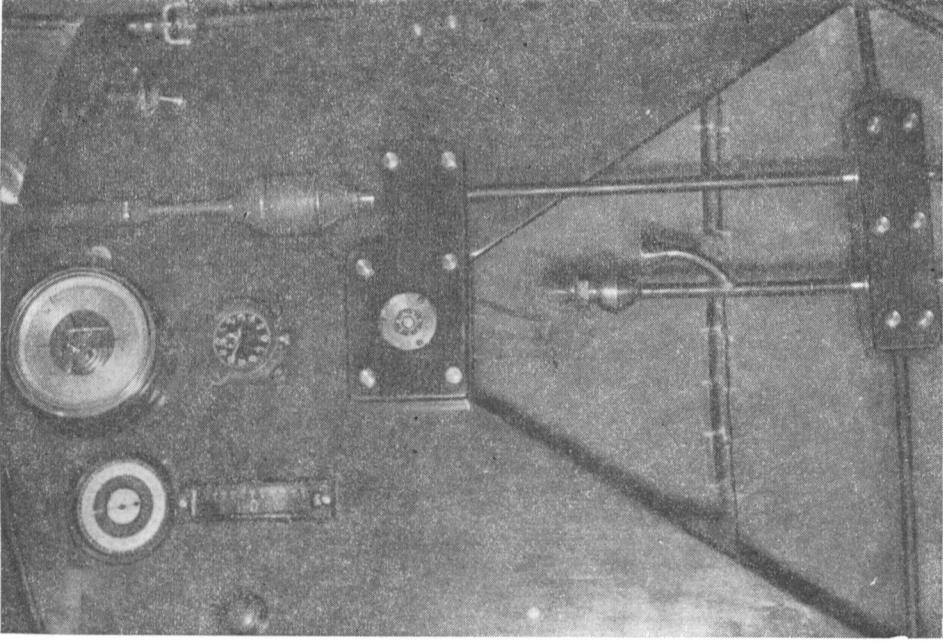


Фиг. 27.

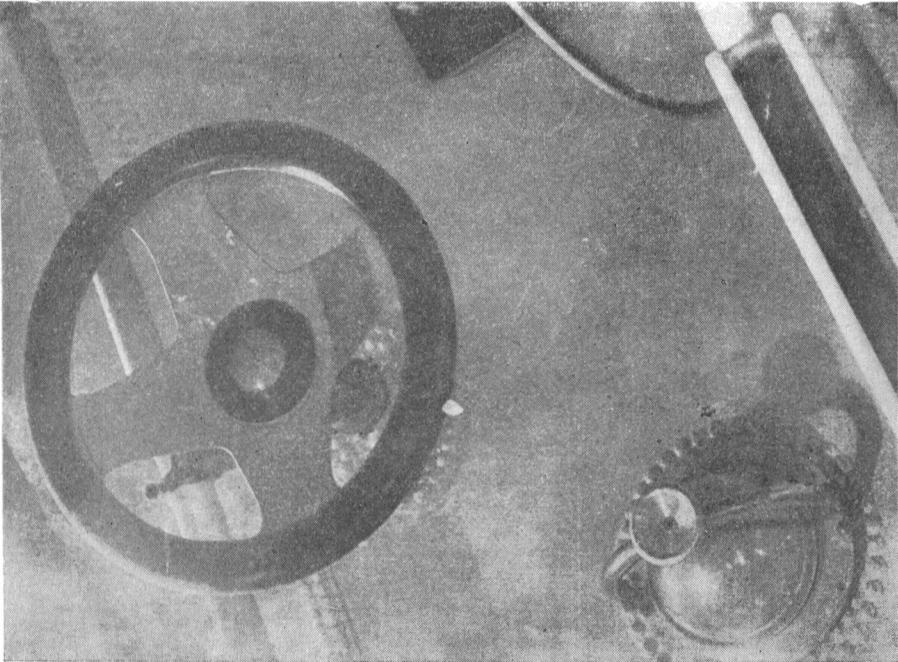


Фиг. 28.



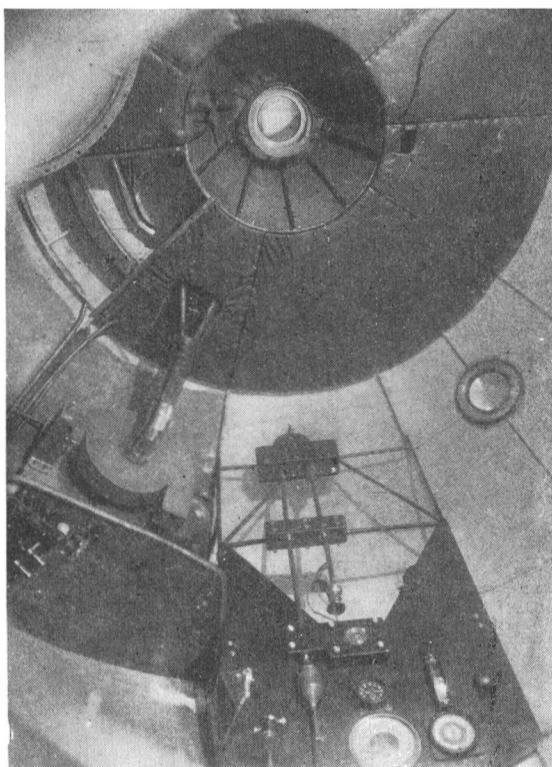


Фиг. 30.

