

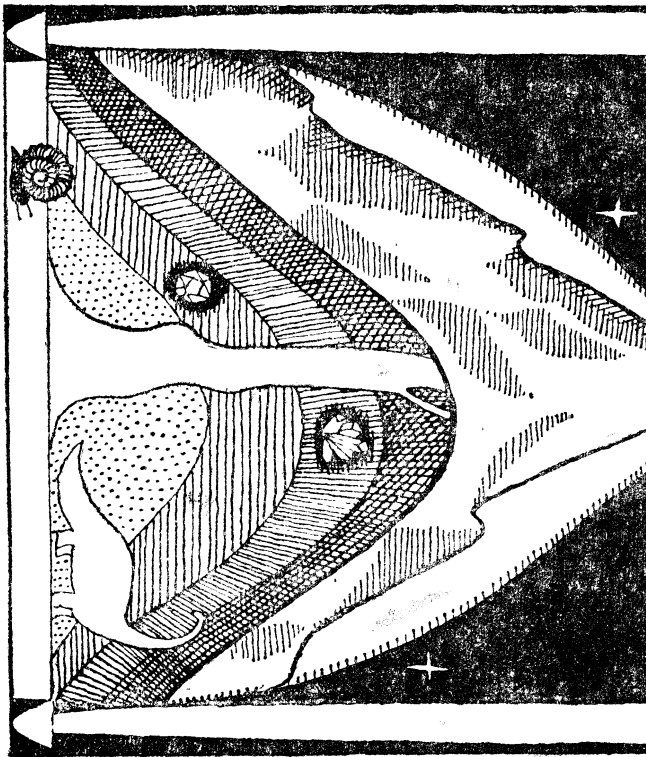
Ф. Ю. СИГЕЛЬ

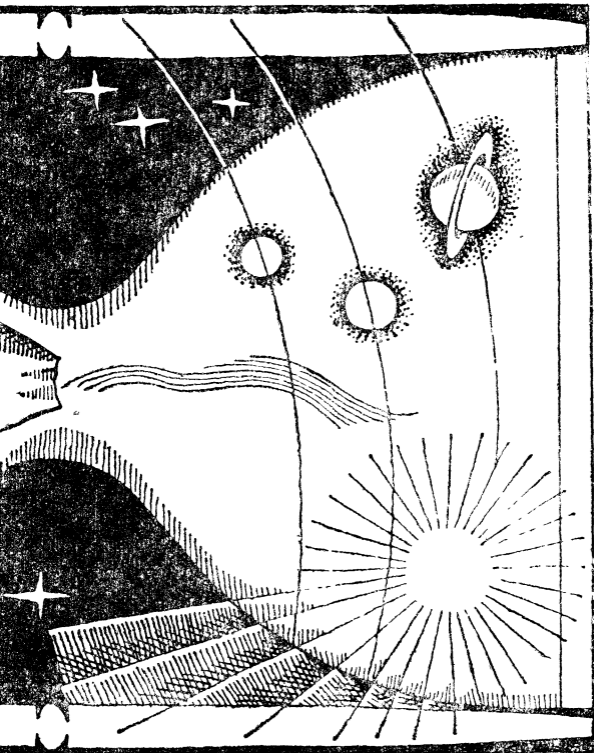
**ВАМ,
ЗЕМЛЯНЕ**



**МОСКВА
«Недра»
1976**

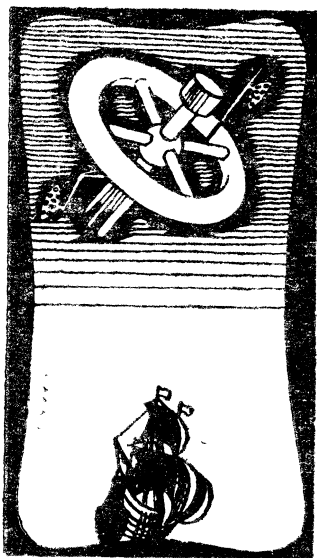






Происхождение Земли и ее эволюция тесно связаны с космическим окружением нашей планеты. В книге рассказано о становлении Земли как космического тела и ее строении, о богатствах земных недр. Читатель узнает о новостях планетологии — науки, изучающей общие проблемы развития планет. Рассмотрены космические связи Земли, определяющие ее развитие как одной из планет Солнечной системы, и такие волнующие проблемы геологии, как «дрейф материков» и расширение Земли.

Написанная просто и увлекательно, книга «Вам, земляне!» доступна самому широкому кругу читателей.



Как важно было бы для людей углубиться во внутренность Земли и воспользоваться находящимися там богатствами!

К. Э. ЦНОЛКОВСКИЙ

ЗЕМЛЯ И КОСМОС

Представления об изолированности Земли от внешнего мира и недоступности космических тел, казавшиеся непреложными истинами на протяжении тысячелетий, на самом деле выражали собой лишь несовершенство знания. Сейчас очевидно, что Земля и физически, и генетически тесно связана с космосом. Нельзя понять земное, не изучив небесное. В то же время в космосе мы встречаем ряд явлений, для понимания которых пужны чисто «земные» науки, например геология. Особенно это ощущается в последние годы.

Уже первые шаги человечества в космос показали, что, по крайней мере, большинство тел Солнечной системы доступно непосредственному исследованию. Сегодня трудно сказать,

как далеко распространится человечество в космосе. Но уже совершенно ясно, что освоение космоса, по крайней мере в обозримом будущем, будет опираться на вещественные и энергетические ресурсы Земли. Пока для полетов в космос и для земной техники используется лишь ничтожная доля сокровищ нашей планеты. Мы живем на исполинской «шкатулке», таящей неисчислимы драгоценности. Добыть и использовать их для научно-технического и социального прогресса — вот задача, решению которой посвящены сегодняшние и ближайшие усилия человечества.

Земля сформировалась в итоге длительной эволюции, одним из результатов которой стало разделение ее на геосферы. Из них практически наиболее важна земная кора, на которой обитает человечество и сокровища которой доступны непосредственному использованию. Но происхождение и распределение этих сокровищ тесно связаны с эволюцией земной коры. Здесь много спорных, нерешенных проблем, и часто вместо окончательного ответа на поставленный вопрос встречаются лишь гипотезы, нередко противоречивые. Но четко сформулированная загадка дает пищу для размышлений, а научная мысль поистине всесильна в решении любых задач — было бы достаточно фактов и времени.

Неясности не должны рождать пессимизм. Наоборот, надо радоваться, что всего за несколько веков человечество узнало так много о своей планете.

После описания Земли как космического тела и характеристики ее внутреннего строения речь пойдет о происхождении Земли как рядовой планеты Солнечной системы. Хотя в последнем вопросе полной ясности еще нет, несомненно, что высшим цветом эволюции Земли стал Разум, зародившийся в биосфере. Еще не так давно роль живого вещества в эволюции Земли, в частности литосферы, считали несущественной. На самом деле биосфера, эта живая оболочка Земли, давно уже стала мощной геологической силой. То же можно сказать и о производственной деятельности человечества, которая на наших глазах приобрела поистине планетарный размах.

Самая острая проблема, которая стоит ныне перед обитателями Земли, — это проблема вещественных и

энергетических ресурсов нашей планеты. Засорение окружающей среды, вред, наносимый человеком биосфере, — лишь негативная сторона этой проблемы. Хотя ресурсы Земли в принципе, безусловно, исчерпаемы, при разумном их использовании человечество сумеет обеспечить себя веществом и энергией еще на много веков. Это относится, в частности, к минеральным богатствам Земли, к сокровищам ее недр.

Не существует какой-то одной науки о Земле. Есть ряд отраслей естествознания, изучающих нашу планету с разных позиций.

Прежде всего назовем главную науку о Земле — геологию, которая исследует состав, строение и эволюцию нашей планеты. В своих выводах она опирается на данные других наук — астрономии и географии, минералогии и петрографии, кристаллографии и палеонтологии.

Геодезия изучает геометрию Земли, ее размеры и форму. В ряде вопросов ей помогает гравиметрия — наука о силе тяжести в разных точках земной поверхности. Исследованием физических свойств Земли в целом занимается геофизика, представляющая собой в сущности комплекс таких наук, как сейсмология, метеорология, гидрология и другие. К геофизике относится также и теория земного магнетизма, объясняющая (или, лучше сказать, пытающаяся объяснить) свойства Земли как магнита в прошлом и настоящем. По существу, и гравиметрия является разделом геофизики.

Химические свойства Земли «подведомственны» геохимии, изучающей не только химический состав, но и миграцию химических элементов нашей планеты на протяжении ее длительной истории. Геохимия неизбежно переплетается с биологией, так как роль живого вещества в миграциях химических элементов огромна. Поскольку производственная деятельность человека стала планетарной геологической силой, создающей искусственные минералы и усиливающей миграцию химических элементов во внешних оболочках Земли, геохимия неизбежно должна соприкасаться с социологией, экономикой и другими науками о человеке.

Читатель, утомленный этим далеко не полным перечнем наук о Земле, вероятно, согласится, что писать книгу о Земле очень трудно¹. Неизбежно приходится

ограничивать себя какой-то одной «земной» наукой или одной темой. Одна из тем книги, лежащей перед вами, — сокровища земных недр и их использование на благо всего человечества. Однако разумному использованию богатств Земли мешает не столько несовершенство науки и техники, сколько постоянная необходимость тратить огромные средства на оборонные цели, тогда как в условиях прочного мира эти средства могли бы быть использованы на благо всех землян. Сегодня познание и разумное использование земных недр не только возможно, но и необходимо.

Большую часть информации о недрах Земли дает геофизика, в частности такой практически очень важный ее раздел, как разведочная геофизика. Как это ни парадоксально, но если бы Земля всегда была окутана облачным покровом, скрывающим звезды, то благодаря геофизическим методам мы знали бы о недрах почти столько же, сколько знаем сейчас. Космос лишь отчасти способствует познанию земных недр. Другое дело — проблемы эволюции Земли. Сравнение Земли с другими небесными телами, особенно с планетами, помогает поиску правильных решений. Тем самым оправдана и главная тема нашей книги — показать тесные связи Земли и космоса, глубоких недр земного шара и далеких звезд.

¹ Автор приносит глубокую благодарность чл.-кор. Академии наук СССР Всеволоду Владимировичу Федынскому, чья помощь в работе над рукописью была очень существенной.



ИЗЯЩНАЯ ФИГУРА ЗЕМЛИ

Геологи, наблюдая реальные очень ограниченные по объему Земли геологические процессы, очень часто забывают, что в этих процессах, в том числе и физико-химических, их основные черты определяются прежде всего формой планеты как небесного тела — эллипсоида о трех осях — геоида, близкого к эллипсоиду вращения, как единого целого, по существу его геометрией.

В. И. ВЕРНАДСКИЙ

Открытие земного шара

Когда земляне догадались, что живут на шаре? Как и во многих других случаях, дату этого величайшего открытия установить невозможно. Да и вряд ли это случилось в какой-то один «прекрасный» день.

Представления о шарообразности Земли складывались постепенно, и потребовались века, чтобы сформулировать следующие пять важнейших доказательств того, что мы живем на шаре.

1. Всюду, где бы ни находился наблюдатель, видимый горизонт (если он не загорожен какими-то предметами) имеет форму круга. Таким представляется горизонт в открытом море, в пустыне или в широкой степи. Это доказательство (как и многие другие) известно нам с детства, но школьные

преподаватели, не желая нас разочаровывать, в ту пору не обращали внимания на слабые стороны приводимых ими аргументов. В частности, рассматриваемое нами первое доказательство было бы достаточным в том случае, если бы круговая форма горизонта наблюдалась действительно во всех точках поверхности. На самом же деле древним была доступна лишь часть поверхности

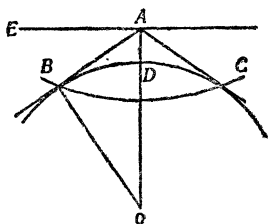


Рис. 1.

Дальность видимого горизонта

Земли, и обобщать свои наблюдения на всю Землю они, строго говоря, не имели оснований.

2. При поднятии наблюдателя над земной поверхностью дальность горизонта увеличивается. Нетрудно сообразить, что высказанное положение является необходимым, но недостаточным условием шарообразности Земли. Иначе говоря, на шарообразной Земле дальность горизонта с поднятием наблюдателя над ее поверхностью действительно увеличивается. Но тот же эффект имел бы место и на дынеобразной Земле и на любой другой целиком выпуклой замкнутой поверхности.

Если планета имеет форму шара с радиусом $OB = R$ (рис. 1), а наблюдатель находится на высоте AD , равной H , то дальность горизонта $AB = d$ определяется из формулы:

$$(R + H)^2 = R^2 + d^2,$$

откуда

$$d^2 = 2RH \left(1 + \frac{H}{2R} \right).$$

Так как величина H обычно весьма мала по сравнению с R , то дробью $H/2R$ можно пренебречь и тогда $d = \sqrt{2RH}$.

Легко подсчитать, что при $H = 2$ метрам дальность горизонта равна 7,6 километра, а при $H = 1$ километру

она увеличивается до 120 километров. При одной и той же высоте дальность горизонта тем меньше, чем меньше радиус планеты. Американским космонавтам на Луне горизонт казался очень близким. И действительно, он отстоял от них всего на 2,5 километра.

3. Постепенное появление из-за видимого горизонта приближающихся предметов. С приближением корабля к берегу сначала из-за горизонта появляются его мачты, а затем корпус. В сущности, и это доказательство недостаточно. Картина постепенного появления предметов из-за горизонта наблюдалась бы и на любой нешарообразной выпуклой поверхности.

4. Возможность кругосветных путешествий. Подвиг Магеллана и его спутников был расценен их современниками, как очень веское доказательство шарообразности Земли. Логическая слабость аргументации не требует длительных пояснений — кругосветные путешествия возможны были бы и в том случае, если бы Земля имела, скажем, форму цилиндра или груши.

5. Круговая форма края земной тени на диске Луны во время лунных затмений. Доказательство любопытно тем, что оно использует космическое явление — прохождение Луны через конус земной тени. Действительно, во время лунных затмений на привычный диск полной Луны надвигается круглая красноватая тень. Она не совсем черная потому, что часть солнечных лучей, преломляясь в земной атмосфере, попадает внутрь земной тени и «просветляет» ее. Кстати сказать, атмосфера Земли отбрасывает на Луну и свою тень — это голубоватая кайма вокруг красноватой тени твердого тела Земли.

Доказательно ли это доказательство? Очевидно, нет. Круглую тень могут давать и некруглые тела, например цилиндр. Значит, и это доказательство является необходимым, но недостаточным.

Доказательства шарообразности Земли — это, в сущности, обобщения исторического опыта человечества, постепенно узнавшего, что оно живет на исполинском шаре. Не все эти доказательства равноценны. Самое убедительное из них то, которое основано на градусных измерениях. Пользуясь ими, можно определить размеры земного шара. Но это уже область особой науки, именуемой геодезией.

Что такое геодезия!

Слово «геодезия» — сочетание двух слов: *gē* — земля и *dasomai* — разделяю. Значит, по смыслу наименования геодезия занимается «разделением» или, лучше сказать, измерением Земли (ведь всякое измерение связано так или иначе с некоторым «разделением»).

Условно геодезию делят на низшую и высшую. Низшую геодезию иначе называют топографией. Ее главная задача — с помощью измерений на местности отобразить земную поверхность и ее детали на планах и картах. Цель высшей геодезии — изучение формы и размеров Земли в целом. Следует снова подчеркнуть, что деление геодезии на две части условно, так как без измерений на местности невозможно выяснить, какую форму имеет наша планета. Поясним это утверждение.

Представим себе, что Земля — идеальный шар с совершенно гладкой поверхностью. В этом случае длина дуги меридиана, соответствующая разности широт в один градус, всюду (для любых меридианов и в любых их частях) будет одинакова. Другое дело, если Земля сплюснута у полюсов, т. е., говоря более строго, представляет собой сфероид — тело, образованное вращением эллипса вокруг малой оси. Тогда кривизна меридианов в разных частях будет разной — наибольшей у экватора и наименьшей у полюса. В этом случае дуги в один градус окажутся самыми длинными в околополярных зонах и наиболее короткими в районе экватора.

Практически градусные измерения проводятся следующим образом. На каком-нибудь меридиане выбирают два пункта — *A* и *B* (рис. 2). На основании астрономических наблюдений измеряют широты этих пунктов, а затем длину дуги *AB* делят на разность широт φ пунктов *A* и *B*. Если эта разность равна одному градусу, сразу узнают длину «градусной» дуги *AB* (в километрах). При большей разности широт находят среднюю длину «градусной» дуги на участке *AB* данного меридиана.

Чем точнее измерения, тем, естественно, точнее результат. Точность астрономических измерений определяется качеством применяемых инструментов. Что касается дуги *AB*, то ее геодезисты измеряют методом триангуляции.

Пункты A и B обычно далеки один от другого. Кроме того, их разделяют естественные препятствия (возвышенности, овраги, реки, леса и т. п.), мешающие непосредственному измерению дуги AB . Длину этой дуги можно определить и косвенным путем. Для этого участок земной поверхности между A и B разбивают на сеть треугольников (триангуляционную сеть) (рис. 3).

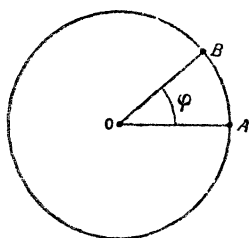


Рис. 2.

Измерение радиуса земного шара

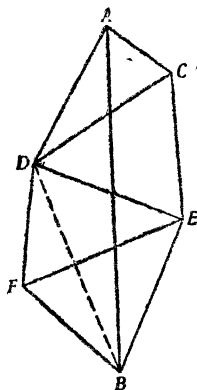


Рис. 3.

Триангуляционная сеть

Размеры треугольников выбирают так, чтобы из каждой вершины каждого треугольника две остальные его вершины были видны отчетливо. Сами вершины отмечают специальными пирамидоподобными сооружениями—геодезическими знаками или сигналами (рис. 4). В полученной таким образом триангуляционной сети измеряют углы треугольника, после чего легко вычисляют длину дуги AB .

Такова нехитрая идея метода триангуляции. На практике все, конечно, сложнее. Приходится учитывать ряд дополнительных факторов, в том числе кривизну земной поверхности. Да и сами градусные измерения—очень кропотливая, сложная работа, иногда требующая долгих лет напряженного труда¹.

Еще в конце XVII века Исаак Ньютон чисто теоретическим путем пришел к выводу, что Земля под действием центробежной силы должна быть сплюснута у полюсов. Французские астрономы (например, Жак Кассини)

¹ Подробнее см. в книге Е. Сапарина «Небесный землемер» (М., «Молодая гвардия», 1959).

решили проверить, прав ли Ньютон. Но по их градусным измерениям (на участке от Барселоны до Дюнкера) получалось, что чем ближе к полюсу, тем дуга в один градус становится короче, т. е. что Земля не сплюснута у полюсов, а, наоборот, вытянута вдоль оси вращения и по форме напоминает яйцо.

Сплюснутый «апельсин» Ньютона или «яйцо» Кассини — что соответствует истине? Сегодня трудно даже представить себе, какие ожесточенные споры породил в первой половине XVIII века этот вопрос. Наконец, в 1735 г. Парижская Академия наук решила отправить для градусных измерений две экспедиции — одну в Лапландию (пограничная зона между Финляндией и Швецией) на северный полярный круг, другую в Перу в район экватора. Лапландскую экспедицию возглавил Мопертюи,

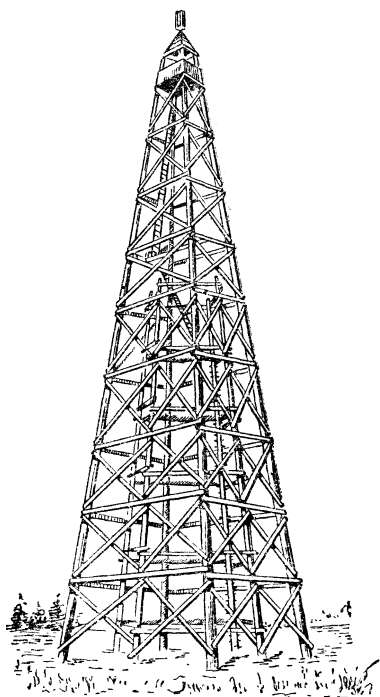


Рис. 4.

