

ЛУННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

*К. Я. КОНДРАТЬЕВ,
профессор,*

В. Л. ГАЕВСКИЙ,

кандидат физико-математических наук,

В. Н. КОШАЧЕНКО, А. И. РЕШЕТНИКОВ

ТРУДНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ

Хорошая или плохая погода не только влияет на настроение людей. До сих пор стихийные бедствия уносят множество человеческих жизней, оставляют людей без крова, уничтожают материальные ценности. Сколько бедствий можно было бы предотвратить, если бы мы научились предсказывать эти крайние проявления погоды! Долгосрочное научное прогнозирование может изменить систему сельского хозяйства и принести большой экономический эффект в ряде других отраслей народного хозяйства, помочь людям лучше организовать свой отдых. Прогнозы тесно связаны и с чрезвычайно важными вопросами управления погодой, так как основное условие их разрешения, прежде всего, глубокое понимание погодообразующих процессов.

В основе погодообразующих процессов лежит динамика выравнивания неравномерного распределения энергии, получаемой от Солнца и излучаемой Землей. В этом выравнивании участвует множество взаимосвязанных процессов различного временного и пространственного масштаба. Масштабы времени меняются от суток (суточные колебания погоды) до веков (изменение климата). Пространственные масштабы меняются от размеров, сравнимых с радиусом Земли (общая циркуляция атмосферы), до микrorазмеров (если речь идет о фазовых превращениях и химических реакциях).

Разнообразие и разномасштабность процессов, лежащих в основе погоды, в значительной степени затрудняют установление причинно-следственных связей между интересующими метеоролога величинами. Из-за этого метеорология долгое время оставалась эмпирической наукой и не достигла существенных успехов в прогнозировании.

Для физико-математического описания изменений погоды и климата используются гидродинамика, аэромеханика, термодинамика, теории турбулентности, лучистого переноса, фазовых превращений и т. д. В каждой из них имеются свои нерешенные проблемы. Поэтому легко себе представить трудности метеорологии, которая требует некоего синтеза этих теорий.

Современной наукой достигнуты значительные успехи в разработке математических методов прогноза погоды, однако еще очень многое в них требует завершения. К каким последствиям ведет такая незавершенность, показывают многочисленные непредсказанные стихийные бедствия. Повышению эффективности численных методов прогноза мешает также недостаток синоптических данных о распределении метеорологических элементов в атмосфере и экспериментальных данных о влиянии непрогнозируемых изменений Солнца и Земли на погодообразующие процессы. Это связано с тем, что для получения такого решения уравнений прогноза, которое соответствовало бы действительности, нужна правильная постановка начальных и граничных условий, что, в свою очередь, невозможно без достаточно подробных синоптических карт, охватывающих поверхность всего земного шара.

Какие же метеорологические данные необходимы в первую очередь? Это — распределение атмосферного давления и скорости ветра, затем, температура поверхности и вертикальное распределение температуры над любой точкой земного шара, далее, распределение облачности, распределение водяного пара и, наконец, лучистые притоки тепла.

Все эти данные в той или иной мере уже включаются в математические схемы про-

гноза погоды. Однако существует множество факторов, хотя и не включенных в математическую схему, но определенно оказывающих влияние на погоду. К ним в первую очередь относятся взаимосвязь различных слоев атмосферы и влияние солнечной активности на погоду. Уже накопился довольно большой эмпирический материал, подтверждающий эту связь, но физический механизм ее до сих пор полностью не изучен. Причина в том, что накопленного материала все еще недостаточно.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЛУННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Большая часть метеорологической информации получается с помощью постоянно действующей многочисленной сети наземных метеорологических станций. Однако если учесть, что они расположены только на доступных для человека частях суши (что составляет не более $\frac{1}{5}$ всей земной поверхности), то недостаток экспериментальных данных станет очевидным. Это обстоятельство позволяет в известном смысле надеяться, что если мы будем располагать метеорологической информацией обо всем земном шаре, то уже имеющиеся схемы прогноза будут более эффективны.