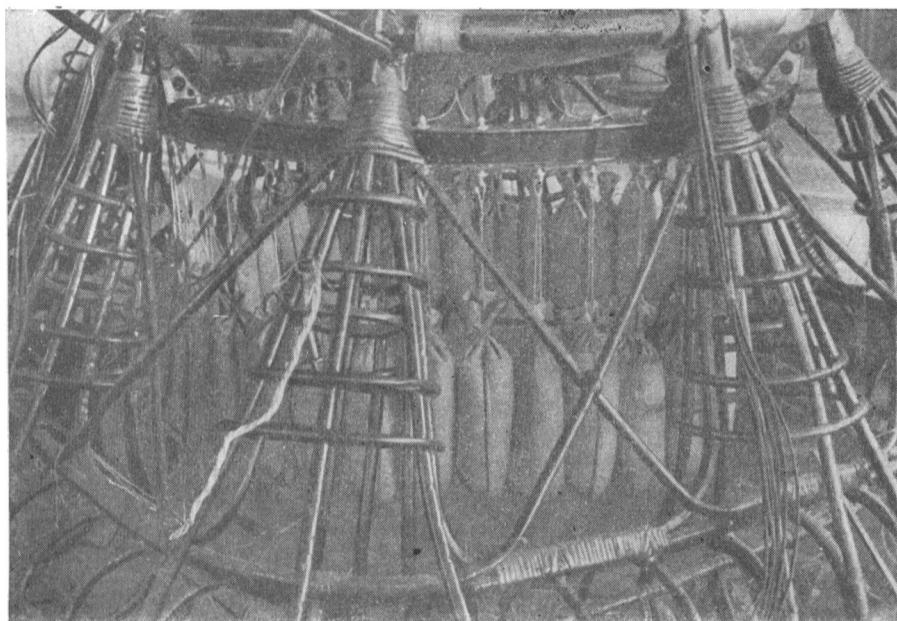


Фиг. 29.



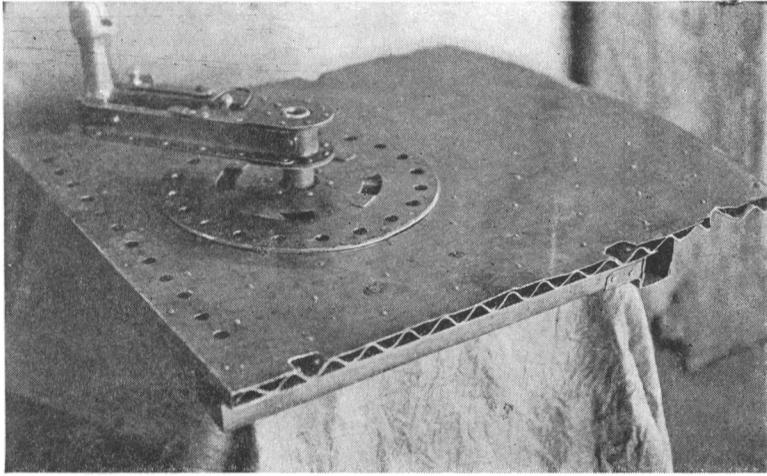


Фиг. 31.

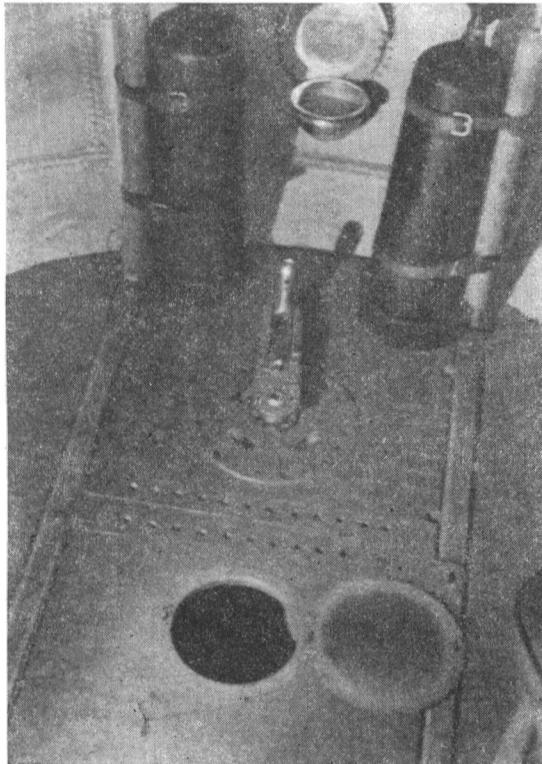


Фиг. 32.



