

НА ПОРОГЕ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

(Новое в изучении
атмосферы Земли)

В. В. МИХНЕВИЧ,
кандидат физико-математических наук

Запуски космических кораблей-спутников с экипажем на борту, выход человека из корабля в космическое пространство и другие успехи в освоении космоса стали возможными благодаря гигантской работе ученых и инженеров по созданию новой автоматики, электроники, по ракетостроению и т. д. Большую роль в достижении этих успехов сыграли и геофизические исследования, изучение свойств верхней атмосферы и космического пространства.

Благополучие космического полета зависит от точности наших представлений об условиях, в которых он проходит. Нужно знать плотность, температуру и состав газа на пути движения космического корабля; знать, насколько опасны для корабля метеорные тела, движущиеся со скоростями в несколько десятков километров в секунду; не губительно ли для живого организма действие коротковолнового излучения Солнца, космических лучей и т. д.

Но исследования верхней атмосферы нужны не только для освоения космоса. Всем известно, насколько велико влияние атмосферы и процессов, в ней происходящих, на условия развития жизни на самой Земле. Вопрос не просто в том, что если бы не было атмосферы, то не было бы и жизни. Даже верхние слои атмосферы, процессы, протекающие на больших высотах под действием Солнца и космических излучений, влияют на жизнь людей. Так, если бы на высотах примерно 20—50 км (в слое озона) не поглощалось коротковолновое излучение Солнца, то солнечные лучи сожгли бы все живое на Земле. Под воздействием Солнца и космического излучения, начиная с высоты 60 км и выше, часть молекул воздуха находится в ионизованном состоянии. Состояние ионизации верхней атмосферы определяет ее

проводимость, а поэтому и условия распространения радиоволн, т. е. дальнюю радиосвязь.

Результаты изучения земной атмосферы широко используются при построении моделей атмосфер других планет.

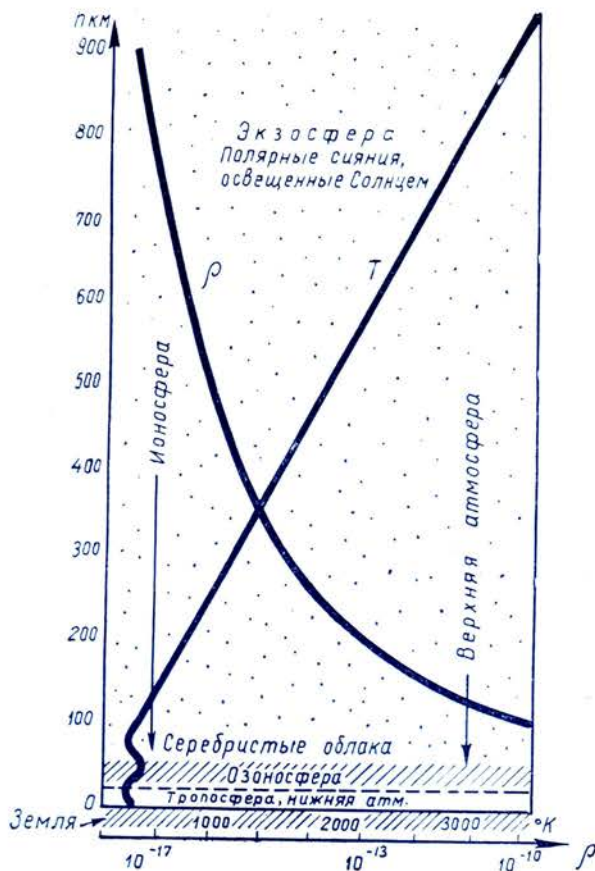
Вот почему данные о верхних слоях атмосферы Земли нужны не только геофизикам, но и астрономам, и покорителям космоса.