Геодезический знак

перуанскую — Кондамин. Участники обеих экспедиций работали в исключительно сложной обстановке, подвергаясь всевозможным опасностям и лишениям. Их героический труд растянулся на десятилетие, но результат оправдал усилия. Прав оказался Ньютон, что подтвердили и все последующие градусные измерения, проводившиеся на протяжении двух веков. Из них эпохальным считается научный подвиг первого директора Пулковской обсерватории В. Я. Струве. На протяжении 40 лет (!) он измерял огромную дугу длиной 2800 км от устья Дуная до берегов Северного Ледовитого океана. Результатами этих грандиозных измерений пользуются до сих пор.

Итак, в самом грубом приближении Землю можно считать шаром с радиусом около 6400 километров, в более точном приближении Земля — сфероид. Большая полуось a земного сфероида (по Ф. Н. Красовскому) равна 6378,245 километра, малая полуось b — 6356,863 километра. Следовательно, полюсы Земли на 21,4 километра ближе к ее центру, чем точки экватора.

Величина $\frac{a-b}{a}$ называется сжатием Земли. По наиболее точным измерениям она равна 1 : 298,3. Сжатие Земли, конечно, невелико. На глобусе с экваториальным диаметром 30 сантиметров полярный диаметр оказался бы короче экваториального всего на 1 миллиметр, что незаметно для глаза. Однако это не означает, что сжатием Земли можно пренебречь. Наоборот, оно представляет собой наибольшее отступление Земли от шарообразной формы, и ни одна современная точная карта не может быть составлена без учета «сплюснутости» Земли.

Открытие этой особенности нашей планеты было первым крупным достижением геодезии. Весь дальнейший прогресс этой науки заключался в постепенном уточнении формы Земли и выяснении ее истинной фигуры.

Земля и маятник

Еще в 1672 г. за пятнадцать лет до того, как Ньютон объявил о сплюснутости Земли, с французским астрономом Ш. Рише произошла странная история. Во время поездки в Южную Америку, в Кайенну, находящуюся в 5° к северу от экватора, Ш. Рише заметил, что маятниковые часы, привезенные им из Парижа, стали отставать на 4 мин в сутки. Известно, что период T колебания маятника определяется формулой:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g},$$

где l — длина маятника, а g — ускорение силы тяжести. Раз часы стали отставать, т. е. период колебания их маятника увеличился, значит, или удлинился маятник, или ускорение силы тяжести вблизи земного экватора меньше, чем в Париже.

Сначала первое предположение казалось правдоподобным. В Кайенне гораздо жарче, чем в Париже, от жары маятник вытянулся, а часы отстали. Но расчеты по-

казали, что для замеченного отставания часов надо, чтобы температура в Кайенне была на 200° выше, чем в Париже. Значит, причина происшествия, поразившего Ш. Рише, заключалась в другом — в ускорении силы тяжести, которое в Кайенне было меньше, чем в Париже.

В 1687 г. в «Математических началах натуральной философии» Исаак Ньютон детально объяснил «парадокс Рише». Он считал, что есть две причины, его вызывающие — сплюснутость Земли у полюсов и вращение ее вокруг собственной оси.

Если бы Земля была идеальным шаром с плотностью, зависящей только от расстояния до его центра, то и тогда тела на экваторе весили бы меньше, чем на полюсе. При вращении Земли ее полюсы остаются неподвижными, а точки экватора движутся с максимальной линейной скоростью, поэтому любой предмет, перенесенный с полюса на экватор, стал бы (из-за воздействия центробежной силы) давить на поверхность Земли с меньшей силой, чем на полюсе. Иначе говоря, уменьшилась бы при этом и сила тяжести и ее ускорение g . Это одна из причин «парадокса Рише».

Вторая причина заключается в сплюснутости Земли, в отклонении ее формы от шарообразной. На экваторе все тела находятся на 21 км дальше от центра Земли, чем на полюсах, а значит, и притягиваются ею слабее.

Точные измерения показали, что ускорение силы тяжести g на северном полюсе равно 983,234 сантиметров на секунду в квадрате, а на экваторе оно примерно на 5,2 единицы меньше. Около $2/3$ этой величины обусловлено вращением Земли, а $1/3$ — ее сплюснутостью.

Маятниковые часы (или, проще говоря, маятник) оказались удивительным прибором, чутко реагирующим на форму Земли и ее вращение. Так практически одновременно с геодезией родилась еще одна отрасль естествознания — гравиметрия — наука о силе тяжести и ее измерении. По гравиметрическим данным, сжатие Земли очень близко к $1 : 298,3$, что отлично сочетается с данными геодезии.

Но у гравиметрии есть и свои собственные, очень важные в практическом отношении задачи. Представим себе два одинаковых маятника — A и B . Первый из них качается над тем участком земной поверхности, под которым расположены породы повышенной плотности (на-

пример, железные руды). Под маятником *B* внутри земной коры обширная пустота (например, пещера). Какой из маятников колеблется быстрее?

Маятник *A* притягивается Землей (за счет руд) сильнее, чем маятник *B*. Значит, и колебаться он будет быстрее. Вывод ясен: маятник способен выступать в роли разведчика земных недр. С его помощью можно узнать, где есть полезные ископаемые, каково строение земной коры. Гравиметрия, конечно, решает и другие, практически важные задачи.

При гравиметрических измерениях важно обеспечить постоянство длины маятников, поэтому маятники изготавливают из почти не расширяющегося сплава (инвара), а в последнее время — даже из кварца. Что касается периодов колебаний маятников, то их измеряют с помощью высокоточных хронометров.

Допустим, что один и тот же маятник неизменной длины в двух разных пунктах имеет периоды колебаний T_1 и T_2 . Тогда соответствующие ускорения силы тяжести g_1 и g_2 связаны формулой

$$g_2 = g_1 \frac{T_1^2}{T_2^2}.$$

Эта формула служит основой для относительных измерений силы тяжести, т. е. для сравнения ее величин, измеренных в разных точках земной поверхности. Для абсолютных измерений g (в см/с²) использовали специальные так называемые оборотные маятники, для которых измерялись и период, и длина.

Ныне маятниковый метод применяется лишь для многих специальных задач, а абсолютные ускорения силы тяжести измеряют методом свободного падения тел в вакууме. При этом ускорение падающего тела измеряют вполне современным способом: расстояния определяют с помощью лазерного интерферометра, а время «запекают» кварцевыми или молекулярными часами.

Точность таких измерений очень высокая — средняя квадратическая ошибка не превышает 0,01 мгал.

Фигуры вращающихся тел

Точно неизвестно, какой была первичная Земля. Однако в любом случае она не была абсолютно твердым телом, а, значит, сохраняла способность к деформациям, изме-

нению формы под воздействием внутренних и внешних сил. Чтобы лучше представить себе, что тогда происходило, вместо реальной, очень сложной Земли, вообразим ее идеализированную модель — исполинскую «каплю» однородной несжимаемой жидкости. Предположим, что внешние силы на эту «каплю» не действуют и ее форма определяется только игрой внутренних сил.

Если бы «капля» не вращалась, ее форма определялась бы только взаимным тяготением составляющих ее частиц, которые стремились бы подойти друг к другу как можно ближе. Осуществить это они могли бы лишь в случае полной симметрии «капли». Иначе говоря, в этом случае идеализированная модель Земли имела бы форму шара.

В действительности первичная Земля вращалась вокруг своей оси, значит, как показал впервые Ньютон, под действием центробежных сил «капля» сплющилась и приняла форму сфероида.

Расчеты Ньютона носили, правда, лишь предварительный, приближенный характер. Гораздо полнее исследования провел его соотечественник Маклорен (XVIII век). Он доказал, что в каждой точке «капли», имеющей форму сфероида, соблюдается равновесие двух противоборствующих сил — взаимного тяготения частиц жидкости и удаляющей их от оси вращения центробежной силы. При этом, чем быстрее вращается «капля», тем более сжат сфероид, образуемый ее поверхностью. И шар, и сфероида Маклорена были названы фигурами равновесия вращающейся однородной несжимаемой жидкости.

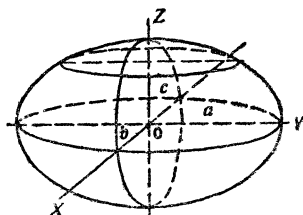
Поверхность фигуры равновесия иногда называют поверхностью уровня; она, разумеется, не совпадает с физической поверхностью тела. Для всех этих фигур выполняется одно важное условие: сила тяжести, т. е. равнодействующая силы притяжения и центростремительной силы (равной центробежной силе, но направленной в противоположную сторону), должна быть во всех точках перпендикулярна к поверхности тела. Только в этом случае любая частица жидкости не будет стремиться двигаться вдоль поверхности тела, а ее давление на лежащие под ней частицы полностью уравновесится силой их противодействия. Именно в этом смыс-

ле и надо понимать равновесие сил, определяющих форму жидкой «капли»¹.

В 1834 г. немецкий математик Якоби доказал, что, кроме сфероидов Маклорена, могут быть другие фигуры равновесия жидкой «капли». Оказывается, при достаточно большой угловой скорости вращения сфероида Маклорена переходят в трехосные эллипсоиды Якоби.

Рис. 5.

Трехосный эллипсоид



Экваториальное сечение эллипсоида (как и его меридиональные сечения) также представляет собою эллипс. Каждый эллипсоид может быть охарактеризован не двумя (как сфероид), а тремя осями — a , b и c (рис. 5). Как это ни удивительно, но такая сложная, дынеобразная поверхность, как эллипсоид, может быть устойчивой фигурой равновесия вращающейся однородной несжимаемой жидкости. Более того, как показали исследования Клеро и Стокса, даже для неоднородной жидкости эллипсоиды остаются фигурами равновесия.

Земля, вероятно, никогда не была целиком жидкой и однородной. Но рассмотренная нами идеализированная схема тем не менее к ней применима, так как наша планета никогда не была и абсолютно твердой. Это доказывают результаты геодезических и гравиметрических измерений.

Разные исследователи оценивали сжатие земного сфероида по-разному. И происходило это не только из-за ошибок измерений, но и по другой причине: реальная Земля отлична от сфероида и в третьем, более точном приближении к истине может быть представлена трехосным эллипсоидом.

Разумеется, «дынеобразность» Земли крайне незначительна и земной экватор мало отличается от окружно-

¹ Подробнее см. работу В. А. Крата «Фигуры равновесия небесных тел» (М., Изд-во АН СССР, 1950).

сти. Но все-таки разница есть: наибольший экваториальный диаметр Земли отличается от наименьшего на 140 метров. Самый длинный диаметр экватора направлен в точки с долготой 20° к западу и 160° к востоку, а самый короткий — в точки с долготой 70° к востоку и 110° к западу от начального Гринвичского меридиана. Иначе говоря, мореплаватель, находящийся в экваториальных водах Индийского океана, может оказаться на десятки метров ближе к центру Земли, чем его коллега, путешествующий в экваториальной зоне Атлантического океана.

В масштабах всей Земли сплюснутость земного экватора может показаться несущественной деталью. Однако далеко не всегда ею можно пренебрегать и при составлении точных карт и в космонавтике.

Итак, Земля — трехосный эллипсоид? Да, но только в третьем, далеко не последнем приближении к истине.

Слово о геоиде

Строго говоря, истинная форма поверхности Земли с ее неровностями и непрерывным изменением во времени бесконечно сложна. Определить ее для каждого момента времени практически невозможно, да и не нужно. Геодезисты ввели понятие «геоид» — некоторая воображаемая поверхность, достаточно точно отображающая реальную поверхность нашей планеты и в то же время доступная для практического изучения.

Понять, что такое геоид (в буквальном переводе — «земноподобный»), несложно. Это поверхность, перпендикулярами к которой в каждой ее точке служат отвесные линии и которая приближенно совпадает со спокойной поверхностью Мирового Океана. Продолжив эту поверхность под материками так, чтобы во всех точках она продолжала оставаться уровенной, т. е. перпендикулярной к отвесной линии, получим полную поверхность геоида.

Для наглядности приведем пример, предложенный еще Ньютоном. Вообразим, что материка пересечены множеством каналов, соединяющихся с морями и океанами. Тогда поверхность воды в этих каналах будет совпадать с воображаемой поверхностью геоида. Можно доказать, что эта поверхность замкнута, всюду выпукла,

не имеет складок или каких-либо резко выделяющихся неровностей. В то же время она (как и отвес) чутко «реагирует» не только на тяготение Земли и центробежную силу, но и на любые аномалии силы тяжести, вызванные, скажем, неоднородностью земной коры (в частности, залежами полезных ископаемых).

Рис. 6.

Поверхности геоида и эллипсоида



Изучение формы геоида составляет главную задачу высшей геодезии. Эта задача состоит из двух частей: определение в целом параметров эллипсоида, наиболее близкого к геоиду (рис. 6), и положения отдельных точек геоида по отношению к эллипсоиду. Естественно, что в решении этих задач принимают участие и гравиметристы. Правда, гравиметрические методы позволяют определять только форму, но не размеры геоида. Вот почему сочетание геодезических и гравиметрических методов при изучении фигуры Земли совершенно необходимо.

Теоретически форму геоида можно представить следующим образом. В каждой точке Земли существует так называемый потенциал силы тяжести — величина, характеризующая интенсивность, «напряженность» этой силы. Потенциал силы тяжести математически можно представить как сумму бесчисленного множества слагаемых, каждое из которых называется гармоникой. Чем больше слагаемых мы возьмем, тем точнее выразим потенциал силы тяжести, который и характеризует форму геоида. Отметим роль лишь самых важных гармоник.

Вторая гармоника¹ отражает сплюснутость Земли, факт, установленный еще Ньютоном. Зато в третьей гармонике есть нечто любопытное — Земля отдаленно напоминает грушу. Соответствует ли этот теоретический вывод действительности?

Как это ни удивительно, наша Земля на самом деле грушевидна, что отражается в движении ее искусственных спутников, вызывая изменение расстояния перигея

¹ Первая гармоника отражает шарообразность Земли.

их орбит от центра Земли. Судя по данным спутников, Северный полюс поднят относительно геоида примерно на 10 метров, а Южный полюс опущен под геоид на 30 метров. В общей сложности грушевидность Земли характеризуется 40 метрами — величиной, конечно, небольшой, но тем не менее вполне ощутимой.

Как уже говорилось, земной экватор представляет собой (во втором приближении) слабосжатый эллипс.

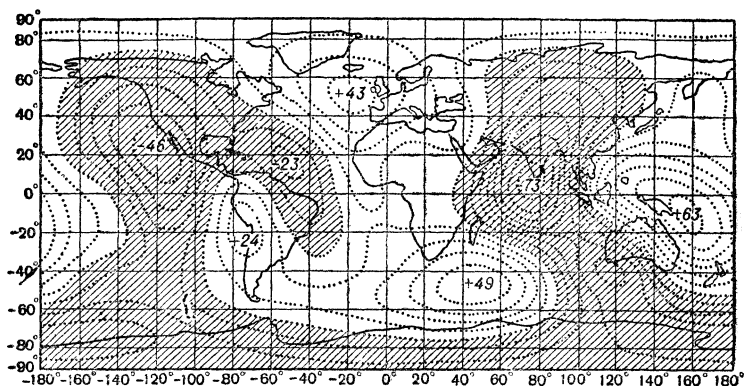


Рис. 7.

Карта превышений геоида (в метрах) над сфероидом.
Заштрихованные участки — области понижений геоида

На самом деле его форму также можно представить как сумму нескольких гармоник. Иначе говоря, если учесть, что гравитационный потенциал зависит не только от широты, но и от долготы точки, в которой он вычисляется, то форма геоида очень сложная, заметно отличающаяся от сфероида.

На приведенной карте (рис. 7) показаны превышения (в метрах) геоида над сфероидом (со сжатием 1 : 298,3 и экваториальным радиусом 6378,165 километра). Волнистость всхолмленного геоида здесь, на этой карте, особенно наглядна. Обращают на себя внимание впадина глубиной 70 метров в Южной Индии и возвышенность высотой 60 метров вблизи Новой Гвинеи. Эта карта получена в 1965 г. по 26 тысячам наблюдений искусственных спутников Земли — ведь именно эти наблюдения

позволяют определять параметры различных гармоник. По другим наблюдениям спутников получены иные карты. Правда, они отличаются от рис. 7 не в целом, а в деталях. Карта геоида, несомненно, отражает неоднородности земных недр.

Спутниковая триангуляция

Мы уже не раз отмечали большую роль искусственных спутников Земли в выяснении формы ее физической поверхности. Уточним теперь, в чем заключается так

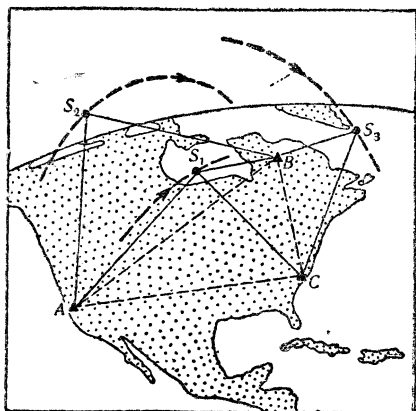


Рис. 8.

Принцип спутниковой триангуляции

называемая спутниковая триангуляция — метод, позволяющий говорить о космической геодезии, как об одной из «космических» дисциплин.

Представим себе три наземные станции — A , B и C (рис. 8). Спутник S_1 наблюдается (визуально или фотографически) со всех трех станций, спутник S_2 — со станций A и B , спутник S_3 — со станций B и C . Кстати, метод годен и тогда, когда S_1 , S_2 и S_3 не три разных спутника, а три положения одного и того же спутника для разных моментов времени.

По наблюдениям спутника S_1 со станций A и B определяют направление прямых AS_1 и BS_1 относительно звезд и тем самым фиксируют положение плоскости ABS_1 . Аналогично по наблюдениям спутника S_2 находят положение в пространстве плоскости ABS_2 . Очевидно,

пересечение этих плоскостей определяет прямую AB . Положение BC определяют из перечисления плоскостей BSC_1 и BSC_3 . Прямые AB и BC фиксируют плоскость треугольника ABC и их пересечение с ACS_1 определяет отрезок AC . Следовательно, из наблюдений спутников можно найти стороны и углы треугольника ABC , т. е. решить первый главный треугольник в триангуляционной сети. Если в этом треугольнике положения A и B (а значит базис AB) известны, то тем самым по спутникам находят положение третьей вершины — C . Примечательно, что при этом не обязательно знать точное положение спутников в пространстве, а лишь направление к ним от наземных станций. Чтобы наблюдения с разных станций были синхронны, на «геодезических» спутниках устанавливают специальные импульсные лампы, дающие очень яркие вспышки. Эти вспышки фиксируют фотокамеры всех станций, занимающихся спутниковой триангуляцией.

При наземной триангуляции стороны треугольников, как правило, равны 20—30 километрам. В «космической» триангуляционной сети треугольники в десятки и сотни раз крупнее, что резко сокращает промежуточные этапы измерений. Прежний метод годился только для суши. Для спутниковой триангуляции даже океаны не являются непреодолимым препятствием — спутник может одновременно наблюдаться с разных континентов, например из Европы и из Америки.

Спутниковая триангуляция возникла совсем недавно — в 1963 г. Но это «дитя» космонавтики подает большие надежды. Дело не только в уточнении формы Земли, в составлении все более и более точных карт, что, конечно, очень важно для практической, производственной деятельности человека. По спутникам можно узнать, как изменяется наша планета во времени, как движутся материки, как медленно меняется распределение масс в твердом теле Земли, словом, как «дышит» и «живет» наша планета. И часть этих задач успешно решается уже сегодня.



НАША ПОДВИЖНАЯ ПЛАНЕТА

Столь же подвижный, как радужный шар, надутый дыханием ребенка из маленькой капли обыкновенной воды и пущенный летать по воздуху в веселых лучах Солнца, земной шар носится в пространстве, являясь настоящей игрушкой космических сил, увлекающих его, подобно вихрю, в необъятные просторы небес.

КАМИЛЛ ФЛАММАРИОН

Тринадцать движений Земли

Прежде чем подробно рассмотреть те движения нашей планеты, которые имеют непосредственное отношение к ее недрам, представим общую картину очень сложно движущейся Земли. Некоторые из этих движений быстры и заметны, другие, наоборот, почти неощутимо медленны. Их совокупность демонстрирует на примере Земли ту вечную изменчивость, которая свойственна всему мирозданию и является общим свойством материи. Главной силой, определяющей все эти движения, служит гравитация — притяжение Земли другими телами космоса.

Трудно поверить, что такое огромное тело, как земной шар, весящий
6 000 000 000 000 000 000 000
тонн, одновременно участвует в самых разнообразных движе-

ниях. Однако существование этих движений твердо установлено современной наукой. Два движения Земли известны с давних времен — это вращение вокруг собственной оси и обращение около Солнца.