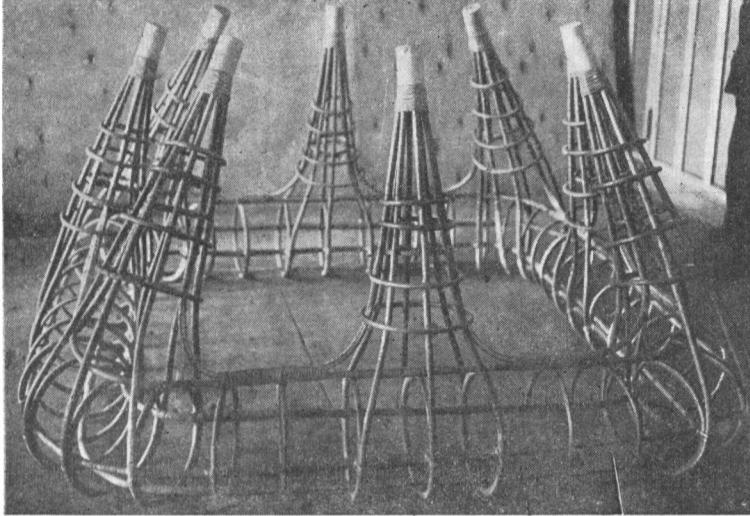


Фиг. 33.



Фиг. 34.





Фиг. 35.



Фиг. 36.



П. И. ГРОХОВСКИЙ  
НА НЕДОСТИГНУТЫЕ ВЫСОТЫ

Для изучения больших высот атмосферы еще в XVIII в. пробовали подниматься на аэростатах.

В конце XIX в. Россия находится на первом месте по исследованию атмосферы на воздушных шарах.

XX век ознаменовался полетом Пикара, побившего мировой рекорд высоты 16.5 км.

В 1933 г. полет в стратосферу был осуществлен советскими стратонавтами, которые достигли 19 000 м. В 1934 г. советскими же стратонавтами вновь побит рекорд высоты — достигнута высота 22 000 м.

Но несмотря на достигнутые высоты, наука получила очень мало сведений о стратосфере, так как полеты не носили постоянного характера, а были случайными и очень редкими, что не давало возможности более широко поставить вопрос изучения стратосферы.

Для того чтобы летать круглый год, необходим такой аппарат, который был бы способен без риска и круглый год, по мере надобности, совершать полеты.

Предложенный мною стратопланер и стратопарашют вполне отвечают таким требованиям. Кроме того они отличаются простотой и несложностью изготовления, так как представляют собой комбинацию существующих конструкций.

Для конструкции стратопланера я использовал стратосферную оболочку, предварительно освободив ее от излишних нагромождений: веревок, клапанов, лебедок, балласта и проч.

Вместо gondoly я применил планер с герметически закупоренной кабиной вместо фюзеляжа.

В этом планере находятся все приборы, необходимые для исследования больших высот, вплоть до 35 000 м.

Чтобы производить полеты круглый год, необходимо иметь специальный элинг, который послужит не только прикрытием от непогоды, но также сократит большое количество обслуживающего состава. Но самая главная его ценность заключается в том, что он позволит ждать погоды с подготовленным для полета стратопланером и в случае неудачи последнего сохранять водород до следующего полета.

Случайные же полеты можно производить без элинга. Полет производится следующим способом: в элинг помещается оболочка, которая заполняется водородом, поступающим из хранилища, расположенного вблизи элинга. К надутой оболочке с помощью автоматических замков крепится стратопланер, после чего производятся все подготовительные работы для полета. По приведении стратопланера в полную готовность в кабину садятся летчик и летчик-наблюдатель. В обязанности первого входят: наблюдение за правильностью подъема, связь по радио с землей, управление обратным полетом и посадка. На летчика-наблюдателя возложены следующие обязанности: управление кислородными аппаратами, научные исследования, наблюдение за приборами и ведение бортового журнала. После дачи старта штопорные приспособления автоматически отцепляются, и стратопланер выходит из элинга. Стратопланер подымается со скоростью не более 3—5 м/сек., достигая высоты 35 000 м приблизительно в 2.5 час.

Набрав предельную высоту, летчик-наблюдатель производит необходимое наблюдение, после чего летчик включает автоматическую отцепку которая освобождает стратопланер от оболочки и разрывает последнюю в нижней ее части, что позволяет выпустить определенное количество газа. Оставшийся газ медленно спускает оболочку на землю. Отцепившийся стратопланер сначала входит в пике для набора скорости в 511 км в час. Набрав эту скорость, он начинает планировать нормально, все время уменьшая свою скорость, которая около земли будет равняться 108 км в час. Время, необходимое для возвращения на землю, — 1 час. 42 мин. Дальность полета — 525 км. Такая большая дальность стратопланера по любому направлению даст возможность вернуться к месту взлета. Расчет дальности планирования летчик может вести по имеющейся у него в кабине шкале, согласно достигнутой высоты. Если почему-либо стратопланер улетел за пределы рассчитанной дальности, летчик может выбрать любой аэродром в его радиусе. Для прохождения через облака и туманы стратопланер имеет приборы и жирокопическую установку. Посадка производится на скорости от 50—80 км. При ночной посадке включаются осветительные ракеты, находящиеся под крылом стратопланера.