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО

Наблюдая с Земли красочные полярные сияния, сумеречное свечение атмосферы (свечение неба в момент захода и восхода Солнца), свечение ночного неба (как известно, ночью небо светится, хотя и слабо), движение серебристых облаков (эти облака видны на высотах примерно 80 км; они имеют серебристое свечение), движение метеоров, приливы океанов и многие другие замечательные явления природы, человек сделал первый шаг в познании атмосферы и ее закономерностей. Длительными наблюдениями и измерениями установлено, что плотность воздуха с высотой убывает, что атмосфера состоит из азота, кислорода и других газов, что на больших высотах существует ветер и т. д.

С развитием техники человек, не ограничиваясь пассивными наблюдениями с Земли, стал посылать в верхнюю атмосферу звуковые, световые и радиосигналы. Оказалось, что температура там не постоянна, а изменяется с высотой. При удалении от Земли она сначала убывает, затем возрастает и на высоте около 50 км достигает максимума. Выше температура опять убывает, на высоте около 80 км наблюдается ее минимум, а выше вновь начинается рост температуры (рис. 1).

Рис. 1. Модель плотности и температуры атмосферы по результатам исследований до 1950 г.



Одновременно с косвенными методами изучения верхней атмосферы с Земли развивались теоретические и лабораторные исследования; моделировались процессы, происходящие, по мнению ученых, в атмосфере; применялись также прямые методы исследований с помощью приборов, поднимаемых в те слои атмосферы, свойства которых изучаются.

Родоначальник прямых измерений — русский академик Я. Д. Захаров. Под его руководством в 1804 г. впервые на аэростате была поднята научно-исследовательская аппаратура. С тех пор прямые методы вместе с развитием воздухоплавательной техники прошли длинный путь развития от воздушных шаров, аэростатов до ракет, спутников и космических зондов.

ЗНАНИЯ РАСШИРЯЮТСЯ...

В последние годы в результате исследований на ракетах и спутниках получено много новых данных о верхней атмосфере, изменились наши представления о присущих ей закономерностях. Выяснилось, что атмосфера не какое-то застывшее образование: ее параметры все время изменяются. Она сжимается и расширяется, изменяются температура, плотность, давление, состав и т. д.

Сопоставление вариаций плотности на высотах более 200 км с солнечной деятельностью выявило взаимосвязь между плотностью и температурой атмосферы и активностью Солнца. Обнаружены закономерности в изменении плотности и температуры атмосферы, характеризующиеся различной периодичностью. Периоды изменения этих величин — суточные, месячные (27—28 дней), полугодовые, 11-летние и т. д. Они определяются периодами изменения активности Солнца, взаимного расположения Земли и Солнца и другими явлениями. Кроме периодических изменений существуют и нерегулярные — в зависимости от случайных возмущений на Солнце.

Под влиянием всех этих факторов плотность атмосферы, например на высоте 500 км, может изменяться в десять раз, а температура в несколько раз (от 700 до 2000° К) (рис. 2).

Закономерности изменения плотности и температуры на высотах 100—200 км менее изучены. Это объясняется трудностью проведения эксперимента. До сих пор на этих высотах учеными всего мира проведено лишь около 20 удачных ракетных экспериментов.