Известно немало доказательств вращения Земли. Так, например, если с высокой башни бросить камень, то при падении он отклонится к востоку, т. е. в том же направлении, в котором вращается Земля (с запада на восток). Вызвано это тем, что камень, находясь на вершине башни, дальше отстоит от оси вращения Земли и, следовательно, обладает большей линейной скоростью, чем точки у основания башни. Когда камень брошен, он стремится по инерции сохранить свою прежнюю скорость, поэтому обгоняет движущиеся медленнее точки земной поверхности.

Вращение Земли вызывает также размывание правых берегов рек в северном полушарии Земли и левых — в южном, отклонение ветров при приближении их к экватору, сплюснутость Земли и многие другие явления.

На вращении Земли отражаются перемещение воздушных масс в атмосфере, движение воды в реках, колебания температуры почвы, наконец, сезонные изменения растительного покрова Земли, делая его слегка порывистым, неравномерным.

Все движения в природе в той или иной степени неравномерны. Например, второе движение Земли вокруг Солнца. Оно совершается по эллипсу. Когда Земля проходит через перигелий — ближайшую к Солнцу точку своей орбиты, нас отделяет от Солнца почти 147 млн. километров. Через полгода расстояние от Земли до Солнца становится близким к 152 млн. километров.

Скорость движения Земли все время меняется. Вблизи Солнца она увеличивается, с удалением от него — уменьшается. В среднем же Земля летит по своей орбите в 36 раз быстрее пули — 30 километров в секунду. Но эта скорость кажется огромной лишь по земным мерам расстояний. Если бы мы могли откуда-то извне с большого расстояния следить за орбитальным движением земного шара, он показался бы нам более медлительным, чем черепаха: за один час земной шар проходит путь, в девять раз превышающий его диаметр, между тем как черепаха за 1 час покрывает расстояние, равное нескольким десяткам ее поперечников.

Земной шар часто сравнивают с волчком. Такое сравнение имеет более глубокий смысл, чем иногда кажется. Попробуйте раскрутить волчок, а потом слегка толкнуть его ось — она начнет описывать конус, причем со скоростью, значительно меньшей скорости вращения волчка (рис. 9). Это движение называется прецессией. Оно свойственно и земному шару, являясь его третьим движением.

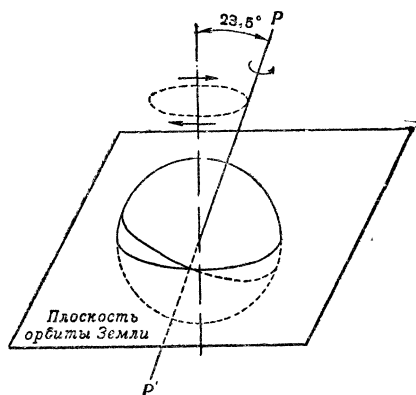


Рис. 9.

Прецессионное движение земной оси PP'

Что же «толкает» земную ось, что порождает прецессию земного шара? Известно, что Земля сплюснута у полюсов, а земная ось наклонена к плоскостям как земной, так и лунной орбиты. Солнце и Луна притягивают экваториальные выпуклости Земли (у полюсов ведь она сплюснута). Они стремятся «выпрямить» Землю, «толкнуть» ее ось так, чтобы она стала перпендикулярной к плоскостям лунной и земной орбит. Но это им не удастся. Земля вращается вокруг своей оси. В результате вращения Земли и «выпрямляющего» действия Луны и Солнца возникает прецессия — медленное, конусообразное движение земной оси.

Период прецессии очень велик. Земная ось снова примет теперешнее свое направление только через 26 тысяч лет. Из-за прецессии меняется положение небесного полюса — той точки, вокруг которой, как нам кажется, происходит суточное вращение звезд. В настоящее время небесный полюс близок к Полярной звезде — в эту область мирового пространства направлена земная

ось (рис. 10). За 2700 лет до н. э. роль Полярной звезды выполняла другая звезда — Альфа Дракона, о чем записано в древних китайских летописях времен императора Гоанг-Ти. В египетских пирамидах той эпохи обнаружены галереи, прорытые под углом 27° к горизонту. Именно на такой высоте тогда и виднелась в Египте Альфа Дракона, лучи которой проникали в эти галереи.

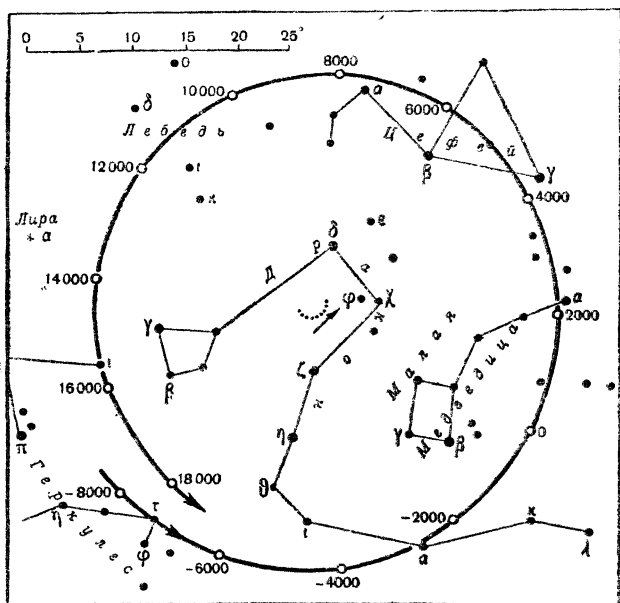


Рис. 10.

Прецессионное движение небесного полюса (Северного полюса мира).

Отрицательные числа относятся к прошлым эпохам, положительные — к будущим

Свою роль указателя севера современная Полярная звезда сохранит примерно до 3500-го года. В 10000-м году полюс мира подойдет к звезде Денеб — главной в созвездии Лебеда, а в 13600-м году полярной станет одна из ярчайших звезд неба — Вега, которая, кстати, уже выполняла эту роль для наших отдаленных предков около 13 000 лет назад. Настанет время, когда вследствие прецессии исчезнет с европейского неба яркий Сириус и, на-

оборот, станет доступным для наблюдения созвездие Южного Креста.

Повторится ли, однако, через 26 000 лет та картина неба, которую мы ныне наблюдаем? На этот вопрос надо дать отрицательный ответ. Как нет в природе идеально равномерного движения, так нет в ней и абсолютно точного повторения. Строго говоря, все в мире неповторимо, и вся природа в своем бесконечном движении проходит только через новые стадии развития.

Через 26 000 лет звезды, непрерывно движущиеся в мировом пространстве, сместятся с теперешних своих мест, и вид созвездий станет немного иным. Спустя несколько десятков оборотов небесный полюс встретит такие звезды, которые сейчас как будто вовсе не претендуют на роль Полярной звезды.

Луна вызывает еще одно, гораздо менее значительное, четвертое движение Земли. Если даже остановить прецессию, земная ось не останется неподвижной. Из-за воздействия Луны на различные точки земного эллипсоида земная ось описывает маленький конус с периодом в 18,6 года. Благодаря этому движению, называемому нутацией, небесный полюс вычерчивает на фоне звездного неба крошечный эллипс, у которого наибольший диаметр близок к 18 секундам дуги, а наименьший — около 14 секунд.

Фактически прецессия и нутация происходят одновременно, поэтому небесный полюс странствует среди звезд по сложной, извилистой кривой.

Во всех учебниках географии подчеркивается, что наклон оси Земли к плоскости ее орбиты всегда остается неизменным. Строго говоря, это не совсем точно. Земля, хотя и крайне медленно, все же «покачивается», и наклон земной оси слегка меняется. Впрочем, это — пятое движение Земли малоощутимо. Размах колебаний земной оси не превышает $1^{\circ}37'$, а за год наклон оси в среднем изменяется не более чем на полсекунды.

Не остается неизменной и форма земной орбиты. Ее эллипс становится то более, то менее вытянутым. В этом заключается шестое движение земного шара.

Прямая, соединяющая ближайшую и наиболее удаленную от Солнца точки орбиты Земли, называется линией апсид. В ее медленном повороте выражается седьмое движение Земли. Из-за этого меняются сро-

ки прохождения Земли через перигелий. В настоящую эпоху максимальное сближение Солнца и Земли приходится на 3 января. За 4000 лет до нашей эры Земля проходила через перигелий 21 сентября. Это снова повторится лишь в 17000 году.

Все изменения земной орбиты, а также положения земной оси вызваны притяжением не только Солнца и Луны, но и планет, главным образом наиболее крупных.

Выражение «Луна обращается вокруг Земли» не совсем точно. Дело в том, что Земля притягивает Луну, а Луна Землю, поэтому оба тела движутся вокруг общего центра тяжести. Если бы массы Луны и Земли были одинаковы, то этот центр находился бы посередине между ними и оба небесных тела обращались бы вокруг него по одной орбите. На самом же деле Луна в 81 раз легче Земли, и центр тяжести системы Земля — Луна в 81 раз ближе к Земле, чем к Луне. Он отстоит на 4664 километра от центра Земли в сторону Луны, т. е. находится внутри Земли почти в 1700 километрах от ее поверхности. Вот вокруг этой точки и происходит восьмое движение Земли. Из-за него мы то приближаемся к Солнцу, то удаляемся от него, что вызывает, правда очень незначительные, изменения видимого поперечника нашего дневного светила.

Если бы вокруг Солнца обращалась только Земля, оба тела описывали бы эллипсы вокруг общего неподвижного центра тяжести. Однако в действительности притяжение Солнца другими планетами заставляет этот центр двигаться по очень сложной кривой. Ясно, что его движение отражается и на Земле, порождая еще одно — девятое ее движение.

Наконец, сама Земля весьма чутко реагирует на притяжение всех других планет Солнечной системы. Их общее воздействие отклоняет Землю с ее простого эллиптического пути вокруг Солнца и вызывает все те неправильности в орбитальном движении Земли, которые астрономы называют возмущениями. Движение Земли под действием притяжения планет является ее десятым движением.

Уже давно установлено, что звезды, когда-то считавшиеся неподвижными, на самом деле несутся в пространстве со скоростью в десятки, а иногда и сотни километров в секунду. Наше Солнце и в этом отношении

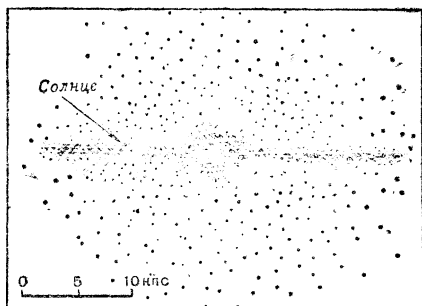
проявляет себя как рядовая звезда. Вместе со всей Солнечной системой, в том числе и Землей, оно летит в направлении созвездия Геркулеса со скоростью около 20 километров в секунду. Перемещение Земли относительно ближайших к Солнцу звезд называется одиннадцатым ее движением.

Если бы мы смогли сразу увидеть весь тот гигантский звездный город Галактику (рис. 11), к которому

Рис. 11.

Схема строения Галактики.

Масштаб указан в килопарсеках (кпс). Один килопарсек равен 3260 световых лет



принадлежит и наше Солнце как одна из 100 млрд. ее звезд, то мы обнаружили бы, что путь Солнечной системы в пространстве совершается вокруг центра Галактики. Мощное скопление звезд, образующее ее ядро, заставляет своим притяжением и наше Солнце и остальные звезды обращаться вокруг себя.

Долог путь Солнца вокруг галактического ядра. Солнечная система завершает его почти за 200 млн. лет — такова продолжительность «галактического года»!

Полет Земли в пространстве вместе с Солнцем вокруг центра Галактики — двенадцатое ее движение — дополняется тринадцатым движением всей нашей звездной системы Галактики относительно совокупности ближайших к ней и известных нам других галактик.

Перечисленные тринадцать движений Земли вовсе не исчерпывают всех ее движений. В бесконечной Вселенной каждое из небесных тел, строго говоря, участвует в бесчисленном множестве различных относительных движений.

Земля пульсирует

Тем, кто живет на побережье морей и океанов, хорошо знакомо явление приливов. Дважды в сутки, движимая какой-то невидимой силой, вода наступает на берег. Она заливает отмели и заставляет отступать сушу. Но успех водной стихии носит временный характер. За каждым приливом неизменно следует отлив, и то, что стало на короткий срок морским дном, снова превращается в сушу.

День за днем, век за веком совершается это периодическое движение воды. Причины его следует искать далеко за пределами нашей планеты. Виновниками приливов являются Луна и Солнце.

Представьте себе, что весь земной шар окутан сплошной водной оболочкой. Если бы не существовало Луны, водная оболочка Земли имела бы строго сферическую форму. Но Луна притягивает к себе и твердое тело Земли, и различные части ее водной оболочки. Притяжение Луны неизбежно вызывает смещения притягиваемых тел, причем ускорения при этих смещениях зависят только от расстояния до Луны и от ее массы.

Больше всего смещается часть водной оболочки *A*, обращенная к Луне. Меньший сдвиг испытывает твердое тело Земли *T*. И еще незначительнее смещение «тыловой» части водной оболочки *B*. В результате водная оболочка теряет первоначальную сферическую форму. Она вытягивается в направлении Луны *L*, причем внутри этой исполинской «водяной капли» и само твердое тело Земли движется навстречу нашему спутнику (рис. 12). Возникло два приливных горба, постоянно направленных к Луне, будто какая-то невидимая сила растянула водную оболочку в обе стороны от Земли. Но Земля вращается внутри «водяной капли». Двигается и Луна. Благодаря этому у обитателей Земли создается впечатление, что приливные волны кажутся по Земле, периодически порождая явления приливов.

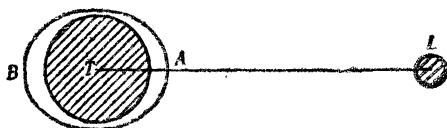
Сказанное о Луне вполне применимо к Солнцу. Притягивая к себе водную оболочку Земли, Солнце вызывает особые приливы. Они почти вдвое слабее лунных, но вполне ощутимы. В периоды новолуний и полнолуний, когда Солнце, Луна и Земля оказываются на одной прямой, приливные силы Луны и Солнца складываются.

В такие дни приливы бывают особенно сильными. В другое время Луна и Солнце действуют «вразнобой», и во время первой или последней четверти Луны их взаимные помехи бывают особенно сильными.

Силы тяготения, как известно, неразборчивы. Они воздействуют на любые тела, как жидкие и газообразные, так и твердые, поэтому Луна и Солнце вызывают приливы и в твердом теле Земли.

Рис. 12.

Схема лунных приливов



Если бы Земля была абсолютно твердым телом, попытки Луны и Солнца изменить ее форму не имели бы успеха. Но земной шар, хотя и может быть назван с известным приближением твердым телом, все же обладает заметной податливостью, способностью к деформациям. Это относится не только к центральным областям Земли, где вещество находится, возможно, в пластическом состоянии, но и к «твердой» земной коре.

Под действием приливных сил Луны и Солнца твердое тело Земли слегка деформируется. Оно несколько вытягивается в направлении того тела, которое вызывает прилив. Лучше было бы сказать, что земной шар растягивается, подобно водной оболочке, вдоль прямой, направленной на возмущающее (как говорят астрономы) тело.

В настоящее время приливные силы с большой точностью измеряются стационарными гравиметрами. По этим данным можно вычислить воздействие приливных сил на твердую оболочку Земли.

Но с изменением формы Земли изменяется (конечно, очень незначительно) и сила притяжения, действующая на тела, расположенные на земной поверхности. Меняется, хотя и еле уловимо, и направление отвеса. Вот по этим ничтожным колебаниям отвесной линии и удается обнаружить «твердые» приливы. Когда «твердая» приливная волна пробегает под отвесом, последний, медленно «покачиваясь», отзывается на ее непрерывное движение.

Отклонения отвеса столь незначительны, что обнаружить их можно только с помощью очень чувствительного прибора, называемого горизонтальным маятником. Этот маятник весьма чувствителен к колебаниям температуры, поэтому его устанавливают в глубоких погребах и шахтах, где температурный режим сравнительно постоянен.

Впервые «твердые» приливы были замечены в начале текущего века. Теперь в их существовании никто не сомневается. Подчиняясь невидимому влиянию Луны и Солнца, Земля «пульсирует». Пожалуй, именно это слово лучше всего подходит для обозначения тех строго периодических изменений формы, которые испытывает Земля.

Не правда ли, любопытно, что, сидя в кресле или отдыхая на диване, вы иногда поднимаетесь на гребень твердой волны, которая неощутимо «прокатывается» под вами два раза в сутки со скоростью всего около 1 миллиметра в минуту?

«Твердые» волны, правда, очень невысоки, к тому же весьма пологи. Если они порождены Луной, то их высота достигает 30 сантиметров, если Солнцем — то 13 сантиметров. Даже объединив свои усилия, Солнце и Луна в периоды новолуний и полнолуний смогут поднять вас самое большее на 43 сантиметра! Неудивительно поэтому, что многие читатели, вероятно, и не подозревали, что они постоянно «покачиваются» на «твердых» волнах Земли.

Но, несмотря на скромные масштабы, приливы в твердом теле Земли вызывают к себе большой интерес. Изучая их, можно сделать важные выводы о строении Земли и состоянии вещества в ее недрах. Кроме того, это любопытное явление еще раз напоминает о сложной изменчивости формы нашей планеты, которую мы по традиции продолжаем называть земным шаром.

Равны ли сутки между собой!

С первого взгляда — все очень просто. Медленно и величественно вращается Земля. Промежуток времени, за который она совершает полный оборот вокруг воображаемой оси, называется сутками, $1/24$ доля суток состав-

ляет 1 час. Следовательно, сутки содержат 24 часа. В чем же тогда заключается проблема? Простота здесь только кажущаяся. Сложность вопроса, поставленного в заголовке, станет сразу очевидной, как только мы попытаемся практически определить продолжительность суток.

На астрономических обсерваториях есть специальный инструмент, предназначенный для измерения времени по звездам. Называется он пассажным инструментом. По устройству пассажный инструмент похож на обычный телескоп-рефрактор, но его оптическая ось всегда расположена в одной и той же плоскости — плоскости небесного меридиана¹. Как известно, проходя через южную часть небесного меридиана (т. е. между северным полюсом мира и точкой юга), звезды занимают наивысшее положение над горизонтом, т. е. кульминируют. Таким образом, пассажный инструмент предназначен для наблюдения кульминаций звезд.

Взглянув в окуляр пассажного инструмента, мы увидим в поле зрения одну горизонтальную и три вертикальные нити. Средняя из вертикальных нитей отмечает на небе линию небесного меридиана.

Вот в поле зрения появилась яркая звездочка. Вращение Земли заставляет ее быстро приближаться к линии небесного меридиана. Наконец, она пересекла центральную вертикальную нить пассажного инструмента. Этот момент ее кульминации астроном должен зафиксировать как можно точнее. Ведь к тому моменту, когда эта звезда вернется на небесный меридиан, протекут ровно одни сутки.

До последнего времени считалось, что Земля вращается идеально равномерно. Показания лучших хронометров проверялись по наблюдениям кульминаций звезд. Если между двумя кульминациями звезды протекало по хронометру не 24 часа, а на 0,1 секунды меньше, то вина за это расхождение всегда приписывалась не Земле, а хронометру. Казалось очевидным, что в таких случаях не Земля стала вращаться быстрее, а хронометр несколько «отстал».

Убеждение в идеальной равномерности вращения Земли основывалось на опытных данных. Оно не проти-

¹ Так астрономы называют плоскость, проходящую через зенит, глаз наблюдателя и точку юга (или севера).

воречило известным фактам и в то же время соответствовало нашим ощущениям: Земля вращается так равномерно, что кажется нам неподвижной.

Но техника развивалась, точность измерительных приборов непрерывно росла, и, наконец, удалось изобрести кварцевые часы, которые по равномерности хода значительно превзошли нашу Землю. Оказалось, что наша планета вращается «рывками», то с замедлением, то с ускорением. Нечто сходное произошло бы, если бы на край листа этой книги мы направили объектив микроскопа. Вместо почти идеально ровной линии мы увидели бы причудливо изрезанную кромку.

Кварцевые часы — это «микроскоп времени». Они развенчивают иллюзии наших органов чувств. При их точности измерения времени от былых представлений о равномерности вращения Земли не остается и следа.

Открытые неравномерности вращения нашей планеты можно разбить на три группы. Прежде всего это систематическое замедление вращения Земли, вызванное действием приливных волн. Когда приливные волны бегут по дну морей и океанов, они «трутся» о земную кору и тем самым, подобно тормозным колодкам, замедляют вращение нашей планеты. Замедление это невелико: за целое столетие сутки увеличиваются на одну тысячную долю секунды. Через 1 млн. лет сутки станут длиннее теперешних за счет этого эффекта всего на 10 секунд!