Спасательным средством служит парашют, имеющийся в задней части кабины. В случае аварии планера летчик с помощью автоматического приспособления открывает парашют, который в свою очередь вытягивает кабину со стратопланера и приземляет ее со скоростью — 3—5 м/сек. Если почему-либо парашют не открылся, то на высоте 8 000 м летчики включают приспособление, выбрасывающее их с индивидуальным парашютом.

Такая конструкция стратопланера открывает новые возможности исследований, приближая к реальным свободным полетам в стратосфере и давая опыт скоростных полетов, изучение вибраций, продувок в разреженной среде профиля крыла, что дает возможность в кратчайший срок подойти к строительству стратопланов.

Предлагаемый мною стратопарашют тоже очень прост и быстро изготавливаем в производстве. Здесь я поставил себе целью применить существующие парашюты, сделав их не только для снижения, но также заставив их свободно подниматься на любые высоты. Для этого необходимо сшить больших размеров парашют из прорезиненной материи. В нижней части парашюта устанавливаются кольца, через которые продевается шнур, стягивая кромку парашюта до малого отверстия. Стропы от парашюта наматываются на две катушки, находящиеся сверху герметической кабины.

Балласт берется только для подъема. Наполнив парашют водородом, мы получим ту же самую оболочку, что и у стратостата, но с устранением клапана, лап и двухслойной материи — все это дает упрощение и превращение оболочки в парашют.

На таком стратопарашюте не нужны специалисты воздухоплавания или летчики. Научные работники сами свободно могут подыматься и в любое время производить спуск.

Поднявшись на заданную высоту, научный работник одним движением рвет стягивающий оболочку шнур, после чего нижняя кромка оболочки откидывается, стропы разматываются с лебедок, превращая оболочку в стратопарашют и спуская герметическую кабину со скоростью 2—3 м/сек. В случае какой-либо аварии в нижних слоях воздуха, научные работники могут выбраться на индивидуальных парашютах.

Такая конструкция дает возможность развития парашютного дела в стратосфере, неся по этой линии новые научные труды, открывая простой, безопасный полет в стратосферу.

---



## ПРЕНИЯ

### ПО ДОКЛАДАМ ФРАНКЛЯ И КИББЕЛЯ

Проф. А. Саткевич указывает, что вопросы газовой динамики т. Киббель проработал очень хорошо. В настоящее время мы обладаем контингентом лиц, которые могут решать соответствующие задачи, и средствами, которые в руках этих лиц получают удачное применение. Прослушанные доклады убеждают, что в области техники завоевания стратосферы мы находимся на уровне, отвечающем современному состоянию науки. Если несколько лет назад мы шли позади Западной Европы и Америки, то в настоящее время мы начинаем их перегонять.

### ПО ДОКЛАДУ БУТРОВА

**Михалевский.** Тов. Бугров в своем докладе указывал о тех затруднениях, которые возникают при полете в стратосфере. Для подъема на высоту, примерно 15 км, на двухместном самолете весом около 3.5 т потребуются двигатель мощностью около 450—500 л. с. Такую мощность можно обеспечить при весе установки около 2.5 кг/л. с. при центробежном двуступенчатом нагнетателе. При двуступенчатом нагнетателе мы имеем минимальный вес всей установки. При переходе к трехступенчатому нагнетателю вес всей установки резко возрастает. С турбокомпрессорами, при современном их состоянии, нельзя рассчитывать на полет на большую высоту, в виду невозможности обеспечить самолет необходимой мощностью при минимуме веса. Коэффициенты полезного действия, которыми обладает современный турбокомпрессор, настолько низки, что противодавление получается чрезмерно велико. Например, для обеспечения всасывания с помощью турбокомпрессора 0.8 атм. необходимо иметь на выход двигателя противодавление в несколько атмосфер, в результате чего мощность двигателя сводится к минимуму (меньше 100 л. с.). Следует подчеркнуть, что при расчете винтомоторной группы нам весьма важно знать процент содержания кислорода в воздухе. Существует теория, по которой на высоте в 12—13 тыс. м процент содержания кислорода уменьшается. Это дает падение мощности на высоте 15 тыс. м при постоянном содержании кислорода—525 л. с. Учитывая некоторое уменьшение процентного содержания кислорода, имеем падение мощности на 15%, т. е. всего 450 л. с.

Современные нагнетатели очень неудовлетворительно разрешают вопрос о полетах в стратосфере. Необходимо усовершенствовать эти нагнетатели путем увеличения быстроходности и уменьшения веса и, следовательно, веса всей установки.

Для работы по усовершенствованию нагнетателя необходим ряд экспериментальных установок. Несколько таких установок в настоящее

время в Центральном институте авиомоторостроения уже запроектированы. Существует одна специальная установка, которая имеет назначение для полетов в стратосферу.

На примере стратосферного самолета Фармана, стратосферного самолета Юнкерса и других аппаратов, диапозитивы которых демонстрировались проф. Рыниным, видно, что полеты в стратосферу связаны с большими трудностями.

О стратоплане Фармана было известно еще в 1930 г. Существуют фотографии с этого аппарата, но о полетах его до сих пор мы не слышали, очевидно, в виду больших трудностей, стоящих на пути полета.

Двуступенчатый центробежный нагнетатель с особым механизмом, спроектированным Фарманом в 1928 г., только спустя шесть лет прошел государственное испытание.