Для получения недостающей информации уже используются искусственные спутники Земли, и опыт показал их большие возможности. Получены ценные данные о балансе энергии в атмосфере. С помощью спутников удастся проследить зарождение и продвижение штормов. Спутники дают возможность измерять распределение облачности как днем, применяя фотографические методы, так и ночью по инфракрасному излучению, определять температуру, состав, давление, осадки, грозвые очаги и некоторые другие метеорологические характеристики. Методика этих измерений сложна, еще до конца не разработана и безусловно будет совершенствоваться*. В использовании спутников для получения метеорологической информации имеются и вполне определенные трудности, например сложность создания системы спутников, обеспечивающих непрерывное глобальное наблюдение за процессами в земной атмо-

сфере, а также трудности, связанные с передачей и обработкой громадного количества информации.

Основной недостаток спутников в том, что измерение метеорологических параметров атмосферы и передача данных на Землю осуществляются без метеорологов на борту спутника.

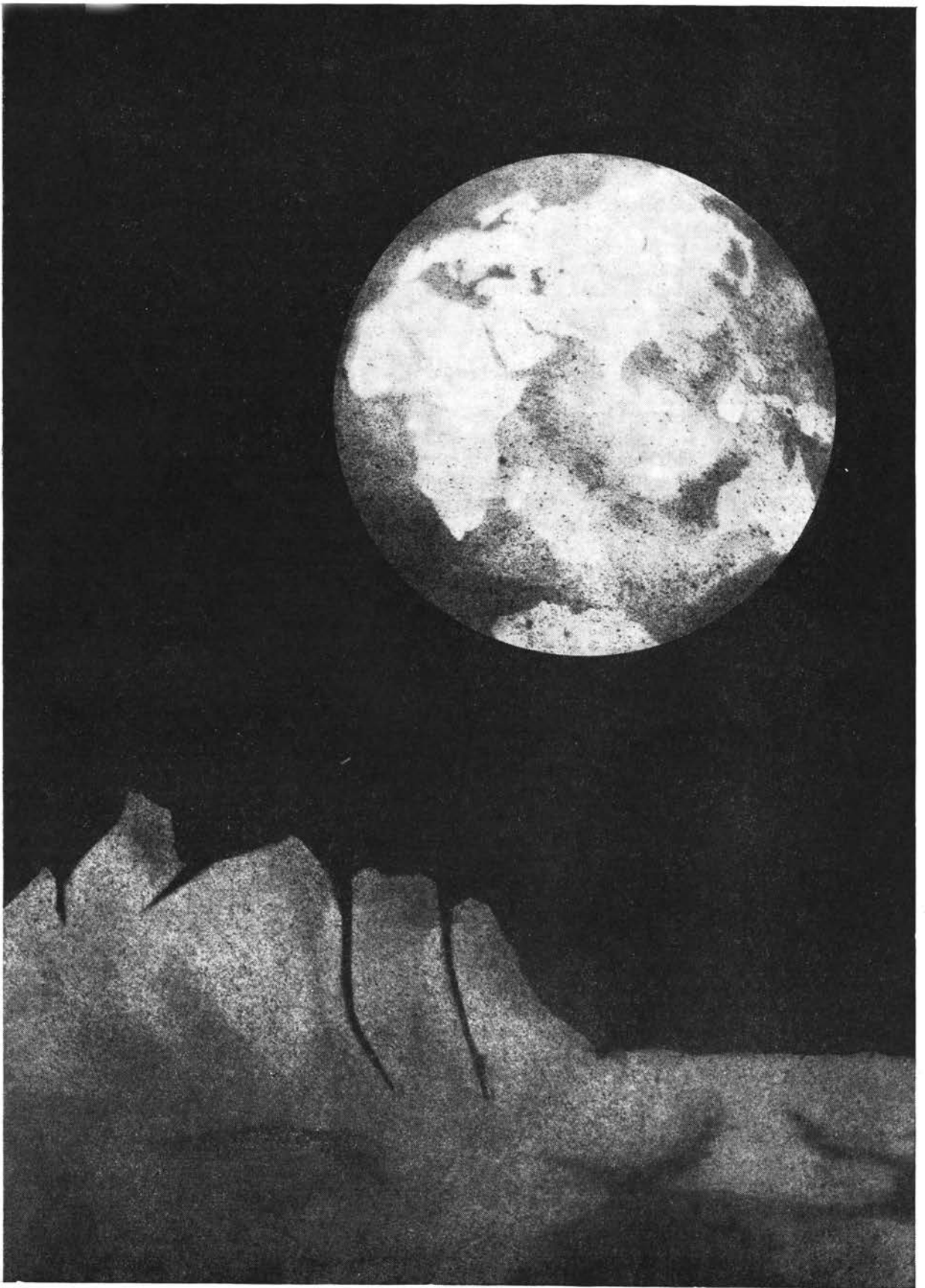
Продвижение человека в космос, очевидно, не окончится полетами на космических кораблях-спутниках. Недалек час, когда человек высадится на единственный естественный спутник Земли. Это важно не только для изучения Луны; наблюдения с нее за Землей дадут новый толчок для исследований в области астрофизики, геофизики и метеорологии.