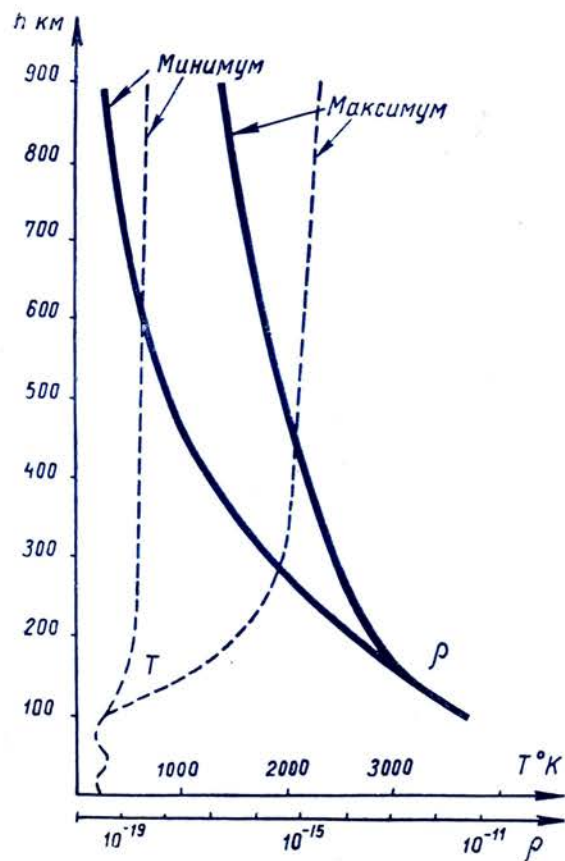
В июне 1963 г. в СССР производились запуски ракет с высотными геофизическими автоматическими станциями. На станциях устанавливались ионизационные и магнитные манометры, которыми определяют плотность и температуру атмосферы на высотах 100—300 км. На рис. 3 представлены результаты определения плотности 6 и 18 июня 1963 г., а также 18 октября 1962 г., 21 февраля и 27 августа 1958 г., полученные с помощью манометров, установленных на ракетах и на третьем советском искусственном спутнике Земли — 16 мая 1958 г. (1958 г. относится к периоду максимума солнечной активности, 1963 г. — к периоду минимума). Из рисунка видно, что плотность атмосферы выше 200 км сильно изменяется. Наблюдаемые вариации плотности вызваны как изме-

нением солнечной активности, так и суточным эффектом. Ниже 200 км вариации плотности гораздо слабее.

...И УГЛУБЛЯЮТСЯ

Как изменяется температура выше 100 км? По давлению, измеренному манометрами 6 и 18 июня 1963 г., определено значение высоты однородной атмосферы H^* и температуры T .

Рис. 2. Модели плотности и температуры атмосферы по результатам экспериментов на ракетах и спутниках до 1960 г.

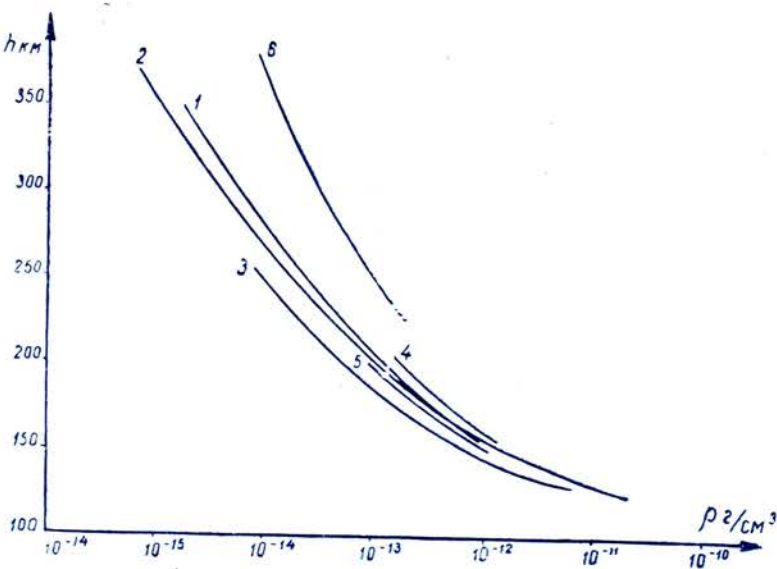


* Величина H (высота однородной атмосферы или шкала высот) характеризует скорость убывания давления атмосферы с высотой. Она равна высоте (над данным уровнем), при подъеме на которую давление убывает в e раз ($e = 2,71828...$ — основание натуральных логарифмов). H зависит от T и молекулярного веса газа M

$$H = gM/RT,$$

где g — ускорение силы тяжести на данной высоте, R — газовая постоянная.