Вопрос о полетах в стратосферу с помощью бензинового двигателя еще далеко не разрешен, предстоит еще большая работа и мы должны здесь всецело использовать опыт, накопившийся в деле постройки и внедрения центробежного нагнетателя.

Центральный институт авиомоторостроения работает в области создания стратопланной и винтомоторной группы. Работа тормозится тем, что институт не имеет никаких конкретных заданий для стратосферной и винтомоторной группы. Настоящая Конференция должна отметить в своих резолюциях, что перед институтом должны быть поставлены реальные задачи.

**Бугров** подчеркивает условность веса моторной группы: чем большие требования высотности предъявляются к моторной группе, тем больше будет вес на лошадиную силу; абсолютного значения эти веса не имеют, потому что, не имея конструкции, трудно говорить об абсолютной величине весов.

Что касается присутствия на больших высотах водорода в стратосфере, то при малых давлениях мощности на нагнетатель потребуется больше, вне зависимости, имеем ли мы атмосферу нормального состава или с содержанием водорода. Поэтому, вне зависимости от состояния стратосферы, на больших высотах с нагнетателем ничего сделать не удастся, и это предложение придется отнести к числу фантастических.

#### ПО ДОКЛАДАМ О СТРАТОПЛАНАХ

**Горощенко.** Всю область завоевания стратосферы и застратосферы можно разбить на две части. Первая часть связана с дозвуковыми скоростями и источником энергии в виде авиационного мотора, а вторая — со скоростями зазвуковыми; она связана с реактивным движением.

Пока мы находимся в области дозвуковых скоростей, мы знаем, каким должен быть самолет, сама схема самолета прений не вызывает.

Во время своего пребывания во Франции т. Горощенко имел возможность познакомиться с французскими работами по овладению стратосферой, в частности с работами фирмы Гершэ и Фармана. Фарман решает эту задачу исключительно путем разработки винтомоторной группы. С точки зрения полета аппарат Фармана в высшей степени неудобен. Летчик летит в трех положениях: первое положение для рулежки, второе — когда он вылетает или садится (он сидит нормально) и третье положение — когда он себя закрывает и летит в кабине. В кабине находится маленький редуктор, который подает воздух, два указателя скорости, два пионера и три сектора для включения трех ступеней нагнетателя. Все

остальные приборы вынесены наружу слева и находятся под наблюдением механика. Винтомоторная группа представляет большой интерес. Труднейшей проблемой является проблема винтов и радиаторов. Те радиаторы, которые находятся справа и слева от фюзеляжа машины — воздушные радиаторы, которые в два-три раза больше, чем водяные.

С нормальным винтом машина максимально летит на 5 тыс. м. Сейчас фирмы делают четырехлопастный винт, весом около 200 кг. Расчеты по винтомоторной группе стратоплана показывают, что вес винта будет не на 50%, а в 2—2.5 раза больше.

Для полета в стратосферу необходимо в первую очередь решить вопросы винтомоторной группы, создания надува, охлаждения и винта с переменным шагом. Здесь следует идти путем испытания на самолетах. Если есть возможность подняться на высоту 10 тыс. м, то нужно подняться, так как высота в 10 тыс. м может дать для нашей работы с точки зрения охлаждения и винта переменного шага. Последовательная и четкая работа с определенным самолетом в высшей степени продвигает вопрос овладения стратосферой.

Что касается применения стратоплана, то хотя оно и не будет особенно экономичным, но все же даст возможность научного разъяснения проблемы.

Относительно летания с помощью ракеты со скоростями, большими звуковой, следует отметить необходимость предварительного широкого развития опытной работы с аэродинамической трубой с большими скоростями, без чего эта проблема не может быть решена.

**Сладкопевцев** указывает, что в расчете самолета большую роль играет расчет на прочность. Если стратоплан будет иметь значительно превышающие скорости и по своей конструкции будет значительно отличаться от самолета, то расчет на прочность будет также отличен. Для того, чтобы рассчитывать и исследовать конструкцию, надо знать нагрузку на эту конструкцию. Первый этап расчета самолета и стратоплана — установление нормальной прочности.

Нормы прочности для самолета перестраиваются. Сейчас норма прочности самолета базируется на характеристике самолета, по соотношению максимальной скорости с минимальной — это тот критерий, по которому надо выбирать расчет нагрузки на самолет. Если для стратоплана окажется в результате аэродинамических исследований и выбора механизмов или реактивных двигателей, что скорость значительно превосходит скорость обычного самолета, то расчет на скорость значительно меняется. Эту проблему, стоящую в порядке дня, следует основательно продумать.

По вопросу о расчетах крыльев самолетов и вибратора на Конференции выявилось несколько точек зрения. Некоторые считают, что стратопланы будут иметь большую скорость, фактически критическую скорость вибратора, от которой начинается резонанс, но эта скорость у стратоплана может быть несколько иная. Вопрос о фактической скорости остается неразрешенным. В самолете надо разграничивать фактическую скорость  $A$  от той скорости, при которой момент  $A$  растет быстрее, чем момент силы. В обычных самолетах эта критическая скорость лежит около критической скорости вибратора. Для стратоплана это будет, может быть, не так. Это один из важных вопросов, требующий разрешения.