Вторая группа неравномерностей вращения Земли — это периодические колебания продолжительности суток, вызванные сезонными метеорологическими явлениями. Оказывается, осенью и зимой Земля вращается в среднем медленнее, чем весной и летом¹, причем разница в продолжительности суток достигает 0,03 секунды в ту или другую сторону. В этом случае на вращение Земли влияет атмосфера. Выпадение осадков изменяет сложным образом массу твердого тела Земли, причем неодинаково для разных полушарий. Изменение массы и сказывается на вращении Земли. Следует заметить, что в любом случае земная атмосфера быстро «приноравливается» к новой продолжительности суток и продолжает вращаться вместе с Землей как одно целое.

¹ Времена года указываются для северного полушария Земли.

Причины, вызывающие неравномерности третьей группы, пока неизвестны. Эти неравномерности носят характер неправильных «рывков», т. е. неожиданных ускорений или замедлений вращения Земли. Правда, все они ничтожно малы: из-за них величина суток изменяется ото дня ко дню не более чем на тысячную долю секунды.

Таким образом, главный эталон времени — сутки — весьма изменчив. Сегодняшние сутки, строго говоря, не равны завтрашним. Представьте себе часы, идущие идеально равномерно. Допустим, что их часовая стрелка дважды пробежит циферблат за одни сегодняшние сутки. Продолжительность следующих суток, измеренная этими часами, не будет равна 24 часам.

Путешествия земных полюсов

С детских лет полюсы Земли привлекают к себе наше внимание. Кто не увлекался романтикой полярных путешествий? Кого не манили ледяные просторы Арктики и нераскрытые тайны самого сурового, самого неприступного из материков — Антарктиды?

Ценой невероятных усилий достигали герои полюсов Земли. История их путешествий — это повесть о всепобеждающей силе Человека, который в самом недалеком будущем полностью освоит страны вечных льдов.

Не всем, однако, известно, что полюсы Земли (заветная цель многих путешественников) сами «путешествуют» по земной поверхности. Подозрения на этот счет мучили еще Ньютона, но доказать их основательность удалось лишь в прошлом веке.

С полюсами Земли, как известно, неразрывно связана воображаемая сетка географических координат. От того, где на поверхности Земли находятся ее полюсы, зависит и положение земного экватора, по отношению к которому отсчитывается географическая широта. Иначе говоря, движение полюсов Земли должно неизбежно вызывать изменение широт всех точек земной поверхности.

Первая попытка обнаружить изменяемость широт была предпринята в 1842 г. пулковским астрономом Х. Петерсом. Ему удалось обнаружить очень медленные и незначительные изменения широты Пулковской обсер-

ватории. Однако неправильные методы обработки наблюдений задержали окончательное решение вопроса. Только через 20 лет еле уловимые колебания широт всех пунктов Земли стали наблюдаемым фактом.

Трудно представить себе ничтожную величину тех изменений широты, о которых идет речь. За год широта изменяется в среднем всего на десятые, а иногда и сотые

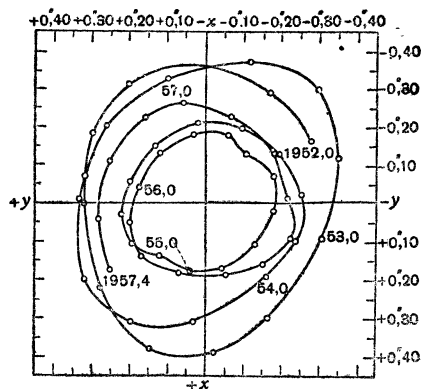


Рис. 13.

Движение северного полюса Земли с начала 1952 г. (1952,0) по апрель 1957 г. (1957,4)

доли секунды дуги. Это означает, что полюсы Земли смещаются относительно своего среднего положения за год не более чем на несколько метров!

На рис. 13 показаны странствования Северного полюса Земли с 1952 по 1957 г. Как видно, его путь весьма замысловат. Словно зверь в клетке, Северный полюс кружится около некоторой средней точки (центр рисунка), удаляясь от нее не более чем на 13 метров. Находясь на другом «конце» воображаемой земной оси, южный полюс Земли повторяет те же движения внутри такого же по размерам квадрата.

Год за годом, век за веком непрерывно путешествуют неугомонные полюсы Земли. Иногда их пути очень сложны, в другие периоды проще, но никогда они полностью не повторяются, хотя непрерывные странствования полюсов происходят на площади всего 676 квадратных метров, что составляет лишь 1/7 часть обычного футбольного поля.

Не следует думать, что движение полюсов Земли вызвано изменениями направления ее оси. Наоборот,

сама Земля смещается по отношению к этой оси. В результате земная ось пересекает поверхность Земли в разное время в различных точках. Чем же вызвано это любопытное явление?

Если бы Земля была однородным твердым шаром, ее полюсы всегда находились бы в одних и тех же точках земной поверхности. Представим себе теперь, что к этой идеализированной однородной Земле «сбоку», где-нибудь между экватором и полюсами, прикрепили огромную массивную гору. Наш воображаемый эксперимент изменит характер вращения Земли. Обладая инерцией, свойственной всем телам, вращающаяся гора будет непрерывно тянуть к себе остальную часть Земли.

Будь земная ось не воображаемой, а реальной, похожей на ось колеса, укрепленную в подшипниках, насаженная гора, оттягивая в свою сторону ось, оказала бы разрушительное давление на подшипники. На самом же деле нет причин, которые мешали бы Земле смещаться в сторону горы, поэтому в нашем воображаемом эксперименте Земля непременно «постарается» расположиться «поудобнее», т. е. таким образом, чтобы при изменившихся обстоятельствах (появлении горы) ее вращение снова стало максимально устойчивым. В результате полюсы Земли займут на ее поверхности новое место.

Таким образом, движение земных полюсов связано с неоднородностью внутреннего строения Земли и ее сложной формой. Если бы Земля была абсолютно твердой и неизменной, то при всей сложности ее формы и строения странствования полюсов были бы сравнительно простыми. Но в действительности внутри Земли и на ее поверхности происходят непрерывные изменения: медленно опускаются одни части суши, как бы выдавливая при этом вверх другие. Резкие перемещения крупных масс внутри Земли вызывают землетрясения.

Зимой области Земли, расположенные за пределами экваториальной зоны, становятся массивнее, тяжелее: на поверхность Земли выпадает снег. Летом они, наоборот, делаются легче, отдавая в атмосферу накопившиеся за зиму осадки. Даже перемещение больших воздушных масс влияет на расположение земных полюсов.

Все эти причины, сочетаясь самым причудливым образом, чрезвычайно осложняют картину движения полюсов. Только исключительная кропотливость астроно-

мов и очень высокая точность измерений позволяют разобратся во всех тонкостях этой проблемы.

Конечно, не праздное любопытство заставляет астрономов следить за странствованием полюсов. Ведь от положения полюсов зависят географические координаты всех точек Земли. Не зная, где находятся в данный момент полюсы Земли, нельзя составить точные карты земной поверхности, невозможно с необходимой точностью измерить время.

Кроме того, некоторые тонкости в движении полюсов Земли помогают «заглянуть» в ее недра, узнать, как перемещаются внутри Земли крупные массы.



ЧТО ТАМ ВНУТРИ

За необходимость почтиаю описать кратко... самый верхний слой, как покрывку всех прочих, то есть самую земную поверхность. Ибо она есть часть нижних и по смежеству много от них заимствует, уделяя им и от себя взаимно...

Рассматривая оную, первое дело должно взять в рассуждение земную фигуру, вгорое — внутренние свойства и качества.

М. В. ЛОМОНОСОВ

Принцип изостазии

Как уже говорилось, обычный маятник и, конечно, более сложные гравиметрические приборы могут успешно выступать в роли разведчиков земных недр. Неоднородности земной коры тотчас же отзываются на измеряемой силе тяжести, и это позволяет вести, в частности, гравиметрическую разведку полезных ископаемых.

В результате гравиметрической разведки получают сведения не только о самых верхних частях земной коры, но подчас о строении Земли на значительных глубинах (до 100 километров) в пределах обширных районов (регионов). Гравиметрическая разведка основана на отклонениях от средней нормы (аномалиях) силы тяжести. Между тем во всеземном, глобальном масш-

табе отклонения силы тяжести от нормы имеют некоторую общую закономерность, связанную, несомненно, со строением глубоких слоев Земли. Аномалия силы тяжести считается положительной, если эта сила (точнее вызываемое ею ускорение) превышает среднюю норму, и отрицательной — в противоположном случае.

Почти во всех точках поверхности Земли измерялось (и, как правило, многократно) ускорение силы тя-

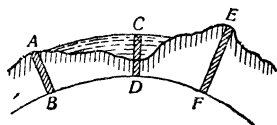


Рис. 14.

Изостатическая поверхность *BDF*

жести. Еще в 1932 г. в Советском Союзе началась общая гравиметрическая съемка, при которой среднее расстояние между гравиметрическими пунктами составляло примерно 30 километров. Ныне сеть гравиметрических пунктов на значительной части территории СССР и других стран давно уже намного гуще, чем один пункт на 1000 квадратных километров.

Ускорение силы тяжести измерено повсюду — и на материках, и на океанах. Получены результаты, которые заранее предугадать было невозможно, так как они противоречили пресловутому здравому смыслу. Оказалось, что на одной и той же широте ускорение силы тяжести в среднем почти одинаково и на океанах, и на материках, хотя, судя по различным данным, толщина континентальной земной коры (в среднем 35—40 километров) значительно больше толщины океанической коры (около 5 километров). Даже такие мощные горные хребты, как Гималаи, вызывали гораздо меньшее притяжение к себе отвеса, чем можно было бы ожидать.

Так как средняя плотность земной коры примерно в 2,5 раза выше плотности воды, то естественно было предположить, что дно океанов состоит из гораздо более плотного вещества, чем материка, и этим самым компенсируется малая плотность океанических вод. Сторонники этой точки зрения, впервые высказанной еще в прошлом веке, считают, что где-то на глубине около 100 километров существует особая уровенная поверхность, давление на которую со стороны вышележащих слоев (и под материками, и под океанами) одинаково. Ее назвали

изостатической поверхностью (рис. 14), что, собственно, и означает «поверхность одинакового давления», а само предположение о ее существовании получило в геодезии наименование гипотезы изостазии.

О том, что ускорение силы тяжести повсюду на Земле примерно одинаково, свидетельствует форма геоида и его почти совершенно гладкая поверхность. Если бы сравнительно высокая плотность материковых масс ничем не компенсировалась в районе океанов, геоид имел бы, во-первых, гораздо более неровную поверхность, чем он имеет на самом деле, и, во-вторых, эти неровности соответствовали бы распределению океанов и материков. Значит, действительно внутри Земли действует какой-то компенсационный механизм, создающий наблюдаемую картину.

Компенсационный механизм ученые прошлого века Пратт (1854 г.) и Эри (1855 г.) представляли себе по-разному. Пратт полагал, что возвышенные части земной коры оказались приподнятыми благодаря своей малой плотности. Иначе говоря, здесь имеет место явление, хорошо нам знакомое из житейской практики: чем больше нагрузить лодку, тем глубже она осядет в воду. Эри представлял себе механизм компенсации несколько иначе. Отдельные части земной коры он уподоблял исполинским чурбакам одинаковой плотности, плавающим в воде. Тогда чурбак, выступающий из воды больше, чем остальные, должен быть погружен на наибольшую глубину. Кто же оказался прав — Эри или Пратт?

Недавно (1958 г.) Хейсканен и другие ученые, подробно изучив этот вопрос, пришли к выводу, что изостатическое равновесие земной коры в среднем на 63% осуществляется «по Эри», и на 37% «по Пратту». И в том, и в другом вариантах предполагается, что на некоторой глубине вещество Земли перестает быть твердым и приобретает свойства очень густой, вязкой жидкости. Примечательно, что этот вывод о природе глубоких слоев Земли сделан без прямого глубинного зондирования, на основании измерений силы тяжести на поверхности. Что касается больших глубин, то сведения о них были получены главным образом при изучении землетрясений.

Об упругости и волнах

Чтобы разобраться в причинах и следствиях землетрясений, надо вспомнить кое-что об упругости и волнах.

Если тело после снятия внешней нагрузки принимает первоначальную форму, его называют упругим. В этом случае говорят об упругой деформации тела. Если же внешние силы необратимо меняют форму тела, то его деформация будет неупругой.

Примером безусловно упругого тела является резина — недаром ее используют в различных амортизаторах. Такими же упругими свойствами обладает струна гитары, стальная пружина и ряд других твердых тел. Наоборот, кусок мягкой глины или замазки может служить типичным примером неупругого тела.

Процесс распространения колебания в упругой среде реализуется в виде волн, т. е. периодических перемещений частиц среды. При этом каждая из частиц колеблется около некоторого среднего положения равновесия. Когда говорят о фронте волны, подразумевают поверхность, которая отделяет колеблющиеся частицы от тех частиц, которые еще не пришли в колебательное движение. Если фронт волны есть плоскость, волна называется плоской, если фронт волны представляет собой сферу, волна называется сферической.

Различают два типа волн — продольные и поперечные. В первом случае колебания отдельных частиц происходят в направлении распространения волны. В поперечных волнах частицы колеблются в плоскостях, перпендикулярных направлению волны. В сущности, продольная волна — это чередование сгущений и разрежений упругой среды. Продольные волны возможны в газах, жидкостях и твердых телах. Что касается поперечных волн, то они наблюдаются или в твердых телах или на границе раздела двух жидкостей либо жидкости и газа (например, на поверхности воды). Если колебания распространяются вдоль прямой, эту прямую называют лучом. Колебания могут распространяться и вдоль кривых.

После этого кратко экскурса в область элементарной физики обратимся к тем так называемым сейсмическим волнам, которые возникают при землетрясениях.

т. е. при сотрясениях земной коры, вызванных разными причинами.

Самые грозные из землетрясений — тектонические, порожденные резким смещением отдельных участков земной коры. При этом происходит разрыв пород, образуются большие и малые трещины, часть которых выходит на поверхность Земли. Разрывы и смещения пород, слагающих земную кору, вызывают подземные толчки, отдающиеся на земной поверхности. Каждый такой толчок рождает сейсмические волны, достигающие наибольшей силы в очаге землетрясения, называемом сейсмическим очагом.

В сейсмическом очаге различают гипоцентр, т. е. глубинную зону, где, собственно, и зарождается землетрясение, и эпицентр — область наибольшей силы сейсмической волны на земной поверхности. Расстояние между эпицентром и гипоцентром, очевидно, характеризует глубину сейсмического очага. Глубина очага тектонических землетрясений чаще всего 50—100 километров, хотя бывали случаи, когда такого рода землетрясения зарождались на огромной глубине (до 800 километров!).

В районе действующих вулканов земная кора также сотрясается, что вызывается прорывами газов и лавы в подводящем канале вулкана. Нередко вулканические землетрясения предшествуют извержению вулкана, однако по мощности они, как правило, уступают тектоническим землетрясениям.

Еще менее грозны обвалы землетрясения, порождаемые обвалом больших масс горных пород. Наконец, при искусственных взрывах под землей, на земной поверхности и невысоко в атмосфере возникают искусственные землетрясения.

Каждый очаг землетрясения — это область внутри Земли, из которой распространяются упругие волны разных типов. Некоторые из этих волн поверхностные, распространяющиеся вблизи земной поверхности, и их свойства, очевидно, тесно связаны со строением земной коры и подстилающих ее сравнительно неглубоких слоев. Гораздо интереснее, пожалуй, объемные волны, пронизывающие почти всю Землю.

Различают два типа объемных волн — продольные, или Р-волны (от латинского «прима», что значит первое), и поперечные, или S-волны (от латинского «се-

кунда» — вторые). Продольные волны распространяются быстрее поперечных, поэтому первыми приходят на сейсмические станции. По существу и те, и другие представляют собой звуковые волны очень низких частот. При очень сильных землетрясениях вся Земля начинает колебаться, и эти собственные колебания огромной планеты можно сравнить со звучанием исполинского колокола.

Беда в том, что ни одно ухо не воспринимает это «звучание» Земли, так как все сейсмические колебания рождают инфразвуки. Тем не менее землетрясения позволяют узнать нечто удивительное — строение земных недр, совершенно недоступных иным средствам исследования.

Тот факт, что внутри Земли на больших глубинах распространяются упругие волны, свидетельствует о том, что большая часть земного шара находится в твердом состоянии.

Когда содрогается Земля

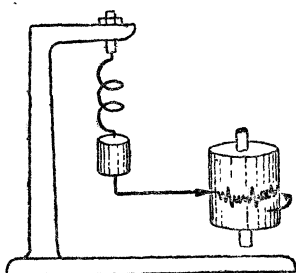
Наши «академические» рассуждения о физическом механизме землетрясений не дали, конечно, читателю возможности составить представление о тех катастрофических последствиях, которые иногда вызывают содрогания Земли. Между тем за последние 100 лет при землетрясениях погибло свыше миллиона человек, причем только при одном токийском землетрясении 1923 г. людские потери составили 140000.

Разумеется, не все землетрясения катастрофичны. Ежегодно на всем земном шаре происходят до 100 000 землетрясений. Однако чаще всего они настолько слабы, что их удается зафиксировать лишь с помощью специальных высокоточных приборов — сейсмографов (рис. 15). Принципиальное устройство сейсмографов схематично показано на рис. 15. Сейсмограф состоит из пружины и подвешенного груза с укрепленным на нем пишущим устройством. Если Земля не сотрясается, на бумаге вращающегося барабана получается ровная линия. Любое, даже слабое землетрясение, приводит груз на пружине в колебательное движение, и сейсмограмма (запись на барабане) становится волнистой, неровной. Чем мощнее землетрясение, тем сильнее раскачивается груз, тем

больше амплитуда сейсмических колебаний на сейсмограмме. Применяются сейсмографы с магнитной записью и цифровой регистрацией колебаний. Сами же сейсмограммы обрабатываются и анализируются с помощью электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Сначала сейсмограф фиксирует продольные волны — Р-волны. Через несколько секунд на сейсмограмме появ-

Рис. 15.
Схема сейсмографа



ляется запись поперечных — S-волн. По амплитуде они больше Р-волн, но так же, как и те, быстро затухают. Наконец, последними приходят L-волны (от латинского «лонга» — длинные), т. е. поверхностные волны, вызывающие большие разрушения. По сейсмограмме специалист может узнать расстояние до эпицентра, мощность и другие параметры землетрясения.

В 1964 г. установлена международная сейсмическая 12-балльная шкала интенсивности землетрясений, включающая все мыслимые сотрясения Земли — от неощутимых, регистрируемых только сейсмографами (1 балл), до катастрофических, 12-балльных, вызывающих радикальные изменения рельефа (горные обвалы, изменения русел рек, образование огромных трещин в почве).

Во время слабых землетрясений из недр Земли высвобождается сравнительно небольшая энергия (10^{10} эрг). Зато энергия, выделяемая при катастрофических сотрясениях Земли (до 10^{26} эрг), равноценна одновременному взрыву сотен водородных мегатонных бомб! Недаром землетрясения считаются самыми грозными из всех природных явлений, с которыми сталкивается человек.

Историки донесли до нас страшные картины древних катастроф. Землетрясение 526 г. на европейском побе-

режье Средиземного моря превратило в груды развалин многие города и уничтожило 200 000 человек. В 1556 г. в китайской провинции Шанси во время мощнейшего землетрясения погибло 830 000 человек. Не исключено, что древние предания о гибели Тира и Сидона, Содома и Гоморры отражают реальные события, связанные с сотрясениями Земли.

Когда землетрясения происходят под толщей моря или океана, его называют моретрясением. Если оно достаточно сильно, на водной поверхности возникают грозные волны, названные японцами цунами. Они являются порождением ударных сейсмических волн, охватывающих всю толщу воды. Обрушиваясь на берега, цунами производят опустошительные разрушения. Обычно высота цунами не превышает 1 метра, но при сильных моретрясениях достигает 30 метров и более! За последние 2500 лет в Тихом океане зарегистрировано 308 цунами.

В воскресный день 1 ноября 1755 г. многие жители Лиссабона отправились на богослужение, другие остались дома, готовясь к праздничной трапезе. Неожиданно заколебалась почва, послышались громовые раскаты, и город на глазах обезумевших от ужаса людей начал разрушаться. Люди гибли под обломками рухнувших зданий, в огне многочисленных пожаров. Некоторые бросились к пристани, чтобы спастись на кораблях, но на глазах у них причал дрогнул и погрузился в морскую бездну. На море возникла цунами высотой 27 метров, которая хлынула на берег, углубилась на 15 километров и в течение нескольких минут стерла Лиссабон с лица Земли.