Основное преимущество астрофизических и метеорологических наблюдений с Луны, по сравнению с аналогичными наблюдениями с Земли и с искусственных спутников,— отсутствие на ней атмосферы. Это позволяет значительно улучшить пространственную разрешающую способность приборов.

Теоретическая (т. е. идеальная) пространственная угловая разрешающая способность, представляющая собою минимально возможные для наблюдения угловые размеры объекта, пропорциональна отношению длины волны света, в котором производится наблюдение, к диаметру объектива прибора. Следовательно, для улучшения разрешающей способности надо увеличивать диаметр объектива. В земных условиях предельное разрешение устанавливает дифракция, а атмосферные возмущения. Это связано с тем, что изображение рассматриваемого в телескоп объекта искажается воздушными волнами. Изображение портится также под влиянием изменений показателя преломления воздушной среды на пути луча; они возникают вследствие турбулентных пульсаций температуры и плотности атмосферы. Поэтому даже наилучшее разрешение, которое при хороших атмосферных условиях может быть получено с поверхности Земли, не превышает $0'',4$. Разрешающая способность лунных инструментов может быть в несколько раз выше.

Это преимущество становится еще более очевидным при исследовании объектов, удаленных на расстояния во много раз большие, чем расстояние между Землей и Луной.

* См. статью М. С. Малкевича «Метеорологические спутники» в журнале «Земля и Вселенная», № 6, 1965 г.



Такой увидит Землю человек с поверхности Луны

Вредное влияние атмосферы сказывается и в том, что она не пропускает значительную часть излучений, приходящих из космоса, и этим существенно обедняет информацию о космических объектах. Так, большие количества водяного пара и углекислого газа в земной атмосфере мешают исследовать содержание этих газов в атмосферах других планет. Атмосферный озон и кислород, столь необходимые для поддержания жизни на Земле, защищающие все живое от губительного действия ультрафиолетовой и рентгеновской радиации Солнца, не пропускают эти излучения. Однако тем самым озон и кислород лишают исследователей возможности измерять коротковолновую часть спектра Солнца, крайне важную для изучения погодообразующих процессов. Получаемые ракетами и спутниками данные о коротковолновом излучении Солнца явно недостаточны, а корпускулярное излучение его изучено еще хуже.

Другое преимущество исследований с Луны — отсутствие на ней ветровых нагрузок и в несколько раз меньшая, чем на Земле, сила тяжести. Это значительно облегчает строительство обсерватории и позволяет упростить приборы. В сравнении с метеорологическими наблюдениями с искусственных спутников, подобные наблюдения с Луны также дают ряд преимуществ.

Во-первых, на Луне проще, чем на ИСЗ, решаются проблемы, связанные с габаритами приборов и источниками питания. Солнечной энергии, которая падает на единицу поверхности Луны, вполне достаточно, чтобы с помощью специальных установок, аккумулирующих солнечную энергию, обеспечить энергопитанием любую мощную обсерваторию.