Рис. 3. Кривые плотности атмосферы по данным манометрических измерений. 1—18 октября 1962 г., 2—18 июня 1963 г., 3—6 июня 1963 г., 4—21 февраля 1958 г., 5—27 августа 1958 г., 6—16 мая 1958 г.



При этом предполагалось, что молекулярный вес газа в атмосфере убывает с высотой. (Это следует из экспериментов по определению молекулярного веса в атмосфере.) Температура атмосферы выше 200 км в 1963 г. была гораздо ниже, чем в годы максимума солнечной активности. 18 июня 1963 г. в 4 часа 30 минут температура на высотах 200—300 км не превышала 800° К.

Высота однородной атмосферы и температура выше 100 км изменяются не монотонно (рис. 4).

Реально ли такое изменение H и T с высотой или же это результат ошибки измерений?

При обработке экспериментального материала для определения плотности атмосферы манометрами и масс-спектрометрами, установленными на ракетах, обычно учитывают невысокую точность измерений и значительно сглаживают экспериментальные точки. Сопоставление первичных несглаженных экспериментальных данных по плотности (давлению), полученных разными авторами, показывает, что отклонения экспериментальных точек от сглаженных кривых имеют один и тот же характер. Это заставило нас провести новую обработку эксперимен-

тального материала. Как и при первой обработке, кривые проводились не по точкам, но сглаживание велось с учетом систематического хода точек. Были вычислены значения высоты однородной атмосферы и температуры по давлению, измеренному манометрами 21 февраля и 27 августа 1958 г., 18 октября 1962 г., а также по результатам измерений масс-спектрометром давления азота 15 ноября 1961 г. Кроме того, по значениям высоты однородной атмосферы, полученным Кинг-Хиллом по торможению спутников, определена температура атмосферы.

Полученные результаты в основном подтверждают измерения 6 и 18 июня 1963 г.: температура атмосферы выше 100 км возрастает не монотонно, наблюдаются максимумы и минимумы температуры.

Особенно интересны результаты, полученные с помощью масс-спектрометра для азота, так как в этом случае при определении температуры не делается никаких предположений о составе атмосферного газа. В соответствии с этими данными (рис. 5, кривая 1) на высотах около 180 и 270 км отмечается минимум, а на высотах около 160 и 220 км — максимум температуры. Такой ход изменения температуры с двумя максимумами и минимумами в области от 100 до 300 км

был зарегистрирован 18 и 6 июня 1963 г. манометрами. 18 июня минимум температуры располагался на высотах около 165 и 265 км, максимум около 145 и 215 км. 21 февраля и 27 августа 1958 г. минимум температуры наблюдался на высотах примерно 175 и 185 км соответственно.

В ходе изменения температуры и высоты

Рис. 4. Температура и высота однородной атмосферы. 18 июня 1963 года (манометры)