Когда выявится конструкция стратоплана, тогда можно будет приступить к непосредственным расчетам его по деталям. Сейчас одной из проблем является расчет герметически закрытой кабины с учетом разницы давления, которое имеется на высоте.

Кроме того, необходимо учесть скудость наших знаний о стратосфере, при летании в стратосфере приходится сталкиваться с целым рядом неожиданностей, и вопрос об управлении и конструкции стратоплана является весьма важным фактором. Огромное значение имеет влияние особых атмосферных условий на конструкцию, например, резкого перехода от низких температур к средним и наоборот: все это должно отражаться на конструкции стратоплана. Можно себе представить также, что конструкция самолета будет нагреваться сильнее сверху и испытывать сильный холод снизу, что может нарушить нормальную работу конструкции.

#### ПО ДОКЛАДАМ О СТРАТОСТАТАХ

**Седых** сопоставляет катастрофу стратостата „СОАХ-1“ с катастрофой, которая имела место с дирижаблем „Италия“.

Катастрофа дирижабля „Италия“ началась таким образом: возвращались, летели ниже облаков, нужно было определить местонахождение, поднялись выше облаков и так как попали под действие солнца, то оболочка накалилась; должны были выпустить большое количество газа, а потом дирижабль быстро остыл и пошел с большой перегрузкой.

В катастрофе со стратостатом „СОАХ-1“ мы видим ту же картину: находясь под действием солнца, стратостат пошел вверх, пилот стремился его задержать путем выпуска газа, и когда влияние солнца прекратилось, стратостат, охладившись, пошел книзу.

Стратостат, находящийся под действием солнечных лучей, с одной стороны, получает большое количество теплоты, с другой стороны, отдает ее. Следовательно для того, чтобы произвести правильный расчет количества балласта, необходимо написать два уравнения. Одно уравнение — механическое равновесие и второе — тепловое.

**В. В. Кузнецов.** Один из предыдущих докладчиков, говоря о конструкции стратостата, упомянул о разрывном приспособлении; это весьма существенная часть, которая должна делаться безукоризненно.

При первом полете Всероссийского аэроклуба на шаре, на котором поднимались 4 пассажира, автоматическое разрывное приспособление разорвалось силой тяжести вещей, которые были прицеплены к этому приспособлению. Полет окончился тяжелой аварией; пилот сломал себе ноги, инж. Палицын был убит, жена его сломала ключицу, уцелел только один пассажир.

При конструировании стратостата надо подумать, как прикрепить веревки к разрывному приспособлению. У гондол, виденных т. Кузнецовым, веревки, входящие внутрь шара, делались с определенной слабину, но эта слабина — снаружи.

Когда шар поднимается, то аппендикс выходит совершенно свободно, при спуске же аппендикс захлопывается в силу давления наружного воздуха, и веревка, которая идет в аппендикс, этой материей может затормозиться: такая огромная оболочка, такая масса материи легко может задержать эту веревку, и если слабину внутри шара для этой веревки нет, то она натянется и автоматически разорвет разрывное приспособление. Это — опасность, которой нужно избежать.

В гондоле, находящейся на выставке, было много приборов: там были сделаны твердые деревянные полочки, там есть деревянные стержни. При сильном ветре шар может отнести очень далеко, и при этом может получиться очень серьезный тренаж, так что находиться в этой гондоле

при всех этих приспособлениях чрезвычайно опасно. Гондолу следует делать проще и устраивать таким образом, чтобы все приборы, которые в ней находятся, перед спуском выбросить на парашюте и, таким образом избавиться от излишних твердых частей.

**П. А. Молчанов.** Оба полета нашего советского стратостата дали прекрасные высоты и весьма ценную программу выполнения. Тот факт, что стратостат „СССР“ опустился на землю без каких-либо повреждений, а стратостат „СОАХ-1“ погиб — еще не является достаточным критерием для утверждения о том, что первый был построен значительно лучше, а второй хуже. Совершенно ясно, что гибель стратостата „СОАХ-1“ определялась не одним каким-нибудь дефектом системы, а произошла в результате трагического накопления обстоятельств, в конечном счете повлекших к катастрофе. Из сравнения обоих стратостатов видно, что мы имеем совершенно различные способы прикрепления такелажа. В первом стратостате имеются стропы, идущие вверх, во втором стропы прикреплены в нижней части оболочки. Гроховской указывал относительно возможности парашютирования. Для парашютирования благоприятна первая система, потому что в первом случае налицо, кроме оболочки, еще несколько решеток, состоящих из такелажа и покрывающих оболочку; таким образом, прочность материи значительно возрастает. Во втором стратостате оболочка предоставлена самой себе; не будучи рассчитана на то напряжение, которое получится при парашютировании, оболочка не выдержит удара. Таким образом, система Пикара все-таки должна быть несколько видоизменена.

Относительно выхода из гондолы т. Гроховской уже указывал, что выход не вполне благоприятный. Мы имеем только один выход, и к нему надо подниматься по веревочной лестнице. Даже при спокойном расположении на земле выход представляет некоторую задачу. В дальнейших полетах это неудобство необходимо избежать.