Во-вторых, упрощаются топографическая привязка и ориентация приборов. Так как одно и то же полушарие Луны все время обращено к Земле, из одной точки лунной поверхности можно все время видеть Землю.

Наконец, в-третьих, и это, видимо, самое главное, лунная обсерватория будет управляться людьми, так как на Луне легче, чем на спутнике, осуществить защиту человека от смертоносной космической радиации и обеспечить его длительное пребывание в космосе.

Основные трудности метеорологиче-

ских исследований с поверхности Луны — относительно большая ее удаленность от Земли. Это ухудшает разрешающую способность.

КАК БУДЕТ ВИДНА ЗЕМЛЯ С ЛУНЫ?

Для наблюдателя, находящегося в некоторой точке видимого лунного диска, Земля будет видна все время в одном и том же участке небесной сферы с приблизительно размерами 20° по азимуту и 20° по высоте. В каждый момент можно видеть половину Земли, а в течение земных суток — осмотреть всю ее поверхность.

Даже наблюдатель, не вооруженный никаким оптическим инструментом, сможет совершенно отчетливо увидеть береговые линии континентов, крупномасштабные облачные образования, связанные с планетарной циркуляцией, области, покрытые снегом. На рисунке (стр. 29) представлена возможная картина Земли, видимая с Луны без оптического инструмента. С телескопом же диаметром 30 см можно различать земные объекты размером 1 км, если, конечно, их яркость больше или меньше яркости окружающего фона. На стр. 31 — фотография облачности, полученная советскими космонавтами с высоты 200 км (площадь 150×150 км, линейное разрешение 1—1,5 км). С Луны можно получить такую же фотографию, если использовать телескоп диаметром 25—30 см с полем зрения $1',5$.

Визуальные наблюдения Земли возможны благодаря контрасту между различными поверхностями, а этот контраст, в свою очередь, зависит в основном от отражательной способности земной поверхности, замутненности атмосферы, а также от высоты Солнца. Поэтому видимая картина Земли может в значительной мере меняться.

Не менее важно, чтобы лунная метеорологическая обсерватория кроме непрерывного наблюдения за Землей постоянно наблюдала и за Солнцем. Но из одной точки лунной поверхности можно видеть наше светило только 13,5 суток. Потому для непрерывного наблюдения за ним необходимы три лунные станции, расположенные под углом 120° .

ЗАДАЧИ ЛУННОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Какие же задачи будет решать лунная метеорологическая обсерватория? Она вовсе не призвана заменить систему метеоро-