Не подумайте, что все это «дела давно минувших дней», а теперь ничего подобного не бывает. По данным статистики, ежегодно бывает одно катастрофическое землетрясение (более 8 баллов) и около десяти разрушительных (от 7 до 8 баллов). Приведем несколько примеров.

Ашхабадское 8-балльное землетрясение 1948 г. было связано с движением огромных блоков горных пород в районе Копетдага. При этом были разрушены почти все дома, не имеющие антисейсмических конструкций.

В мае 1960 г. вдоль побережья Чили на протяжении 600 километров были разрушены многие города и дерев-

ни. Участок берега длиной 200 километров опустился на 2 метра, а города Анкуд и Маулин частично погрузились под воду. В горах образовались трещины длиной в сотни метров при ширине около полуметра и тысячи обвалов. Возникшие при моретрясении цунами высотой около 30 метров начисто смыли города Куеле и Корраль, а также вызвали большие разрушения на Гавайских островах и на побережье Японии.

Разрушительным было и Ташкентское 8-балльное землетрясение 1966 г. Наконец, в 1970 г. в предгорной части Главного Кавказского хребта произошло одно из сильнейших за последние годы Махачкалинское землетрясение, при котором образовались трещины шириной в несколько метров.

Земля продолжает содрогаться, иногда грозно вторгаясь в жизнь своих обитателей. Но как это ни парадоксально, от землетрясений есть и польза: без них мы вряд ли узнали бы внутреннее строение Земли.

Сейсмическая модель планеты

Если бы Земля была однородной, сейсмические волны распространялись бы внутри нее по прямой. Иначе говоря, сейсмические лучи были бы прямолинейны, а скорость их — одинаковой. Изменения скорости и направления сейсмических лучей внутри Земли указывают на неоднородность земных недр.

Уже тот факт, что существуют поверхностные поперечные волны, доказывает, что везде в верхней части Земли должен существовать по крайней мере один слой (земная кора), отличающийся по плотности от нижележащих слоев. Детальное исследование поверхностных волн показало, что имеется две разновидности, два типа земной коры. Первый тип — континентальный характерен большой толщиной верхнего слоя и малыми скоростями распространения поверхностных волн. Второй тип — океанический отличается от первого меньшей толщиной и соответственно большей скоростью распространения тех же волн.

В начале текущего века удалось доказать, что, начиная с глубины 3000 километров, поперечные волны распространяться не могут. На этом основании был сделан

вывод, что Земля имеет ядро, находящееся в расплавленном состоянии. Позже многолетние исследования сейсмических волн, в конце концов, позволили представить себе достаточно четко (хотя и не полно) строение недр нашей планеты. Рисунок 16 напоминает своеобразную рентгенограмму Земли, причем роль рентгеновских лучей в данном случае выполнили сейсмические волны.

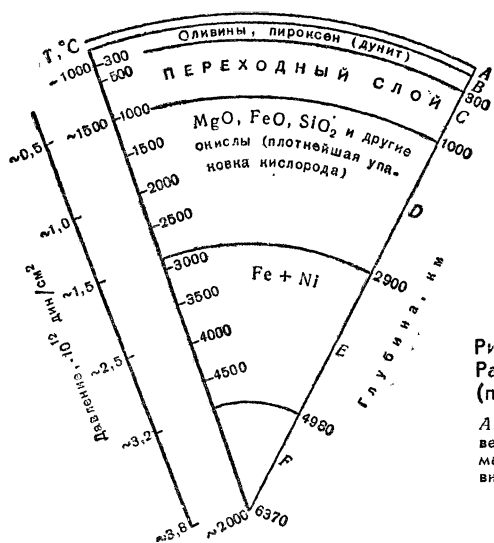


Рис. 16.
Разрез земного шара
(по А. П. Виноградову).

А — земная кора, В, С, D — верхняя, средняя и нижняя мантии, Е, F — внешнее и внутреннее ядра

Прежде всего бросается в глаза слоистость Земли — расслоение ее недр на ряд сферических оболочек, различных и по физическим, и по химическим свойствам.

Самый верхний, поверхностный слой — земная кора состоит из осадочных и кристаллических пород. Из химических элементов здесь преобладают кислород, кремний, алюминий, хотя горные породы включают все элементы таблицы Менделеева. Толщина континентальной земной коры в среднем 37—47 километров, океанической 7—10 километров.

По сейсмическим данным, в континентальной коре можно выделить три слоя — осадочный, гранитный и базальтовый. Названия эти несколько условны, так как состав слоев определен не прямым химическим путем, а

по сейсмическим волнам. Океаническая кора двуслойна и состоит из осадочного и базальтового слоев. И на материках, и на континентах кора разделена глубокими трещинами на исполинские плиты или блоки.

Под земной корой находится мантия — подкорковая оболочка Земли. Она простирается до глубины в 1900 километров и разделяется на верхнюю и нижнюю мантию (последняя начинается с глубины 1000 километров). Поверхность раздела между мантией и земной корой получила наименование поверхности Мохоровичича (по имени исследовавшего ее югославского ученого). Средняя глубина залегания зоны Мохоровичича — около 33 километров.

Как и земная кора, мантия в целом находится в твердом состоянии. Лишь в отдельных лавовых «карманах» вещество мантии расплавлено до состояния магмы. Из этих «карманов» магма через жерла вулканов извергается на поверхность Земли.

Известно, что при спуске в шахты температура на каждый километр повышается примерно на 20°C . Если бы такой прирост температуры продолжался до центра Земли, температура там превысила бы $100\,000^{\circ}\text{C}$. На самом деле она, по-видимому, в десять раз ниже, мантия в целом тверда, значит, источники тепла сосредоточены скорее всего в коре, и этими источниками являются распадающиеся радиоактивные вещества.

Верхняя мантия состоит из перидотита, ультраосновной породы, бедной кремнием, но богатой магнием и железом, а мантия в целом — из окислов магния, железа и кремния. Плотность мантии увеличивается с глубиной от 3,3 до 5,2 граммов на кубический сантиметр (г/см^3). Соответственно повышается и температура мантии — от 500°C на граничном слое Мохоровичича до 3800°C в самых глубоких ее слоях.

По некоторым предположениям, около 20% пород верхней мантии находится в жидком состоянии.

В последнее время область перехода земной коры в мантию стала именоваться тектоносферой. По-видимому, здесь из пород мантии «выплавляются» базальты нижнего слоя земной коры. Одновременно из вещества мантии выделяются газы и пары, пробивающие себе путь в атмосферу.

В верхней мантии на глубине 60—100 километров есть слой пониженной плотности, где скорость распространения сейсмических волн понижается с 8,1 до 7,8 километров в секунду. Этот слой, играющий роль волновода, был назван астеносферой. Под океанами астеносфера простирается до глубины 400 километров, под материками — до 250 километров.

Центральная часть Земли, лежащая под мантией, называется ядром. На границе ядра плотность резко возрастает до $9,4 \text{ г/см}^3$, а давление — до 1,3 млн. атмосфер.

Физическая природа земного ядра не вполне ясна. Старая гипотеза о расплавленном железном ядре с различными современными ее вариантами до сих пор находит себе сторонников. Однако сейчас более популярна гипотеза силикатного ядра, предполагающая, что состав ядра сходен с составом мантии.

В любом случае физическое состояние земного ядра необычно. В его центре давление достигает 3,6 млн. атмосфер и этому давлению соответствует температура 5000°C . В такой физической обстановке вещество переходит в так называемую металлическую фазу — электронные оболочки разрушаются и образуется плотная плазма, насыщенная свободными электронами. Их кольцевые вихри, по-видимому, и порождают магнитное поле Земли.

Различают внешнее и внутреннее ядра. Граница между ними проходит на глубине около 5000 километров. Внешнее ядро жидкое, расплавленное, плотность его около 10 г/см^3 . Плотность внутреннего твердого ядра достигает почти до $14,5 \text{ г/см}^3$.

Вернувшись из мрачных недр земного шара на его поверхность, мы встречаем еще одну его оболочку — гидросферу. Эта жидкая оболочка нашей планеты занимает 17% ее поверхности. Мировой океан делит сушу на шесть крупных массивов — материков или континентов и на множество островов, составляющих в общем 2% земной поверхности. Средняя глубина Мирового Океана — 3790 метров, наибольшая — 11 022 метров. Вдаваясь в сушу, Мировой Океан образует моря и заливы.

Примечательно и не случайно, что все материки (исключая Антарктиду) сужаются к югу. Северное полушарие Земли в основном материковое, Южное — океани-

ческое. Есть и другие закономерности во внешнем облике Земли, объясняющиеся, как будет показано ниже, ее планетарной биографией. В гидросферу Земли входят и ее реки, озера и прочие водоемы.

Испаряясь, вода гидросферы пополняет атмосферу — внешнюю газовую оболочку Земли. Смесь газов оболочки именуется воздухом. Состав воздуха нам хорошо знаком с детских лет (78% общего объема атмосферы приходится на азот, 21% — на кислород, около 1% — на аргон, 0,03% — на углекислый газ, остальное — разные примеси).

Хотя сейсмические волны не затрагивают атмосферу, связь ее с недрами Земли очевидна. Собственно, атмосфера Земли есть порождение ее недр. Она образована газами, выделившимися из твердого в целом тела Земли. Атмосфера частично рассеивается в мировое пространство, но на смену покинувшему Землю газам из земных недр приходят новые, особенно обильные во время вулканических извержений. Все оболочки Земли, и внешние и внутренние, не изолированы друг от друга, а находятся в постоянном, непрерывном взаимодействии.

Можно ли предсказать землетрясение!

На вопрос, где может произойти землетрясение, ответить сравнительно просто. Давно существуют сейсмические карты, на которых отмечены сейсмически активные зоны земного шара (рис. 17). Это те участки земной коры, где тектонические движения возникают особенно часто.

Следует заметить, что эпицентры землетрясений локализованы в очень узких зонах, определяющих, по мнению ряда ученых, взаимодействующие края литосферных плит. Различают три главных сейсмических пояса — Тихоокеанский, Средиземноморский и Атлантический.

В первом из них совершается около 68% всех землетрясений. Он включает в себя Тихоокеанское побережье Америки и Азии и через систему островов доходит до берегов Австралии и Новой Зеландии.

Средиземноморский пояс тянется в широтном направлении от островов Зеленого Мыса через побережье Сре-

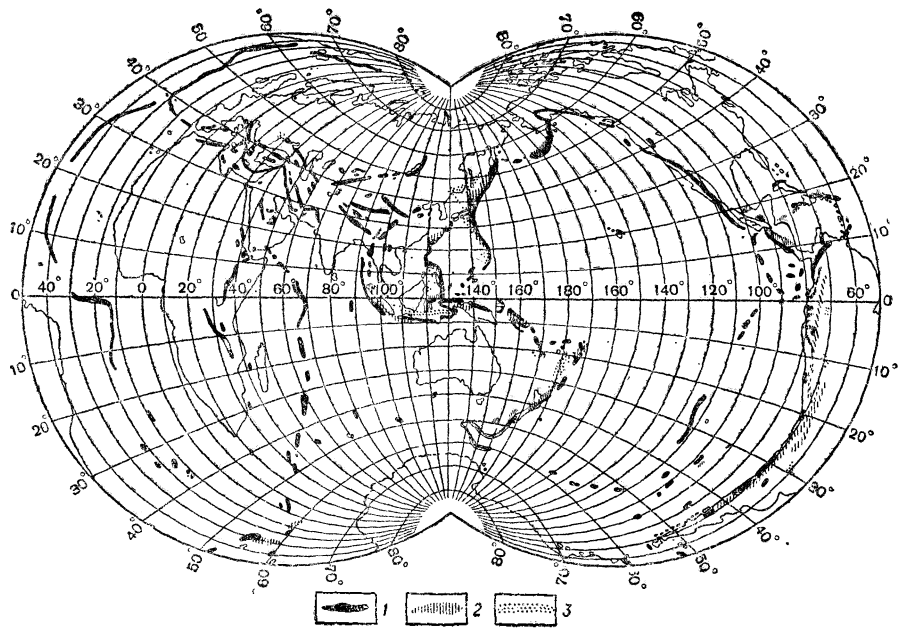


Рис. 17.

Схема размещения сейсмически активных зон земного шара.

1, 2, 3 — неглубокие, промежуточные и глубокие толчки соответственно

диземного моря, юг Советского Союза до Центрального Китая, Гималаев и Индонезии.

Наконец, Атлантический пояс проходит вдоль всего подводного Срединно-Атлантического хребта от острова Шпицберген и Исландии до острова Буве.

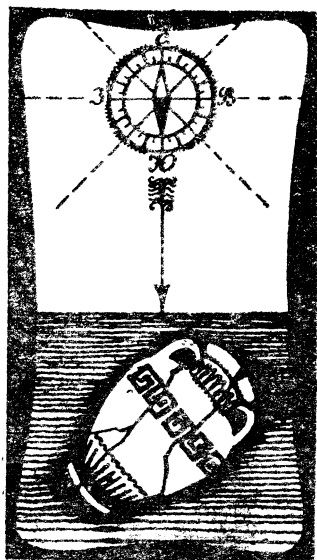
На территории Советского Союза около 3 млн. квадратных километров заняты сейсмически опасными районами, где возможны землетрясения в 7 баллов и более. Это некоторые районы Средней Азии, Прибайкалья, Камчатско-Курильской гряды. Сейсмически активна южная часть Крыма, где еще не забыли 8-балльного Ялтинского землетрясения 1927 г. Не менее активны районы Армении, где в 1968 г. также произошло сильное 8-балльное землетрясение.

Во всех сейсмически активных зонах землетрясения возможны, в других местах они маловероятны, хотя и не исключены: некоторые москвичи, возможно, помнят, как в нашей столице в ноябре 1940 г. произошло 3-балльное землетрясение.

Предвидеть, где произойдет землетрясение сравнительно легко. Гораздо труднее сказать, когда оно произойдет. Замечено, что перед землетрясением наклон земной поверхности, измеряемый специальными приборами (наклономерами), начинает быстро меняться и при этом в разные стороны. Происходит «буря наклонов», которая может служить одним из предвестников землетрясения.

Другой способ прогноза — подслушивание «шепота» пород, тех подземных шумов, которые появляются перед землетрясением и по мере его приближения усиливаются. Высокочувствительные приборы регистрируют усиление местного электрического поля — результат сжатия пород перед землетрясением. Если на побережье после подземных толчков резко меняется уровень воды в океане, значит надо ждать цунами.

И все-таки прогнозирование землетрясений находится в начальной стадии, что, конечно, обусловлено сложностью сейсмических явлений и неполнотой наших сведений о том, что происходит в земных недрах. Над решением проблемы прогноза землетрясений работают большие коллективы ученых. И наступит время, когда человек полностью обуздает внутренние силы своей планеты, заставив их работать на себя.



Мы поставили себе целью .. начать с общеизвестных каменных и железных магнитов, магнитных тел и наиболее близких к нам частей Земли, которые можно ощупывать руками и воспринимать чувствами; затем продолжить это при помощи наглядных опытов с магнитами и, таким образом, впервые проникнуть во внутренние части Земли.

В. ГИЛЬБЕРТ (XVII ВЕК)

Магнитное поле Земли

Трудно сказать, кто первый изобрел компас. Если верить китайским легендам, еще четыре тысячелетия назад император Хуанг-Ти пользовался повозкой, на которой была установлена фигурка китайца с вытянутой вперед рукой. Эта фигурка с запрятым внутри магнитом была одним из древнейших компасов: свободно вращаясь вокруг вертикальной оси, она указывала направление на север.

Само наименование «магнит», по-видимому, произошло от названия местности (холмы магнезии в Малой Азии), где добывали железную руду. Естественный магнит — это черный с коричневатым оттенком минерал магнетит, называемый иначе магнитным железняком. Иногда он встречается в виде

В РОЛИ МАГНИТА

залежей, чаще присутствует в изверженных породах — базальте, диабазе, граните. Знаменитая гора Магнитная на Южном Урале состоит из магнетита.

Магнетит содержит около 70% железа. Если кусок магнетита соприкоснуть с чистым железом, то оно становится намагниченным. Подобным способом можно изготовить стрелки компасов и другие магниты.

На уроках физики в школе употребляют линейные магниты. Это полоска железа, имеющая два магнитных полюса, условно называемых северным и южным. Ту половину магнита, где находится северный полюс, окрашивают в синий цвет, вторую половину — в красный. Если такой магнит покрыть бумагой, а на бумагу посыпать мелкие железные опилки, они, намагнитясь, расположатся вдоль силовых линий магнитного поля. Так выглядит магнитное поле линейного магнита с двумя полюсами, называемого иначе диполем.

Земля — исполинский «шаровой» магнит. В первом приближении магнитное поле Земли равноценно магнитному полю линейного магнита, ось которого наклонена к оси вращения Земли под углом 12° . Любопытно, что ось этого воображаемого линейного магнита (она называется магнитной осью Земли) не проходит через центр Земли, а смещена по отношению к нему на 400 километров (в сторону Тихого океана). Точки, в которых магнитная ось пересекает земную поверхность, называются геомагнитными полюсами.

Не следует путать идеализированные магнитные полюсы Земли с ее реальными магнитными полюсами. Последние определяются как точки, в которых стрелка компаса занимает вертикальное положение. Один из них находится в Канадском архипелаге, противоположный — в Антарктиде.

То, что реальное магнитное поле Земли отличается от ее теоретического магнитного поля, вызвано не только местными магнитными аномалиями, т. е. искажениями геомагнитного поля теми местными магнитными полями, которые создаются залежами магнитных пород. Есть и причины космического характера.

Земной шар постоянно «обдувается» «солнечным ветром», т. е. потоками выброшенных Солнцем корпускул (электронов, протонов и ядер атомов других, более тяжелых, чем водород, элементов).

«Солнечный ветер» — это электропроводящая плазма, или в целом электрически нейтральная смесь положительно и отрицательно заряженных частиц. Она всегда переносит с собой слабое (напряженностью в 10^{-4} эрстед) магнитное поле. Хотя магнитное поле Земли имеет значительно большую напряженность (около 0,5 эрстед), под воздействием солнечного ветра оно заметно

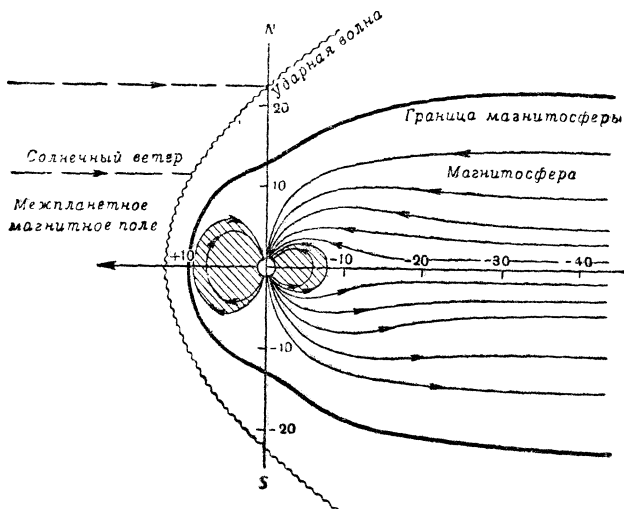


Рис. 18.

Магнитосфера Земли.

Числа указывают расстояния в радиусах Земли. Заштрихованы радиационные пояса

искажается и на больших расстояниях от Земли приобретает вид, изображенный на рис. 18. Уточним некоторые детали этой картины.

Пространство, в котором напряженность магнитного поля Земли не уступает напряженности межпланетного магнитного поля (10^{-6} эрстед), называется магнитосферой. В наиболее удаленных частях граница магнитосферы проходит на расстоянии 10—15 земных радиусов от центра Земли. Со стороны, обращенной к Солнцу, магнитосфера сжата магнитным давлением «солнечного ветра». С противоположной стороны ее силовые линии разомкнуты и образуют так называемый магнитный

хвост Земли. Внутри этого хвоста недавно обнаружен нейтральный слой, где напряженность магнитного поля близка к нулю.

Вся эта картина весьма изменчива во времени. Когда Солнце активно и его поверхность усеяна пятнами, в атмосфере Солнца часто происходят взрывы, именуемые солнечными вспышками. При этом Солнце «выстреливает» в межпланетное пространство облака корпускул — корпускулярные потоки. Они более плотны и более намагничены (до 10^{-4} эрстед), чем «солнечный ветер». Когда облака корпускул долетают до Земли, магнитосфера «будоражится» ими, и происходят заметные возмущения магнитного поля Земли — так называемые магнитные бури. В такие периоды стрелки компасов быстро колеблются, и их показания становятся неточными.