При этих системах стратостата, если заранее не предусмотрено автоматическое выбрасывание наблюдателя на парашюте (если мы будем говорить о полете, рассчитанном на благополучное возвращение), необходимо предусмотреть, чтобы авария одной какой-нибудь части стратостата не влекла за собой другой аварии. Необходимо предусматривать возможность разрыва аппендикса так же, как и все последствия, которые могут быть в результате такой отдельной аварии.

В этом отношении предстоит сделать очень многое. Может быть, детали останутся прежними, но их хорошо надо разместить и выбрать, чтобы повреждение одной детали не могло повлечь аварии других деталей.

**Председатель.** Бесспорно, что те сведения о физических свойствах стратосферы, которые в данный момент имеются, недостаточны для того, чтобы мы могли ограничиться ими для дальнейшей работы в области изготовления технических средств освоения стратосферы. Поэтому дальнейшие исследования стратосферы являются для нас задачей, совершенно необходимой.

Дальнейшее исследование стратосферы шарами-зондами необходимо, и для этого нужно вести работу в области изысканий удешевления оболочки и более совершенного аппарата-самописца.

В резолюциях секции следовало бы отметить, что на ближайшее время средством поднятия человека в область стратосферы остается все же стратостат, и в этом отношении мы должны направить все усилия на то, чтобы улучшить работу этого стратостата путем изыскания воз-

возможности уменьшения веса системы, однако, ни в коем случае за счет снижения прочности.

Особо важным вопросом является исследование поведения стратостата при тех инверсиях, которые получаются в высших слоях стратосферы при допущении возможности, если не течений, то достаточно сильных колебаний в высоких слоях: стратостат может оказаться в очень тяжелых условиях. Этот вопрос также должен быть подвергнут разработке.

Что касается влияния радиации, то имеются показатели такого порядка, что применяющиеся сейчас моторы не боятся этой радиации; однако есть некоторые показатели, указывающие на то, что этот вопрос недостаточно ясен. Все эти вопросы должны изучаться под углом изыскания средств безопасности полета. Должен быть основательно обследован вопрос об устройстве парашюта и замены gondoly кабино-планером, а также обращение самой оболочки в парашют и т. д.

Что касается области аэродинамики, то для нас совершенно очевидно, что мы теоретически до некоторой степени овладели вопросами аэродинамики больших скоростей, но, повидимому, отстаем в области экспериментов в этом деле.

Звуковые скорости и смежные с ними это— вопрос сегодняшнего дня.

Нет оснований полагать, что мы не можем построить стратоплан не только для высоты 30 км, но и для высоты, на которой можно было бы освоить аппаратуру поддержания жизни человека в герметической gondole.

В области винтомоторной группы необходимо несколько расширить принципиальную базу, на которой можно искать решение вопроса питания мотора. Сейчас мы держимся системы центробежного нагнетателя, но ряд специалистов стоит на такой точке зрения, что современная техника дает возможность использовать и другие принципы устройства нагнетателя.

Необходимо расширить эксперименты в области применения разных способов нагнетания мотора.

Относительно реактивных приборов следует признать за основу то, что выражено в докладе г. Тихонравова.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ЗАСЕДАНИЕ 6 АПРЕЛЯ 1934 ГОДА ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Ответственный секретарь Конференции М. С. Эйгенсом оглашает результаты статистического учета делегатов Конференции (см. Введение), после чего Конференция заслушивает представленные Президиумом проекты резолюций Конференции.

После обсуждения Конференция принимает резолюции (см. ниже).

Конференция постановляет послать приветствия вождю Красной Армии тов. К. Е. Ворошилову и руководителю ленинградской партийной организации тов. С. М. Кирову.

Конференция посылает привет О. Ю. Шмидту и челюскинцам, а также начальнику дирижабельной спасательной экспедиции, герою стратосферы т. Бирнбауму.

П. А. Молчанов информирует Конференцию о новых рекордных полетах радио-зондов (5 апреля,  $h = 21\ 200$  м).

Председатель, акад. С. И. Вавилов, зачитывает, а Конференция принимает следующее обращение:

### ОБРАЩЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ СТРАТОСФЕРЫ

Ко всем научным и инженерно-техническим работникам, ко всем учреждениям и организациям, ко всем трудящимся СССР.

Закончив свою работу и подведя итоги имеющимся сведениям о верхних слоях атмосферы, Конференция отмечает, что ее работы выяснили чрезвычайную важность исследования стратосферы для учения о погоде, для нужд авиации и для целого ряда центральных вопросов физики, астрономии, биологии и техники. Вместе с тем выяснилось, что современное состояние сведений о стратосфере находится в примитивном состоянии. Нужно сосредоточить научную мысль и энергию на этом важнейшем, но малоисследованном участке науки.

Полеты советских стратостатов доказали полную осуществимость наиболее прямого и плодотворного метода исследования стратосферы.

Героические полеты на стратостатах гг. Прокофьева и Федосеенко явились, несмотря на роковой конец второго полета, выражением громадных технических возможностей, имеющихся у нас в Союзе, и вместе с тем доказательством еще не преодоленных недостатков.