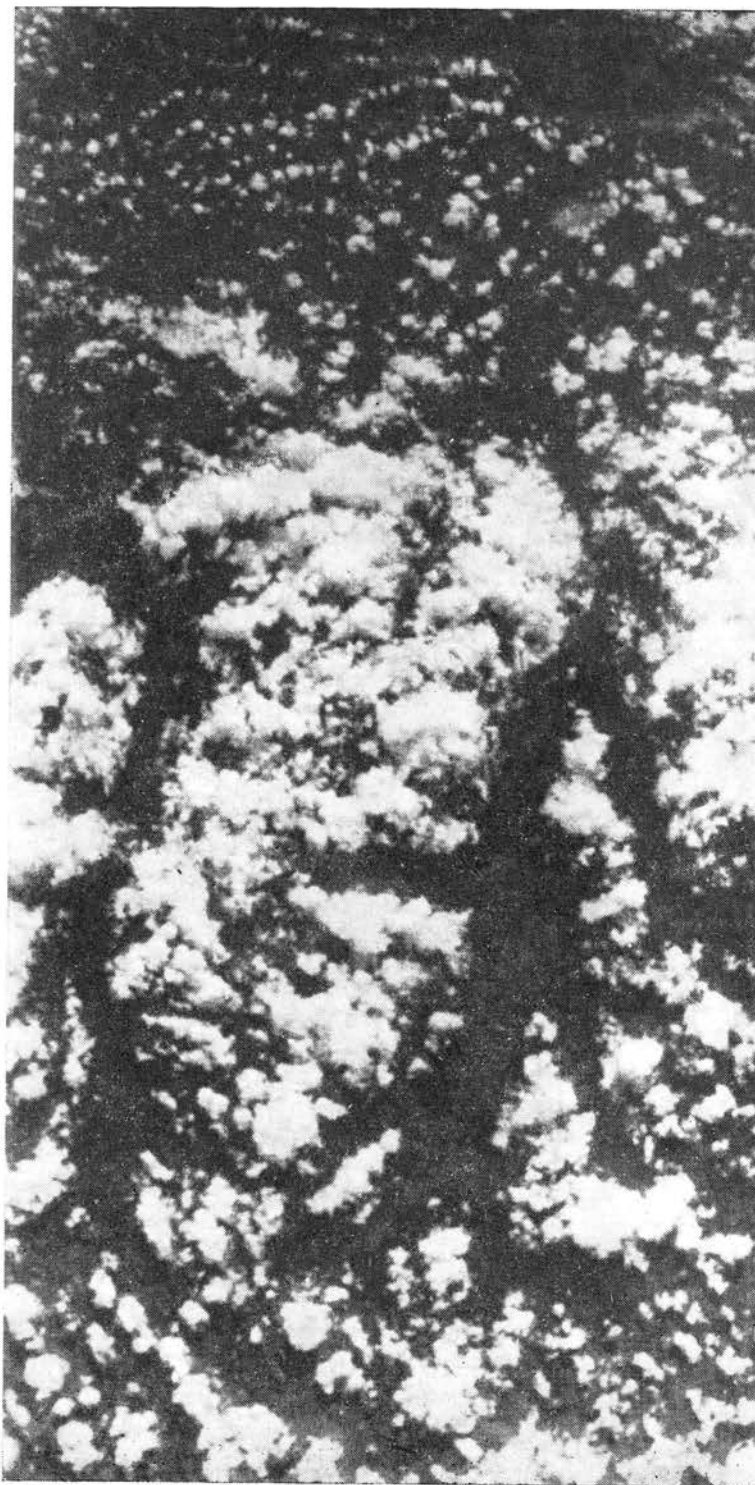
логических спутников. Лунная обсерватория не может обеспечить одновременного наблюдения за всей земной поверхностью и регистрировать процессы малого и среднего масштабов, так как удалена от Земли значительно дальше, чем спутники, а это снижает линейную разрешающую способность. Поэтому метеорологические задачи должны быть разумно поделены между искусственными спутниками и лунной обсерваторией.

Задачи, которые будет решать космическая метеорология, могут быть разделены на два класса. К первому относятся задачи, связанные с получением синоптической информации, которая будет сразу же использоваться в схемах прогноза погоды. Второй класс задач — это физические исследования, предпринимаемые с целью углубления нашего понимания процессов, происходящих в земной атмосфере. Решением задач первого класса, по-видимому, в большей мере, чем лунная обсерватория, будут заниматься метеорологические спутники. С Луны же можно проводить чрезвычайно интересные физические исследования, которые позволят выявить особенности циркуляции в земной атмосфере (по сравнению с циркуляцией в атмосферах других планет), изучить влияние солнечной активности на погоду, провести разнообразные климатологические исследования и т. д. Однако не следует думать, что задачи первого класса будут решаться только со спутников, а второго — только с Луны. Исследования должны быть комплексными.

Методы решения метеорологических задач можно разделить на пассивные и активные.

Пассивные методы основаны на использовании информации, которую исследуемый объект посылает сам. При этом мы сталкиваемся с задачей астрофизики, когда по электромагнитному излучению космического объекта требуется определить его свойства.

Из-за относительно невысокой температуры (300°K) Земля (вместе со своей атмосферой) посылает в космос главным образом инфракрасное излучение. Исследуя спектральный состав уходящего в космос излучения, можно получить данные о температуре поверхности Земли, температуре облаков, вертикальном распределении температуры в атмосфере, распределении



Фотография облачности, полученная с искусственного спутника Земли

важных для теплового режима атмосферы углекислого газа, водяного пара и озона, давления и некоторые другие сведения.