Однако и тогда, когда Солнце спокойно, магнитное поле Земли не остается неизменным. Ультрафиолетовые лучи Солнца ионизируют верхние слои атмосферы (ионосферу), причем днем ионов там гораздо больше, чем ночью. Под действием солнечных и лунных приливов ионосферные слои непрерывно движутся в магнитном поле Земли и в них индуцируются, как в роторе динамомашин, свои ионосферные токи. Эти токи изменяют магнитное поле Земли и заставляют стрелки компасов, хотя и незначительно, но непрерывно колебаться. Наконец, существуют очень медленные, но тем не менее непрерывно продолжающиеся вековые изменения земного магнитного поля.

Согласитесь, что Земля по своим магнитным свойствам мало напоминает школьный постоянный магнит.

Земные недра и магнитные аномалии

Для главной темы этой книги — знакомство с земными недрами — особенно интересны местные земные магнитные аномалии. В зависимости от масштабов их делят на локальные, региональные и мировые. Первые из них имеют в поперечнике всего несколько километров, вторые — десятки и сотни километров, а третьи — тысячи километров. Во всех этих аномалиях

магнитное поле необычно велико и его напряженность (по вертикали) достигает 1—2 эрстед.

Причина локальных аномалий — присутствие в данном районе больших залежей намагниченных пород. Самые заметные магнитные аномалии порождаются железными рудами, менее значительные — изверженными (базальты, диабазы) и метаморфическими (железистые кварциты) породами. Что касается мировых и крупных региональных магнитных аномалий, то их существование связано, по-видимому, с физическими особенностями глубоких слоев земной коры и даже верхней мантии. В последнем случае изучение аномалий особенно перспективно — ведь самая глубокая буровая скважина достигает 8 км, тогда как при детальном изучении земного магнетизма можно узнать о свойствах вещества, находящегося на гораздо больших глубинах. Лишь на глубине 40—100 километров температура становится такой высокой, что о намагничивании земных пород не может быть и речи.

Магнитные карты Земли, на которых изображены кривые равной напряженности, по существу напоминают рентгенограмму нашей планеты. В настоящее время вся территория Советского Союза покрыта аэромагнитной съемкой, причем среднее расстояние между маршрутами полетов не превышает нескольких километров. Все, даже небольшие аномалии на этой карте, должны получить объяснение и помочь разведке полезных ископаемых.

В сущности глубинная «магнитная разведка» преследует три цели: региональное изучение глубинного строения Земли, прослеживание различных структур в кристаллическом фундаменте земной коры и, наконец, поиски железорудных месторождений.

На общей магнитной карте Земли выделяются три мировых аномалии — одна в Канаде, вторая в Антарктиде, третья в нашей стране, между Енисеем и Леной. Происхождение их пока не вполне ясно, но зато в других случаях «холмы» магнитной карты привели к открытию мощных залежей очень полезных для промышленности пород.

Классический пример — Курская магнитная аномалия (КМА), огромная кладовая железа, разработке которой В. И. Ленин уделял исключительное внимание.

Открытие Курской аномалии В. В. Маяковский приветствовал стихами:

Двери в славу — двери узкие,
но как бы ни были они узки,
навсегда войдете

вы,
кто в Курске
добывал железные куски.

Ленинский декрет 1919 г. об изучении Курской магнитной аномалии ознаменовал собой рождение советской разведочной геофизики.

Ныне известно, что КМА представляет собой два подземных почти параллельных железорудных хребта. Один из них имеет ширину около 25 километров и тянется к югу на 400 километров, другой на 5 километров шире и на 200 километров длиннее. Стрелка компаса в этих районах вместо севера иногда показывает на восток, запад и даже на юг!

Однако не все железные руды усиливают магнитное поле Земли, некоторые ослабляют его, что связано с обратным намагничиванием этих пород. Значит, не только «холмы», но и «впадины» на магнитных картах могут указывать на залежи полезных ископаемых. К числу таких необычных магнитных аномалий принадлежит Ангаро-Илимская аномалия, обнаруженная в 1923 г. Есть отрицательные аномалии в Южной Африке и Северной Англии, на территории обеих Америк и в других местах земного шара.

Происхождение отрицательных магнитных аномалий пока неизвестно. Но это, конечно, не мешает разведке полезных ископаемых, вызывающих столь непонятное явление природы.

Существуют различные приборы для измерения напряженности магнитного поля Земли¹ и магнитные обсерватории, где внимательно следят за изменениями земного магнетизма. Магнитные измерения проводят и на суше, и на море, с самолетов и даже с искусственных спутников Земли. Организуются международные исследования, позволяющие в глобальных масштабах выявлять все особенности земного магнетизма и его изменчи-

¹ Подробнее см. в книге В. И. Почтарева «Земной магнит» (М., Гидрометеониздат, 1974).

ности. И вся эта огромная работа очень полезна не только для разведки полезных ископаемых. По характеру магнитных свойств Земли можно судить и о далеком прошлом нашей планеты и о природе ее ядра, недоступного для прямых исследований.

Загадки палеомагнетизма

Если обыкновенный гвоздь поднести к магниту или, тем более, потереть о него, гвоздь сам становится магнитом. Он как бы сохраняет память о пребывании в магнитном поле, поэтому это явление остаточного магнетизма, свойственного очень многим телам, иногда образно называют их «магнитной памятью».

Магнитологи неожиданно обнаружили, что обыкновенные кирпичи и древние керамические изделия также обладают остаточным магнетизмом, следами воздействия земного магнитного поля. Этот факт вначале показался удивительным, так как глина и песок принадлежат к практически немагнитным материалам. Однако выяснилось, что во время обжига в печах высокая температура сообщает им значительную магнитную восприимчивость, благодаря чему древние кирпичи и глиняные изделия хранят в себе следы, указывающие на состояние магнитного поля Земли в далеком прошлом, т.е. на палеомагнетизм.

Подобные сведения можно получить и другим путем. Частицы магнетитовых пород, образовавшиеся в процессе их выветривания (разрушения), переносятся реками в океан. Опускаясь на дно океана, они, как крошечные магнитики, ориентируются вдоль магнитных меридианов. Степень намагниченности осадочных пород указывает на напряженность геомагнитного поля в прошлом. Значит, и в этом случае можно выяснить, каким (по направлению и интенсивности) было магнитное поле Земли в разные эпохи ее эволюции.

Источником данных о палеомагнетизме служат также застывшие лавовые потоки. Лава содержит соединения железа и в раскаленном состоянии сравнительно легко намагничивается. А затем, остывая, она сохраняет на долгое время свою «магнитную память».

Разумеется, при всех исследованиях палеомагнетизма надо точно фиксировать положение изучаемого образ-

ца на современной Земле. Если речь идет о керамическом изделии, то магнитолог должен установить, каким было положение этого изделия в момент обжига. Затем особыми приемами («магнитной чисткой» с помощью переменного магнитного поля) удаляют ту часть остаточного магнетизма, которая, быть может, была приобретена образцом после обжига. И только тогда, когда «магнитная память» выявлена в чистом виде, можно изучать параметры древнего магнитного поля. Таким образом, кропотливая работа магнитолога напоминает труд художника-реставратора, восстанавливающего истинный облик какой-нибудь древней картины.

К каким же выводам пришли магнитологи в итоге проведенных ими исследований? Оказалось, что за последние 8000 лет магнитное поле Земли изменялось периодически, со средним периодом в 1200—1500 лет. Максимальной напряженности оно достигло в начале нашей эры. Трудно сказать, чем вызваны эти вековые колебания геомагнитного поля, так как общепризнанной теории земного магнетизма пока не существует. Возможно, что наряду с процессами, происходящими в земном ядре, вековые колебания магнитного поля Земли вызываются и внешними, космическими причинами, например колебаниями солнечной активности.

Как бы там ни было, точно установлено, что геомагнитное поле подвержено не только вековым, но и гораздо более продолжительным и кардинальным изменениям.

Если верить палеомагнитным измерениям, то магнитные полюсы Земли непрерывно странствуют (рис. 19). Например, судя по данным, полученным в Африке, около 570 млн. лет назад северный геомагнитный полюс находился вблизи экватора, а затем постепенно переместился на север, к своему теперешнему местоположению. Более того, как это ни удивительно, магнитное поле Земли, по видимому, многократно испытывало «переполюсовку» или инверсию. Говоря яснее, магнитные полюсы менялись ролями — северный становился южным и наоборот.

Примечательно, что во время «переполюсовки», судя по ископаемым остаткам животных и растений, происходили резкие скачки в эволюции биосферы. Исчезали одни виды животных, уступая место другим. Возможно, что

эти скачки были вызваны временным ослаблением и даже исчезновением (перед очередной инверсией) того магнитного экрана, роль которого выполняет магнитное поле Земли. Когда оно существует и достигает значительной напряженности, магнитосфера становится ловушкой для солнечных корпускул и частиц, образующих космические лучи. Наоборот, во время инверсии, космическая

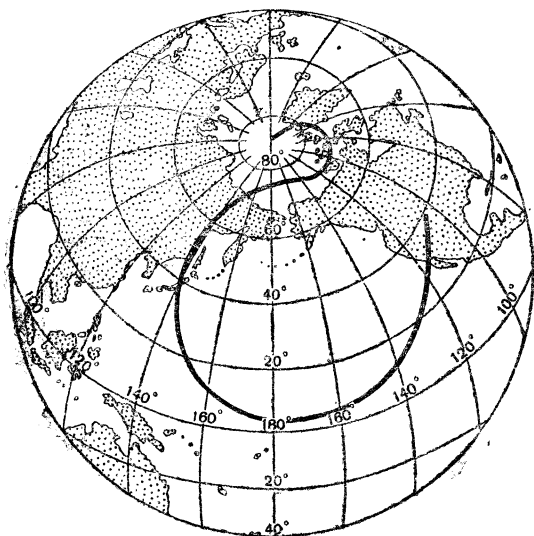


Рис. 19.

Смещение геомагнитного полюса (по палеомагнитным данным)

корпускулярная радиация беспрепятственно достигает Земли и, возможно, губительно действует на генетический аппарат живых организмов, что ведет к их вырождению.

Мы живем, «прикрытые» магнитосферой и радиационными поясами Земли. Но, как показывают измерения, за последние полтора века магнитное поле Земли стало заметно слабее. Если этот процесс будет продолжаться, то примерно через 2000 лет геомагнитное поле и вовсе исчезнет. Может быть, скоро наступит очередная инверсия геомагнитного поля, грозящая земной биосфере какими-то катаклизмами? Поставить такой вопрос, конечно, легче, чем дать на него определенный ответ — наши сведения по палеомагнетизму пока очень скудны.

Динамо-гипотеза и ее конкуренты

Что же все-таки порождает магнитное поле Земли? Почему мы вправе называть нашу планету исполинским магнитом?

Со времен В. Гильберта и до начала XX века господствовало убеждение, что где-то внутри Земли запрятан огромный естественный постоянный магнит, который и создает геомагнитное поле. Однако эта «гипотеза постоянного магнита» не выдерживает критики. Дело в том, что такие легко намагничиваемые материалы, как железо и никель, теряют свои магнитные свойства уже при температуре около 770°C , а такую температуру Земля имеет на глубине 200 километров. Так что ни о каком сильном постоянном магните, скрытом в Земле, говорить не приходится.

Происхождение геомагнитного поля пытались объяснить и по-другому: электрически заряженные частицы, находящиеся на поверхности Земли, при ее вращении, как и всякий электрический ток, порождают магнитное поле. Однако эта гипотеза явно несостоятельна: для создания наблюдаемого геомагнитного поля нужен круговой ток силой в 1 млрд. ампер. При этом на поверхности Земли существовало бы мощное электростатическое поле, чего в действительности не наблюдается.

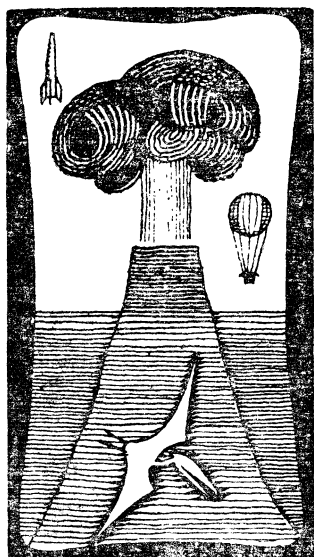
Были предложены и другие гипотезы, также противоречащие твердо установленным фактам. В конце концов утвердилась так называемая динамо-гипотеза, в которой наша планета сравнивается с гигантской динамо-машиной.

Напомним принцип действия обычной динамо-машины. В простейшем случае между полюсами подковообразного постоянного магнита вращается виток проволоки. При пересечении магнитных силовых линий в витке возбуждается электрический ток, который создает собственное магнитное поле.

Допустим, что в раскаленном жидком металлическом ядре Земли создаются условия, благоприятные для конвекции, т. е. перемешивания вещества. При достаточной разности температур между центром ядра и его периферией конвективные движения могут стать весьма интенсивными.

Предположим далее, что Земля первоначально обладала каким-то слабым магнитным полем. Тогда конвекционные перемещения железных масс в жидком земном ядре приведут к тому, что в нем возбуждятся электрические токи. По мнению автора динамо-гипотезы, известного советского физика Я. И. Френкеля, впервые предложившего это объяснение в 1947 г., во вращающемся земном ядре конвекционные токи приобретают характер замкнутых вихрей. Магнитное поле этих вихрей и создает, по мнению Я. И. Френкеля, как общее геомагнитное поле, так и отдельные наиболее крупные его аномалии.

Хотя динамо-гипотеза в настоящее время победила всех своих конкурентов и признается наиболее правдоподобной, она не свободна от недостатков. Неизвестно, например, откуда взялось первоначальное магнитное поле, нужное для возбуждения электротоков в ядре. Далеко не очевидно, что земное ядро обладает высокой электропроводностью и имеет железо-никелиевый состав (некоторые исследователи полагают, что в земном ядре немало силикатов). Непонятно, чем поддерживается на протяжении многих сотен миллионов лет работа земной динамо-машины. Предполагают, что для этого используется энергия радиоактивного распада тяжелых элементов внутри Земли, или энергия, выделяющаяся при гравитационной дифференциации ее вещества, т. е. при перемещении тяжелых масс к центру Земли с «выдавливанием» легких масс наружу. Все это, однако, лишь предположения, пока что мало обоснованные. Таким образом, тайна земного магнетизма остается пока неоткрытой.



Изучая биосферу, геолог в своих вы-
водах выходит за ее пределы в
земную кору, которую он ошибочно
представлял себе столетиями, как
кору застывания некогда расплавлен-
ной нашей планеты Земли, и тщетно
искал в течение нескольких поколе-
ний доказательства этого представ-
ления.

В. И. ВЕРНАДСКИЙ

Геологическая деятельность атмосферы

Земная кора — объект непо-
средственных исследований.
Она состоит из минералов и
горных пород. Минералы — это
природные химические соеди-
нения, обладающие определен-
ными физическими и химичес-
кими свойствами. Что касается
горных пород, то они представ-
ляют собой минеральные агре-
гаты, занимающие значитель-
ные объемы в земной коре.

Под земной корой находит-
ся астеносфера, сверху — воз-
душный океан нашей плане-
ты — атмосфера. Напомним,
что атмосфера — это смесь га-
зов, называемая воздухом, в
котором во взвешенном состо-
янии находятся мелкие жидкие
и твердые частицы (аэрозоли).
Основа воздуха — азот (около
78%) и кислород (около 21%).
Примесь углекислого газа не-

ЗЕМНАЯ КОРА

значительна (0,03%). Более заметная доля (около 1%) принадлежит аргону.

Такой состав имеют, правда, нижние слои атмосферы. Выше 1000 километров земная атмосфера состоит в основном из гелия, а выше 2000 километров — из водорода.

Самый нижний, прилегающий к земной коре слой атмосферы называется тропосферой (рис. 20). Она содержит около 80% всего воздуха, и в ней совершаются все метеорологические процессы — образование облаков и туманов, выпадение дождя и снега, ветры и ураганы.

Толщина тропосферы не всюду одинакова. У полюсов Земли она равна 6—8 километрам, на экваторе 16—17 километрам. В тропосфере температура быстро падает с высотой (в среднем 6 градусов на километр). Так как в различных своих частях и на разных широтах тропосфера нагрета неодинаково, в ней постоянно происходит конвективное перемешивание воздуха — причина всех ветров и бурь.

Выше тропосферы (до высоты примерно 55 километров) простирается стратосфера, включающая и слой озона (на высоте 25—30 километров). Температура нижних слоев стратосферы минус 60—70°. Но с высоты 25 километров она начинает повышаться и у верхнего предела стратосферы достигает плюс 30°.

Еще выше находится мезосфера, где температура снова падает и где преобладает вертикальное движение воздуха. Область атмосферы выше 80 километров называется ионосферой — в ней температура снова повышается до 1000°С. Заметим, что эта температура характеризует среднюю кинетическую энергию молекул воздуха, но не ощущение человека, попавшего в ионосферу. Воздух здесь до высоты 1200 километров так разрежен, что, несмотря на высокие скорости отдельных молекул, не нагреет ни обычный термометр, ни нас.

Наконец, самое внешнее ажурное покрывало Земли состоит из протонов, поэтому называется протоносферой. Оно постепенно сходит на нет, как бы растворяясь в межпланетном пространстве.

Строго говоря, и протоносфера — не граница Земли. В околоземном пространстве к нашей планете непосредственно прилегает радиационный пояс, проходящий по магнитному экватору Земли. Он состоит из протонов и

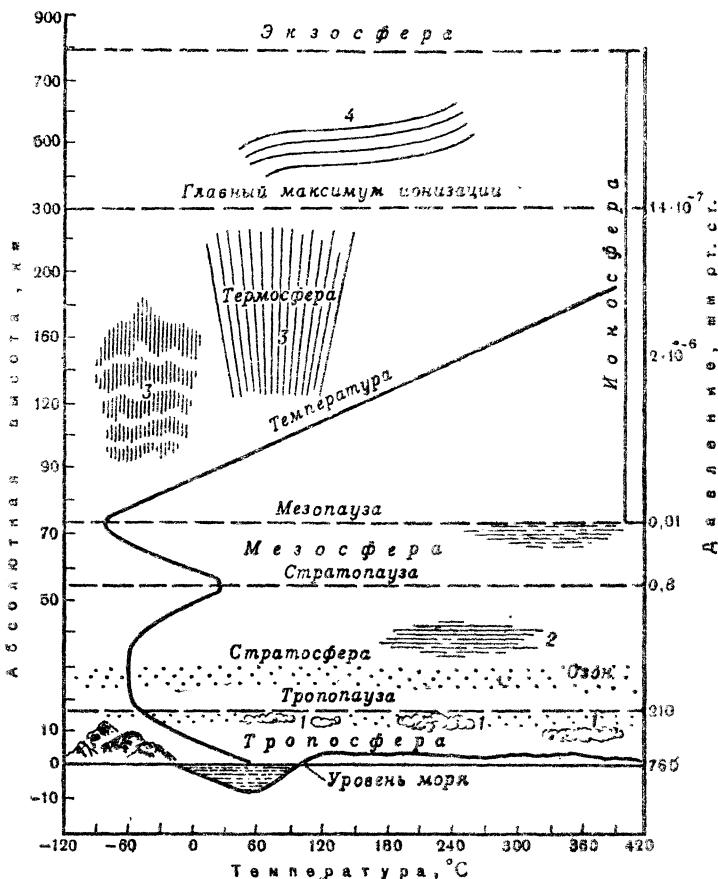


Рис. 20.

Схема строения атмосферы.

- 1, 2 — облака разных типов;
3, 4 — полярные сияния

электронов, выброшенных Солнцем и захваченных магнитным полем нашей планеты. Эти частицы движутся вдоль силовых линий земного магнитного поля, как бы накручиваясь на них по сложным спиралеобразным траекториям.

Радиационный пояс условно делят на три зоны. Внутренняя, отстоящая от поверхности Земли примерно на

4000 километров, состоит из протонов с энергией в 10^8 электрон-вольт, средняя (от 12 000 до 20 000 километров) — из протонов и электронов меньшей энергии. Наконец, на высоте 50—60 тыс. километров находится третья зона пояса радиации, состоящая из электронов малых энергий (до 200 электрон-вольт), которые образуют вокруг Земли кольцевой ток силой до 10 млн. ампер.

Сложность структуры космических окрестностей Земли обусловлена, собственно, единственной причиной — наличием магнитного поля. С помощью современных приборов оно прослеживается на расстоянии до 15 радиусов Земли. Это «офизиченное» геомагнитным полем пространство, как уже говорилось, получило название магнитосферы.