Центральный совет Осоавиахима учредил специальный фонд имени погибших отважных исследователей, основанный на добровольных отчислениях учреждений и лиц и предназначенный для обеспечения дальнейшего исследования стратосферы.

Всесоюзная Конференция по изучению стратосферы горячо поддерживает инициативу Центрального совета Осоавиахима и обращается ко всем научным и техническим учреждениям Союза, ко всем трудящимся, с призывом принять активное участие в деле завоевания стратосферы и, в частности, в фонде имени тт. Федосеенко, Васенко и Усыскина.

Исследованная и завоеванная стратосфера будет лучшим памятником погибшим героям.

Президиум Всесоюзной Конференции по изучению стратосферы:

<i>Акад. А. П. Карпинский</i>	<i>проф. Н. Н. Калитин</i>
„ <i>А. А. Белопольский</i>	<i>А. П. Кожевников</i>
„ <i>А. А. Борисяк</i>	<i>В. С. Львов</i>
„ <i>С. И. Вавилов</i>	<i>проф. П. А. Молчанов</i>
„ <i>В. И. Вернадский</i>	„ <i>Л. В. Мысовский</i>
„ <i>И. М. Виноградов</i>	„ <i>С. Г. Натансон</i>
„ <i>А. Ф. Иоффе</i>	„ <i>Л. А. Орбели</i>
„ <i>Г. А. Надсон</i>	<i>И. У. Павлов</i>
„ <i>Д. С. Рождественский</i>	<i>Г. А. Прокофьев</i>
<i>Я. И. Алкнис</i>	<i>проф. Н. А. Рынин</i>
<i>проф. Н. Н. Андреев</i>	„ <i>А. А. Саткевич</i>
„ <i>М. А. Бонч-Бруевич</i>	<i>Б. И. Сегал</i>
„ <i>А. Б. Вериго</i>	<i>проф. П. Н. Тверской</i>
<i>Б. М. Вул</i>	„ <i>Г. А. Тихов</i>
<i>проф. Б. П. Герасимович</i>	<i>В. И. Шорин</i>
<i>К. Д. Годунов</i>	<i>М. С. Эйгенсон</i>
<i>Горшенин</i>	<i>Эйдеман</i>
<i>Гуркин</i>	<i>В. А. Чижевский</i>
<i>П. С. Дубенский</i>	<i>Е. Е. Чертовской</i>
<i>Ф. Н. Ильин</i>	

Далее Председатель зачитывает следующее ударное обязательство работников Главной Геофизической обсерватории:

. КОНФЕРЕНЦИИ ПО СТРАТОСФЕРЕ  
УДАРНОЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВО  
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Мы, нижеподписавшиеся научные работники Библиографического бюро Главной геофизической обсерватории в составе Булгаковой Л. В., Костаревой О. А. и Яковенко К. Л., образуя ударную бригаду, берем на себя ударное обязательство по составлению специального „Библиографического указателя по стратосфере“.

Названный указатель даст критический обзор существующей русской и иностранной литературы, посвященной вопросам изучения и освоения стратосферы и представит собою реферированно-аннотированный указатель, материал которого расположится в тематическо-предметном порядке.

Указатель будет подготовлен для печати к годовщине первого полета „Стратостата СССР“, т. е. к сентябрю текущего года.

Редактирование указателя будет принадлежать директору Главной геофизической обсерватории В. С. Львову.

1934 года 6 апреля.

*В. С. Львов*  
*Л. В. Булакова*  
*О. А. Костарева*  
*К. Л. Яковенко.*

Затем Конференция постановляет отметить широкое участие прессы в освещении работ Конференции и, в частности, газеты „Техника“, посвятившей Конференции целый номер.

В заключительном слове председатель, акад. С. И. Вавилов, выражает благодарность всем учреждениям, принимавшим участие в работе и финансировании Конференции и, в частности, благодарит Академию Наук СССР, осуществившую научное руководство Конференцией.

При этом акад. С. И. Вавилов особо отмечает большой интерес к Конференции, проявленный Президентом Академии Наук СССР акад. А. П. Карпинским, посещавшим все заседания Конференции и неоднократно участвовавшим в дискуссии.

Далее акад. С. И. Вавилов говорит: „Я закончу свое заключительное выступление логически вытекающим из всего хода дела возгласом — да здравствует Коммунистическая партия и ее вождь тов. Сталин (*аплодисменты*). Создавая новое бесклассовое общество, партия и ее вождь вместе с тем создают для этого общества и новую науку и новую технику с новыми коллективными методами, которые позволят преодолеть сколь угодно трудную преграду, хотя бы она и называлась стратосферой“ (*аплодисменты*), — после чего объявляет I Всесоюзную Конференцию по изучению стратосферы закрытой.

---



#### РЕДАКЦИОННЫЕ ПОПРАВКИ

1) На обороте титульного листа в списке членов Редакционной коллегии пропущена фамилия П. С. Дубенского.

2) Статья П. С. Дубенского „Методы и задачи освоения стратосферы“ ошибочно помещена в разделе „Проблемы аэрологии“. Статья должна следовать после вступительной речи акад. С. И. Вавилова.