Так как Солнце, благодаря своей более высокой температуре, превосходящей температуру Земли в 20 раз, излучает много больше энергии, в том числе и в инфракрасном спектре, то на первый взгляд может показаться, что в дневное время земное инфракрасное излучение будет забиваться солнечным и измерения окажутся невозможными. Этого не происходит из-за того, что расстояние между Солнцем и Луной значительно больше, чем между Землей и Луной. Вся энергия, излучаемая Солнцем, распределяется по сферической поверхности с радиусом (R), равным расстоянию между Солнцем и Луной; земное же излучение — по поверхности с радиусом (r), равным расстоянию между Землей и Луной. Таким образом, на единицу лунной поверхности приходится $1/4 \pi R^2$ полного потока энергии от Солнца и $1/4 \pi r^2$ полного потока от Земли. Так как $R = 1,5 \cdot 10^8$ км, а $r = 4 \cdot 10^5$ км, то поток энергии от Солнца будет ослаблен на Луне в 10^5 раз сильнее, чем поток от Земли. Вследствие того, что полная энергия, излучаемая Солнцем в инфракрасной области спектра, превосходит энергию излучения Земли не более чем в 1000 раз (в видимой и тем более в ультрафиолетовой области спектра это превышение на много порядков больше), солнечное инфракрасное излучение на Луне не может конкурировать с земным.

Активные методы основаны на изучении изменений, которые претерпевает зондирующий сигнал, проходя через земную атмосферу. Основными активными методами исследования земной атмосферы из космоса могут быть радиолокационный и светолокационный. При этом особенно перспективно использование лазеров, позволяющих получить узкий пучок большой мощности и высокой монохроматичности. Благодаря узости лазерного пучка импульс, излученный с поверхности Луны, может дать на Земле пятно диаметром меньше 1 км; при этом могут быть обнаружены даже мелкие неоднородности в атмосфере. Большая мощность и высокая степень монохроматичности позволяют выделять сигнал лазера на фоне прямого солнечного света. Применение активных методов в исследовании атмосферы требует больших

количеств энергии. Поэтому использование этих методов в условиях лунной обсерватории представляется более перспективным, чем на спутниках.

Некоторое промежуточное положение среди активных и пассивных занимает метод, основанный на измерениях спектрального распределения отраженного от Земли солнечного ультрафиолетового излучения. С помощью этих измерений можно определять вертикальное распределение и общее содержание озона в атмосфере, распределение аэрозолей, верхнюю границу облачности. Недостаток этого метода заключается в том, что он может быть применен только в дневное время.

Использование на лунной обсерватории всех перечисленных методов связано с определенными теоретическими и экспериментальными трудностями. Теория должна дать способы извлечения конкретной метеорологической информации из записей спектров. Эта проблема разрешена далеко не полностью.

Что касается трудностей эксперимента, то они заключаются в необходимости регистрировать малые потоки энергии за короткий промежуток времени. Заметим, что поток энергии от одной и той же площадки Земли на единицу поверхности спутникового приемника в 10^5 — 10^6 раз больше, чем на единицу поверхности лунного приемника. Поэтому лишь относительно малая часть задач первого класса, связанная с изучением крупномасштабных процессов и климатологических характеристик, может успешно решаться с Луны.

Исследовательские возможности лунной обсерватории могут быть значительно расширены при использовании приемных зеркал большого диаметра, позволяющих увеличить поток энергии на приемник.

Таким образом, основные задачи, которые ставит перед лунной обсерваторией космическая метеорология, — это, в первую очередь, контроль солнечной активности, затем климатологические измерения и исследования и, наконец, разнообразные измерения чисто исследовательского характера для более глубокого изучения погоды и климата.

Создание лунной метеорологической обсерватории несомненно поможет человечеству прогнозировать погоду, а потом и управлять ею.