Материальным продолжением Земли может считаться ее гравитационное поле. Формально говоря, оно простирается на всю Вселенную (как, впрочем, и гравитационное поле любого тела). Практически тяготение Земли приходится учитывать по крайней мере в нескольких десятках тысяч километров от Земли, когда космические аппараты отправляются в очередной полет.

Внешние части земной атмосферы не имеют (или почти не имеют) отношения к процессам, происходящим в земной коре. Зато конвективные движения воздуха в тропосфере играют прежде всего роль разрушителя твердой оболочки Земли.

При скорости около 15—20 метров в секунду ветер переносит песок и гравий. Продолжающийся тысячелетия, этот, казалось бы ничтожный по масштабам процесс «полирует» земную поверхность, действуя подобно наждачной бумаге.

Сильные ветры (скорость порядка 30 метров в секунду) переносят мелкие камни, а иногда вырывают из земли с корнями деревья. Что же касается ураганов и смерчей (скорость 60—80 метров в секунду и больше), то они поднимают в воздух огромные массы пыли и способны вызвать катастрофические разрушения. Так, например, в 1969 г. над Доном и Кубанью пронеслась пылевая буря, «содравшая» на огромном пространстве плодородную черноземную почву.

Разрушая поверхностные слои земной коры, ветры и ураганы переносят, иногда на значительные расстояния

(тысячи километров), продукты разрушения и откладывают их в новых районах Земли. Это — созидательная работа ветра, в результате которой образуются так называемые эоловые отложения (Эол — древнегреческий бог ветра). Они состоят в основном из обломков кварца, полевого шпата, кальцита и других частиц, среди которых встречаются и представители биосферы (споры, пыльца растений и т. д.).

Планетарный размах деятельности ветра особенно ощутим в пустынях, на огромных пространствах покрытых эоловыми отложениями. В некоторых районах Земли пустыни интенсивно расширяются, угрожая засыпать песком плодородные земли. Борьба с пустынями, увеличение участков обрабатываемой, культивируемой Земли — одна из сложных задач, стоящих перед современным человечеством.

Разрушительная деятельность ветра — один из видов процесса выветривания. Так геологи именуют физическое разрушение и химическое разложение поверхностных слоев земной коры под действием солнечного тепла, воды, воздуха и живых организмов.

Днем и ночью, летом и зимой Солнце нагревает горные породы в разной степени. Это приводит в конце концов к растрескиванию пород. В трещины попадает вода, замерзающая при морозе. Лед с огромной силой давит на стенки трещин, расширяя их. Аналогичную роль иногда выполняют и живые организмы, например корни растений, проникшие в расщелины.

Даже тогда, когда вода не замерзает, она способна постепенно, исподволь разрушать горные породы. Многократное намокание и высыхание породы ослабляет силы сцепления между ее частицами, и она растрескивается, разламывается на части. Ветер довершает разрушительную работу своих союзников по «сглаживанию» земной коры.

Некоторые из минералов (например, сульфиды, пироксены) настолько неустойчивы, что под действием кислорода воздуха, углекислого газа, воды и органических кислот испытывают химическое преобразование, называемое химическим выветриванием. Немалая роль в этом принадлежит живым организмам, выделяющим органические кислоты и способствующим накоплению в продуктах разрушения органического вещества.

В целом атмосфера стремится сгладить лик планеты, упростить ее рельеф. Если бы это было в ее силах, она сделала бы нашу Землю такой же гладкой, как бильярдный шар. И в этом ей помогла бы гидросфера.

Гидросфера и полезные ископаемые

Гидросферой называется водная оболочка нашей планеты. В некоторых частях она образует обособленные бассейны (океаны и моря, реки и озера), в других — пропитывает земную кору в форме подземных вод. Общий объем воды на Земле оценивается в 1,8 млрд. кубических километров, причем на моря и океаны приходится около 73%, примерно 25% воды находится в земной коре и около 2% — в озерах, реках, болотах и ледниках.

Вода — единственный минерал, который в земных условиях встречается во всех трех фазовых состояниях — твердом, жидком и газообразном. Как писал В. И. Вернадский¹ «...вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных процессов». Есть серьезные основания полагать, что вода присутствует не только в атмосфере, гидросфере и земной коре. По оценке акад. А. П. Виноградова, мантия содержит около $2 \cdot 10^{26}$ грамм воды, что примерно в десять раз больше массы всей земной коры. Скорее всего гидросфера «подпитывается» водой мантии, освобождающейся из нее вместе с парами и растворами. Когда действует вулкан или гейзер, этот процесс становится очевидным, но, по-видимому, он происходит постоянно на протяжении всей геологической истории. Изнутри наружу вода движется, вероятно, не столько благодаря фильтрации растворов и газов, сколько за счет диффузии отдельных атомов, ионов и молекул. В явлении водообмена между мантией и земной корой много неясного, но уже обсуждаются конкретные гипотетические механизмы этого процесса².

¹ Вернадский В. И. Избранные сочинения. Т. IV. М., Изд-во АН СССР 1960, с. 16.

² Подробнее см. в работе С. М. Григорьева «Роль воды в процессах образования земной коры». Сборник «Пути познания Земли» (М., «Мысль», 1971).

Что касается водообмена между внешними водными бассейнами и атмосферой, то здесь все достаточно ясно. Испаряясь под действием солнечного тепла, вода попадает в атмосферу, а при охлаждении и конденсации, выпадает на земную поверхность в виде дождя или снега. Подсчитано, что за год в атмосферу поступает при испарении с поверхности Мирового Океана 448 000 кубичес-

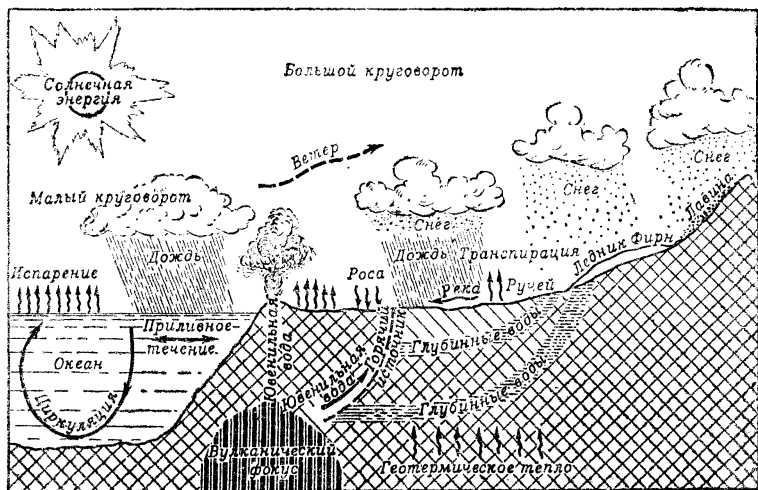


Рис. 21.

Круговорот воды на Земле

ких километров воды. В виде осадков возвращается 412 000 кубических километров, в виде речного стока — 36 000 кубических километров (рис. 21).

Воды, стекающие в моря и океаны с суши, называются текучими водами. При своем движении они размывают горные породы. Этот процесс получил название эрозии. Следы эрозии видны повсюду. Небольшой водный поток образует рытвину, которая по мере углубления превращается в овраг. Овраги растут и разветвляются до тех пор, пока вода не выработает так называемый профиль равновесия и овраг не превратится в балку с задернованными склонами.

Каждая река вместе со своими притоками образует речную систему. Крупнейшая из них — система Оби, имеющая площадь водосбора около 3,35 млн. квадратных километров. За год реки выносят в моря и океаны огромное количество воды (например, река Амазонка — 3160 кубических километров). Разрушая поверхностные породы, реки меняют рельеф суши — возникают речные долины, горные хребты превращаются в совокупность постепенно сглаживающихся холмов.

Ежегодно реки переносят в Мировой Океан около 3,2 млрд. тонн растворенных в воде веществ. На дне рек толща осадков, состоящих из разрушенных водами горных пород, иногда составляет десятки и даже сотни метров. Среди осадков встречаются обломки руд и других ценных материалов. Когда их много, они образуют россыпи полезных ископаемых и россыпные месторождения (золота, платины, алмазов и др.). Мелкие чистые пески используются для изготовления стекла, а песчаные глины — для производства строительного кирпича.

Таким образом, текущие воды не только разрушают, но и созидают. Вернее сказать, что даже силы разрушения человечество сумело поставить на службу себе.

Подземные воды образуются двояким путем — частично вода поступает с поверхности Земли, частично — из глубоких земных недр (возможно, из мантии). Запасы подземных вод весьма значительны. Так, например, в Западной Сибири существует артезианский бассейн площадью около 3 млн. квадратных километров. Подземные воды широко используются и в лечебных и в промышленных целях. Но не следует забывать, что они изнутри разрушают земную кору, образуя иногда очень протяженные карстовые пещеры.

Даже в твердом состоянии вода разрушает земную кору. Сползая с гор и возвышенностей под действием тяжести, ледники, подобно исполинскому утыгу, сглаживают неровности рельефа. Чем толще ледник, тем сильнее давит он на свое твердое ложе, тем разрушительнее его работа. А толща льда иногда бывает очень большой. Например, ледяной щит Антарктиды, содержащий 90% всего земного льда, имеет среднюю толщину около 2 километров. Ледники Антарктиды медленно (100—150 метров в год) сползают в океан и, обрушиваясь с берегов в

воду, становятся ледяными плавающими горами — айсбергами.

Моря и океаны, так же, как и реки, разрушают свои берега. Причина — почти постоянные удары волн о берег, иногда достигающие огромной силы. Так, в Сочи при сильном шторме волны обрушиваются на каждый квадратный метр берега с силой 15—18 тонн!

Конечно, и здесь разрушение сопровождается созданием — образованием осадков, причем основную долю осадков Мирового Океана составляют органические илы известкового и кремнистого состава.

Из полезных ископаемых, связанных с морскими отложениями, следует отметить серу, фосфориты, марганец, железо и другие промышленно ценные вещества. В пляжевых песках разрабатываются россыпи таких редких элементов, как титан и цирконий, торий и ванадий. На побережье океанов открыты россыпи алмазов, а на дне — огромные запасы нефти.

На фоне этих огромных природных богатств полезные ископаемые, которые создаются озерами и болотами, т. е. почти стоячей водой, могут показаться незначительными. Но это не так. В озерных и болотных отложениях встречаются промышленно ценные залежи торфа, бурого угля, горючих сланцев, каменного угля, нефти. К этому следует добавить месторождения песка, глин, известняков, различных солей, железных и марганцевых руд.

Мы надеемся, что у читателя не создается неверного впечатления, будто земная кора под морями и океанами богаче, чем на континентах. Ведь образование месторождений происходит не столько в ходе накопления осадков, сколько при дифференциации вещества, сопровождающей магматические процессы, а также в процессе миграции различных растворов в земной коре.

Если глобально оценить роль гидросферы, то она двояка — разрушающая и созидаящая. Во всех своих формах вода в конечном счете стремится сгладить рельеф, сделать поверхность Земли совершенно ровной, и это ей частично удается сделать быстрее и лучше, чем атмосфере. Но, разрушая, вода созидает полезные для человека ископаемые, и в этом ее великая положительная роль (не говоря уже о значении воды для жизни биосферы).

Воздействия воздуха и воды на земную кору — факторы внешние. Но есть и внутренние, глубинные процес-

сы, в значительной мере противостоящие внешним разрушительным силам. Их роль в развитии земной коры огромна.

Вулканизм Земли

До 79 года н. э. жители городов и поселков, расположенных на склонах горы Везувий, и не подозревали, что живут на вулкане. В конце августа этого злополучного года совершенно неожиданно началось сильное землетрясение. Над Везувием выросло грязно-белое облако, из которого посыпались камни. Тучи пепла, выброшенные вулканом, превратили день в ночь. Молнии прорезывали темноту, а мощные ливни обрушили на Землю потоки грязи. Города Помпея и Геркуланум вместе с их жителями оказались погребенными под толстым слоем грязи и обломков. Лишь в 1748 г. раскопки этих погибших городов раскрыли картину катастрофы, постигшей два небольших римских города. А еще век спустя знаменитый русский художник В. Брюллов запечатлел древнюю трагедию на полотне «Гибель Помпеи».

Извержения вулканов — самое наглядное и грозное проявление внутренних сил нашей планеты. В настоящее время на Земле насчитывается около 2000 вулканов, из которых 541 — действующие, т. е. проявившие свою активность на памяти человечества. Лишь 76 из активных вулканов находятся на дне морей и океанов, а остальные расположены на суше.

Давно подмечено, что в распределении вулканов на земной поверхности есть некоторая закономерность — они группируются в форме поясов вдоль глубинных разломов земной коры, главным образом по побережью океанов и на островных дугах. Таковы Тихоокеанский, Средиземноморско-Индонезийский и Атлантический вулканические пояса. В глубине материков вулканы почти отсутствуют. Среди исключений — высочайший в мире (6000 метров) африканский действующий вулкан Килиманджаро.

Как и все на свете, вулканы со временем разрушаются и переходят в ископаемое состояние. Обилие таких погребенных древних вулканов разного возраста свидетельствует о вулканической активности Земли на протяжении всей ее долгой истории. К числу потухших, но еще не разрушенных вулканов относится, например, Эльбрус

на Кавказе. Из действующих в нашей стране вулканов самый крупный и красивый — Ключевская сопка на Камчатке. Высота его около 5000 метров, а извергается он в среднем через 7 лет. Самое мощное из последних извержений вулкана Ключевская сопка произошло в 1944 г., когда в новогоднюю ночь он выбросил 1,5-километровый фонтан лавы и 60 млн. м³ пепла. В Центральной Америке

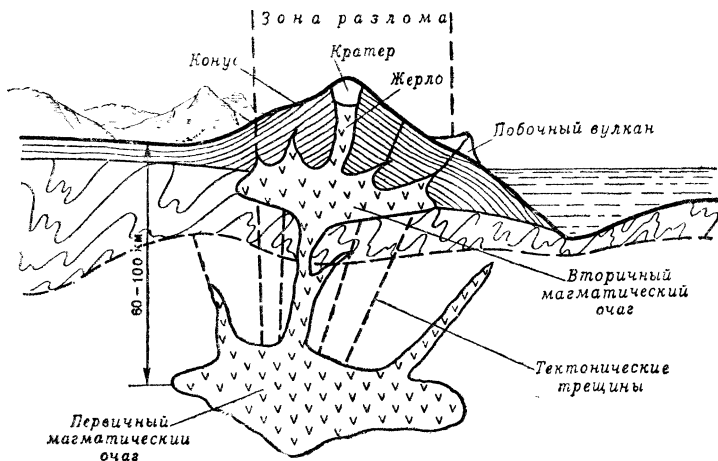


Рис. 22.

Строение вулкана

есть вулкан Исалько, действующий практически непрерывно.

Каковы же причины земного вулканизма?

На глубине примерно 100 километров при давлении 50—55 килобар и температуре около 1500° С базальты и другие породы мантии находятся в твердом состоянии. Но если внешнее давление уменьшится (например, при возникновении глубоких трещин в земной коре), вещество верхней мантии и земной коры начинает плавиться, образуется огненно-жидкий расплав, называемый магмой. Из магматического очага (рис. 22) магма с растворенными в ней газами по трещинам пробивается на поверхность Земли. Освобожденная от газов магма называется лавой, а в извержении газов и лавы, собственно, и состоит явление вулканизма.

Когда извергается вулкан, в воздух выбрасываются обломки горных пород, вулканические бомбы, имеющие в среднем 2—3 метра в поперечнике. Обломки меньше булавочной головки образуют вулканический пепел. Часто из жерла вулкана на его склоны изливается лава, застывшие потоки которой иногда достигают в длину десятки километров.

Конус вулкана состоит из продуктов его предшествующих извержений. На его склоне нередко действуют побочные вулканы. Котловина в центре вулкана называется кратером, иногда достигающим в поперечнике 25—30 километров. Если под конусом вулкана образуются значительные пустоты, центральная часть вулкана проваливается и образуется кальдера — гигантская воронка, в центре которой находится жерло вулкана. Поперечники кальдер могут измеряться десятками километров.

В редких случаях, когда зарождается новый вулкан, извержение происходит из трещин в земной коре, а вулканический конус образуется позже. Иногда при подводных извержениях конус наращивается так быстро, что вулкан выходит из воды и на глазах очевидцев возникает новый вулканический остров.

После извержения из трещин в кратере и конусе вулкана продолжают выделяться горячие газы и пары воды, а у его подножия появляются источники горячих — термальных вод. Фонтаны из горячей воды, возникающие в вулканической местности, называют гейзерами. Самый большой из них выбрасывает струю кипятка на высоту 50 метров.

Вулканизм иногда называют поверхностным или эффузивным магматизмом. Но есть еще магматизм глубинный, или интрузивный. Он недоступен непосредственному наблюдению, но о нем можно судить по тем магматическим породам, которые пронизывают толщи земной коры. С ними связан ряд полезных ископаемых (например, месторождения меди, платины, алмазов и др.).

По имеющимся данным, в начале развития Земли ее вулканизм был значительно активнее нынешнего. Похоже на то, что с возрастом планета постепенно утрачивает свои внутренние энергетические ресурсы, стареет и «успокаивается».

Однако подмечено, что вулканическая деятельность повышается с ростом солнечной активности. Возможно,

это связано с тем, что «активное» Солнце усиливает меридиональную циркуляцию в земной атмосфере, что увеличивает неравномерность вращения Земли. Эта неравномерность, в свою очередь, порождает дополнительные напряжения в земной коре, способствует образованию трещин, а следовательно, «стимулов» для проявления вулканической активности. Конечно, подобные гипотезы нуждаются в серьезном обосновании. А пока многое в истории земного вулканизма остается неясным.

Но неоспорим тот факт, что извержения вулканов приносят не только вред, но и пользу. Вулканические туфы, состоящие из сцементированных вулканических песка и пепла, используются (например, в Армении) как декоративные строительные материалы. Базальты — изверженные горные породы темной окраски применяются как сырье для изготовления электроизоляторов, огнеупорных плит и других промышленных изделий. Из вулканических паров и газов добывают борную кислоту и серу. Среди лав Грузии и Сахалина найдены месторождения фосфоритов. В других местах Земли с древними вулканами связаны месторождения золота, серебра, меди, молибдена и других ценных элементов. Наконец, термальные воды и у нас, и за рубежом используют для отопления домов, бань, теплиц — внутреннее тепло Земли согревает человека. Все это, конечно, только скромное начало великого дела — использования энергетических и вещественных ресурсов земных недр.

О движениях земной коры

Как уже говорилось, движения земной коры называют тектоническими. Хотя этот термин происходит от греческого слова «тектонос», т. е. созидательный, далеко не все движения коры заслуживают такого наименования (вспомните хотя бы землетрясения!).

Землетрясения — пример очень быстрых колебаний земной коры. В дальнейшем речь пойдет о движениях крайне медленных, растянутых на тысячелетия, но, несомненно, существующих. Если бы можно было заснять на кинолентку поверхность нашей планеты за всю ее долгую историю, а затем «прокрутить» этот фильм в быстром темпе, мы поразились бы подвижности земной коры. Одни ее части поднимаются, другие опускаются. Со-

вершаются и повороты, и сжатия отдельных участков коры, сопровождающиеся возникновением гор и долин.

Лучше других изучены радиальные движения земной коры, т. е. перемещения — поднятия и опускания ее участков вдоль земного радиуса. Если участок коры поднимается, оттесняя море, происходит регрессия. Наступление моря на сушу — трансгрессия. Скорость поднятий и опусканий — от долей миллиметра до 2 сантиметров в год. Как бы всплывая, поднимаются Скандинавия и Гренландия. Зато катастрофически опускаются Венеция, Голландия, Южный берег Англии. В ряде случаев удалось подметить периодичность регрессий и трансгрессий (например, для берега Неаполитанского залива). Известно, что трансгрессии и регрессии, иногда значительные, имели место на протяжении всей истории Земли.

Непрерывно совершаются также поперечные, тангенциальные движения земной коры. В результате этих движений происходят изгибание слоев и разрывы в горных породах с образованием трещин, называемые тектоническими нарушениями.