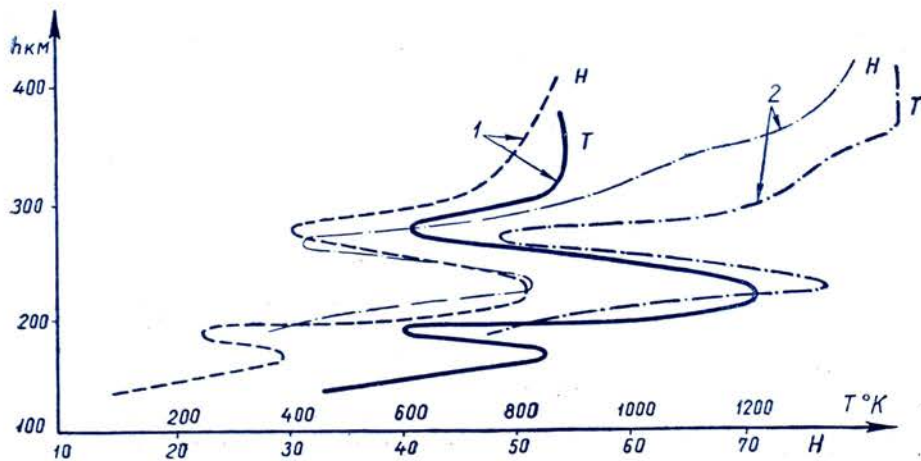
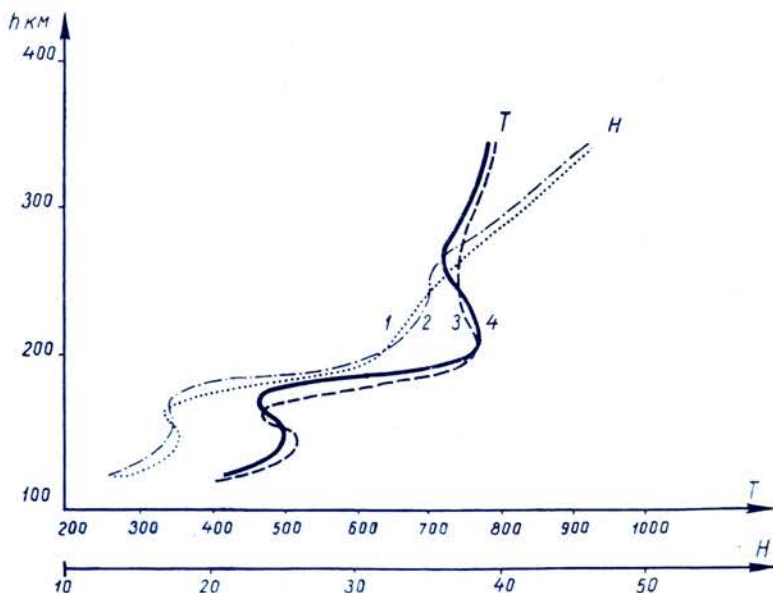


Рис. 5. Температура и высота однородной атмосферы по измерениям с помощью масс-спектрометра (кривые 1) и торможению спутников (кривые 2)

однородной атмосферы, вычисленных по торможению спутников, нередко наблюдаются также максимумы и минимумы.

Так, наблюдая за торможением шести спутников (Эксплорер-4, Дискаверер-2, -5 и -6, первый и третий советские спутники), Кинг-Хилл определил, что в области примерно 220 км имеется максимум высоты однородной атмосферы, а около 260 км — минимум. Поскольку мы предполагаем, что молекулярный вес газа с высотой убывает монотонно, то на этих высотах должны быть максимум и минимум температуры (рис. 5, кривая 2). Петцольд при построении модели атмосферы, основанной на значениях плотности, найденных по торможению спутников, также предполагает существование инверсии температуры. В его модели значение инверсии в годы максимума солнечной активности больше, чем в период минимума.

Анализ результатов определения высоты однородной атмосферы и температуры разными методами (по измерениям с помощью манометров, масс-спектрометров, спутников), по-видимому, дает основание предположить, что выше 100 км при монотонном уменьшении молекулярного веса с высотой температура возрастает не монотонно, имеются инверсии температуры. В области высот 100—300 км, как показывают результаты измерений с манометрами и масс-спектрометрами, наблюдаются два максимума и два минимума. Высота максимумов и минимумов не постоянна. Возможно, что инверсия температуры в этой области существует не всегда.

Но если не учитывать измерения с помощью масс-спектрометра, то результаты измерений плотности манометрами и по торможению спутников могут быть, вообще говоря, объяснены также немонотонным характером изменения молекулярного веса. Следует отметить, что в некоторых работах по определению температуры атмосферы нет указаний на максимумы и минимумы.

Вопрос о вариациях температуры или молекулярного веса атмосферы в области высот 100—300 км требует дополнительного исследования.

Таким образом, по мере изучения свойств атмосферы изменяются наши представления о ее температуре и плотности: от более простых и грубых мы идем ко все более сложным и тонким.

Исследования продолжаются.