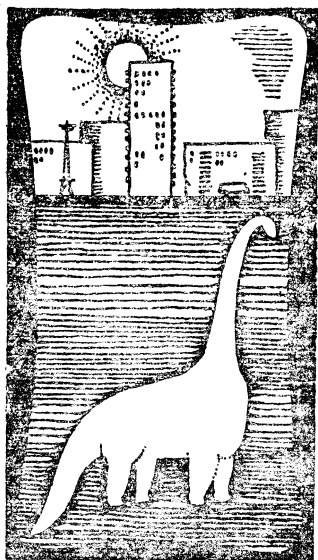
Причины движений земной коры пока еще слабо изучены. В середине прошлого века большой популярностью пользовалась контракционная гипотеза, по которой главной причиной всех тектонических движений является постепенное охлаждение и сжатие первично огненно-жидкой Земли. С этой точки зрения, образование гор также естественно, как сморщивание корки засыхающего апельсина. Оставалась, правда, неясной причина колебательных радиальных движений. Предположение о первично огненно-жидкой Земле сменилось различными «холодными» гипотезами, полагающими, что сгустившаяся из протопланетного облака Земля всегда в целом была холодной.

Уже знакомая нам гипотеза изостазии, рассматривающая земную кору как совокупность глыб, плавающих в полужидкой мантии, хорошо объясняет горизонтальные движения коры нарушением изостатического равновесия (за счет колебания мощности осадков, ледников и т. п.). Но тангенциальные смещения земной коры в гипотезе изостазии остаются необъясненными.

Некоторые советские геологи (например, В. В. Белоусов) считают, что основная причина тектонических дви-

жений земной коры заключается в физико-химических превращениях вещества мантии и земной коры. По мнению В. В. Белоусова, существует слой пониженной плотности (волновод), где происходит выплавление базальта из перидотита — вещества верхней мантии. Расплавленные базальты могут всплывать вдоль разломов в земной коре или сосредотачиваться в глубинах. Все эти процессы заставляют двигаться (в основном по вертикали) соответствующие участки земной коры. Наоборот, при истощении расплава в волноводе, тектоническая активность в данном районе Земли понижается.

Познакомившись с современной Землей, ее строением, мы перейдем теперь к проблемам, связывающим Землю с космосом. Среди них, пожалуй, самой трудной является проблема происхождения и эволюции Земли.



Присутствие радиоактивных веществ — убедительнейшее доказательство конечности возраста Земли. Их наличие также позволяет довольно точно датировать многие важные явления ранней истории Земли.

Д. КОИПЕР

Немного геохронологии

О возрасте человека можно судить по его лицу, фигуре, осанке, о возрасте дерева — по его толщине и высоте. Но как узнать возраст камня или скалы? Или еще более трудный вопрос — сколько лет нашей планете? Когда начала она существовать как космическое тело?

В библии сказано, что Земля существует всего несколько тысячелетий. Древние персы были щедрее: по их мнению, Земля возникла 12000 лет назад. Еще уважительнее относились к Земле древнеави-лонские жрецы — они считали что ей 2 млн. лет. Но все эти цифры имели столь же малое отношение к реальному возрасту нашей планеты, как и представления древних религий о мире к современному научному мировоззрению.

**СКОЛЬКО
ЛЕТ
ЗЕМЛЕ!**

Зарождение научной геохронологии датируют обычно самым концом XVIII века, когда английский геолог Смит в 1799 г. обнаружил, что в слоях одинакового возраста всегда содержатся ископаемые одних и тех же видов. Более того, он показал, что останки древних животных и растений размещены (с увеличением глубины) в одном и том же порядке, хотя поиски их производились в разных местах, расстояния между которыми были очень большие.

Так родилась историческая геология, а вместе с ней и первые гипотезы об эволюции органического мира Земли. Стала очевидной изменчивость Земли во времени, а значит, возникла задача: определить возраст Земли и наметить хотя бы в самых общих чертах поступательный ход эволюции всей нашей планеты. Задача оказалась нелегкой. Лишь век спустя знаменитый соотечественник Смита лорд Кельвин выступил со статьей, в которой утверждал, что возраст Земли близок к 25 млн. лет.

Кельвин предполагал, что первоначально вся Земля была в «огненно-жидком», расплавленном состоянии. Считая, что тепло, идущее к поверхности Земли из ее недр, есть остаточный, первичный жар Земли, он подсчитал, за какое время могла образоваться и остыть до современной температуры твердая земная кора. Так и получились те 25 млн. лет, которые какое-то, правда, непродолжительное время считались «официальным» возрастом нашей планеты.

Когда Кельвин производил эти расчеты, уже была открыта радиоактивность, а в 1906 г. другой известный английский физик лорд Релей доказал, что радиоактивные элементы широко представлены в горных породах и не учитывать тепло, выделяющееся при их распаде, нельзя. Отсюда следовало, что подсчеты Кельвина неверны, и возраст Земли, им установленный, заведомо занижен. Так наука пришла к использованию естественных «радиоактивных часов», во множестве рассеянных в некоторых породах земной коры.

Следует напомнить, что тяжелые химические элементы таблицы Менделеева способны самопроизвольно распадаться, выделяя при этом три вида лучей — альфа-лучи, бета-лучи и гамма-лучи. Первые представляют собой ядра атомов гелия, каждое из которых состоит из двух протонов и двух нейтронов. Бета-лучи — это потоки

электронов. Что же касается гамма-лучей, то это действительно настоящие лучи — электромагнитное излучение с очень малой длиной волны и очень энергичное. За счет гамма-лучей радиоактивные элементы при распаде нагревают окружающие их породы. Это и есть первоисточник радиоактивного нагрева, играющего громадную роль в эволюции Земли.

При радиоактивном распаде уменьшается первоначальная масса элемента и изменяется заряд его ядра. Следовательно, радиоактивный элемент становится неузнаваемым, в полном смысле слова — другим. Так, уран с относительной атомной массой 238 (уран-238) при распаде превращается в свинец с относительной атомной массой 206.

Радиоактивный распад происходит, как говорят, по экспоненте — так именуют график показательной функции. Аналитически закон радиоактивного распада может быть представлен формулой

$$m = m_0 e^{-kt},$$

где m_0 — первоначальная масса распадающегося элемента; m — его масса в данный момент времени t , k — коэффициент, зависящий от свойств данного элемента; e — неперово число, приближенно равное 2,718.

Период полного распада любого радиоактивного элемента равен... вечности! Иначе говоря, распад никогда не завершается, темп его, сначала очень быстрый, постепенно замедляется и в конце концов становится неощутимо малым. Вот почему имеет смысл говорить не о периоде распада, а о периоде полураспада T какого-нибудь радиоактивного элемента, т. е. о промежутке времени, за который распадется половина первоначального количества данного радиоактивного вещества. Нетрудно сообразить, что

$$T = \frac{\ln 2}{k},$$

где $\ln 2 \approx 0,693$.

У разных элементов T весьма различно — от ничтожных долей секунды до миллиардов лет. У урана-238 он равен 4,5 млрд. лет.

Предположим, что первоначально все радиоактивные элементы (включая уран-238) на Земле еще только

начинали распадаться. Если сегодня в породах, содержащих уран-238, имеется некоторое количество конечного продукта его распада (свинца-206), то можно подсчитать (пользуясь законом радиоактивного распада), за какое время из чистого урана-238 могло образоваться это количество «уранового» свинца. Это и будет нижним пределом возраста Земли, т. е. минимальным временем, протекшим с момента ее возникновения как самостоятельного космического тела.

Такова идея «радиоактивных часов». На практике все, конечно, сложнее. Применяются и более тонкие, точные методы, используются разные радиоактивные вещества и многочисленная аппаратура.

Самые древние породы земной коры, судя по показаниям «радиоактивных часов», имеют возраст 3,5 млрд. лет. Земля, конечно, старше своей коры. Однако возраст метеоритов, определенный аналогичными методами, не превышает 4,5 млрд. лет. В настоящее время этот колоссальный промежуток времени — 4,5 млрд. лет, который трудно себе представить, и принято считать возрастом Земли.

Как же складывалась жизнь Земли на протяжении всех этих миллиардолетий? Как формировался ее современный облик? В чем выразилась эволюция органического мира Земли, породившего в конце концов и нас, задающих эти нелегкие вопросы?

В земной коре хранятся следы прошлого нашей планеты. Проникновение в глубь Земли одновременно означает и путешествие в прошлое, тем более отдаленное, чем глубже мы проникаем. Каждый слой, каждый горизонт земной коры имеет «радиоактивные часы», фиксирующие его возраст. Земная кора расчленена по возрасту на слои, толщи, горизонты, ярусы, отделы, системы. Этим занимается одна из отраслей геологии — стратиграфия. Составлены геохронологические шкалы, или точнее разнообразные шкалы, изменявшиеся с развитием этой отрасли науки. Длительная история Земли подразделена на эпохи и периоды. Одну из новейших геохронологических таблиц мы здесь приводим.

История Земли, расчлененная по временным единицам, складывается из двух частей — истории неорганического тела нашей планеты и истории ее органического мира, прослеживаемой до протерозоя. Разумеется, эти

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Эры	Периоды и их индексы	Основные геологические события. Облик земной поверхности	Сформировавшиеся полезные ископаемые
Кайнозойская, 67 млн лет	Четвертичный или антропогенный, 2 млн лет Q	Неоднократные оледенения. Формирование современного рельефа, растительности и мира животных. Развитие человека	Строительные материалы (глины, песок), торф, россыпные месторождения золота, алмазов
	Неогеновый, 24 млн лет N	Поднятие гор: Карпат, Кавказа, Тянь-Шаня, Памира, Камчатки. Интенсивная вулканическая деятельность морей Средиземного, Черного, Каспийского, Аральского. Развитие высших форм растений и человекообразных обезьян	Бурые угли, нефть, янтарь, каменная соль, осадочные железные руды, строительные материалы (гранит, мрамор)
	Палеогеновый, 41 млн лет P	Разрушение мезозойских гор. Широкое распространение покрытосеменных растений. Развитие птиц и млекопитающих	Бурые угли, нефть, горючие сланцы, фосфориты, каменная соль, осадочные руды железа, алюминия (бокситы)
Мезозойская, 173 млн лет	Меловой, 70 млн лет K	Начало образования гор: Карпат, Крыма, Кавказа, Памира, Верхояно-Колымских, Дальневосточных. Возникновение покрытосеменных растений. Вымирание мезозойских пресмыкающихся, развитие птиц и появление млекопитающих	Уголь, нефть, горючие сланцы, фосфориты, мел, руды олова, мышьяка, сурьмы, золота, серебра, меди, свинца
	Юрский, 58 млн лет J	Мощная складчатость, разломы материков, излияние магмы и внедрение в толщу земной коры. Образование современных океанов, внутриматериковых морей, заболоченных низменностей на суше. Жаркий, влажный климат. Расцвет голосеменных растений. Расцвет пресмыкающихся. Появление птиц	Каменные угли, нефть, горючие сланцы, фосфориты

Эры	Периоды и их индексы	Основные геологические события. Облик земной поверхности	Сформировавшиеся полезные ископаемые
Мезозойская, 173 млн. лет	Триасовый, 45 млн. лет Т	Мезозойское горообразование	Каменная соль, нефть, уголь
	Пермский, 45 млн. лет Р		Каменные и калийные соли, гипс, уголь, нефть и горючий газ
Палеозойская, 330 млн. лет	Каменноугольный (карбон), 55 млн. лет С	Герцинское горообразование	Обилие угля и нефти. Медные, оловянно-вольфрамовые, полиметаллические руды
	Девонский, 70 млн. лет D	Каледонское горообразование	Нефть, горючий газ, соли, рассолы и минеральные лечебные воды

Эры	Периоды и их индексы	Основные геологические события. Облик земной поверхности	Сформировавшиеся полезные ископаемые
Палеозойская, 350 млн лет	Силурійский, 30 млн лет S	Каледонское горообразование	Главная фаза каледонской складчатости и образование гор: Саян, Алтая, части Тянь-Шаня. Развитие псилофитовых растений. Появление рыб
	Ордовикский, 60 млн лет O		Уменьшение морских бассейнов. Мощный вулканизм. Появление первых наземных беспозвоночных животных
	Кембрийский, 70 млн лет St	Байкальское горообразование	Понижение материков и затопление обширных пространств морями. Завершение байкальского горообразования. Расцвет морских беспозвоночных животных
Протерозойская, 2000 млн лет		Байкальское горообразование	Главная фаза байкальской складчатости и образование горных хребтов Прибайкалья и Забайкалья. Сильный вулканизм. Время бактерий и водорослей
Архейская, 1000 млн лет			Древнейшие горообразования. Напряженная вулканическая деятельность и метаморфизм горных пород. Время примитивных одноклеточных и некоторых бактерий
			Огромные запасы железных руд. Полиметаллические руды. Графит. Строительные материалы
			Железные и полиметаллические руды. Строительные материалы (гранит, мрамор и другие)

«две истории» тесно связаны, и в дальнейшем речь пойдет о единой истории нашей планеты, ставшей обиталищем множества живых существ — от микроорганизмов до человека. Останки организмов прошлого позволяют определить относительный возраст слоев земной коры и тем самым датировать геологические события.

В длительной истории нашей планеты принято выделять две стадии — догеологическую и геологическую. Первая из них охватывает события, связанные с формированием Земли как отдельного космического тела, а геологическая стадия — это по существу стадия формирования земной коры. Еще раз хочется подчеркнуть, что, исследуя древнейшую историю Земли, мы испытываем такие же затруднения, как и при изучении безбрежных далей космоса. Чем дальше от нас находится объект, тем труднее получить о нем достоверную информацию. И слово «дальше» может быть отнесено как к пространству, так и ко времени.

К сожалению, мы не знаем, как произошла Земля. Все гипотезы о происхождении Земли делятся на две группы. Гипотезы одной группы рассматривают «холодный» вариант рождения Земли, например, при сгущении из частиц протопланетного облака, другой группы — «горячий» вариант. Последние предполагают, что Земля отделилась от Солнца или его звездоподобного спутника и первоначально была раскаленной. Дальнейшая эволюция ее в значительной мере определялась постепенной потерей, рассеянием энергии. Правда, и в «холодном» варианте приходится искать источники разогрева Земли, без которого объяснить ее формирование невозможно. Одни находят их в радиоактивности, другие — в гравитационном сжатии, третьи считают, что одинаково эффективно действовали оба фактора.

Из гипотез, рисующих догеологическую стадию развития Земли, упомянем популярную ныне схему акад. А. П. Виноградова. По его мнению, после того, как Земля сформировалась в виде отдельного тела и нагрелась за счет гравитационного сжатия и других факторов, началось ее расслоение, дифференциация на отдельные оболочки. Этот процесс, как считает А. П. Виноградов, определялся выплавлением и дегазацией легкоплавких и летучих веществ. В ходе такой «зонной плавки» вещество верхней мантии расщепилось на легкоплавкую и тугоплавкую составляющие. Первая из них поднялась вверх и дала начало первичной базальтовой коре, причем это «всплывание» относительно легких веществ сопровождалось выделением паров и газов, из которых

затем сформировались гидросфера и атмосфера Земли. Наиболее тяжелые вещества опустились в недра Земли, образовав ее внутреннюю мантию и ядро.

Геологическая стадия в истории Земли началась с той эпохи, когда на развитие нашей планеты стало активно воздействовать Солнце. Выступая в роли основного энергетического источника в гидросфере и атмосфере, Солнце (через метеорологические процессы) разрушало первичную кору, создавая осадочные породы. Толщи осадочных пород постепенно стали достаточно мощными и тогда отчасти под давлением вышележащих слоев, отчасти под действием внутреннего тепла Земли их «нижние» слои преобразовались в породы метаморфические. На большой глубине внутреннее тепло Земли частично переплавляло осадочные и метаморфические породы земной коры в породы магматические.

Внутренняя энергия Земли вызывала движения отдельных участков земной коры: в одном месте опускалась суша, заливаемая океаном, а в другом месте и в другое время (а иногда и одновременно) из морских пучин поднимался остров и даже континент. При горизонтальных смещениях земной коры образовывались складки и трещины.

Процесс саморазвития Земли имеет в качестве первоисточника ту энергию, которой обладали и Земля, и Солнце в период молодости Солнечной системы. Так как потеря энергии Землей и Солнцем — процесс необратимый, то это придает земной эволюции направленный характер. Теория эволюции Земли еще не создана, но предложенные гипотезы, возможно, лягут в ее основу.

Гипотеза пульсационная, зародившаяся примерно 100 лет назад в трудах Дж. Дарвина и других ученых, предполагает, что Земля многократно испытывала чередующиеся сжатия и расширения. В этих пульсациях доминирующим всегда оставалось сжатие, так что в целом эволюцию Земли можно представить себе как пульсационное сжатие планеты. Пульсационная гипотеза, поддержанная В. А. Обручевым (1940 г.) и А. В. Хабаковым (1949 г.), неплохо объясняет некоторые морфологические особенности поверхностей Земли и Луны.

Ротационная гипотеза была выдвинута в 1910 г. А. Бемом, а затем поддержана и развита многи-

ми учеными, особенно Б. Л. Личковым (1931 г.) и М. В. Стовассом (1951 г.). Суть ее в том, что историю развития нашей планеты во многом определили осевое вращение Земли, ее собственное гравитационное поле, а также взаимодействие Земли с Луной и Солнцем.

Известно, что приливное трение постепенно замедляет вращение Земли. Всякое же перераспределение масс внутри ее тотчас же отзывается на осевом вращении. С приближением масс к оси вращения скорость осевого вращения увеличивается, в противоположном случае — уменьшается. Эти переходы нередко совершаются резко, скачкообразно, и хотя колебания осевой скорости Земли ничтожны, они, по-видимому, вызывают значительные напряжения в твердом теле Земли, что приводит к разрывам и смещениям отдельных участков земной коры.

Дифференциационная гипотеза, разработанная В. В. Белоусовым (1954 г.), решающую роль в эволюции Земли отводит процессу глубинной дифференциации слагающего нашу Землю материала. Постепенная «утряска» Земли, смещения тяжелых глыб к ее центру и выдавливание на поверхность легких пород — вот в сущности те вертикальные перемещения вещества, которые главным образом и выражают геологическое развитие планеты.

Плитовая гипотеза в настоящее время считается наиболее обоснованной. Она еще называется гипотезой глобальной тектоники плит.

Плавающие материки

Странная с первого взгляда идея о материках, плавающих по мантии, была высказана впервые американским геологом Ф. Тейлором в 1910 г. Дальнейшее развитие и популяризация этой идеи принадлежат немецкому метеорологу и исследователю Гренландии Альфреду Вегенеру. С 1912 г. гипотеза о дрейфующих материках прочно связывается с именем А. Вегенера, изложившего свои взгляды в книге «Происхождение материков и океанов». Эта книга вызвала горячие споры и привлекла внимание ученых. Дискуссии продолжались около 20 лет, но трагическая смерть А. Вегенера во льдах Гренландии в 1930 г. охладила страсти, его гипотеза, казалось, зашла в тупик, и ее в конце концов надолго

забыли. Второе рождение гипотезы Вегенера произошло в 50-х годах текущего века, когда идею дрейфа материков попытались (и не безуспешно) применить к объяснению некоторых загадок палеомагнетизма. В чем же суть гипотезы Вегенера?

А. Вегенер обратил внимание на, казалось, случайные особенности береговых линий некоторых материков: восточный (бразильский) выступ южноамериканского материка плотно укладывается во впадину Гвинейского залива. «Стыковка» получается особенно плотной, если вместо береговой линии брать очертание шельфа — материковой отмели.

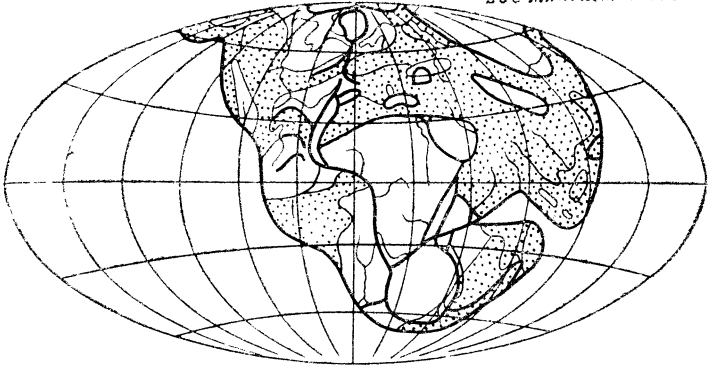
В 1970 г. американские исследователи с помощью электронно-вычислительных машин изучили «совмещение» некоторых материков на протяжении десятков тысяч километров. Результат получился поразительным: в целом хорошо совместились более 93% границ шельфа — древних береговых линий. Лучше всего стыковались Африка и Южная Америка, Антарктида и Африка, несколько хуже примкнули друг к другу Индостан, Австралия и Антарктида¹.

И все-таки создавалось впечатление, что когда-то Африка и Америка составляли одно целое. Затем по каким-то неясным причинам первичный материк раскололся на две части, и эти части, разойдясь в стороны, образовали современные Африку и Южную Америку, а также разделивший их Атлантический океан.

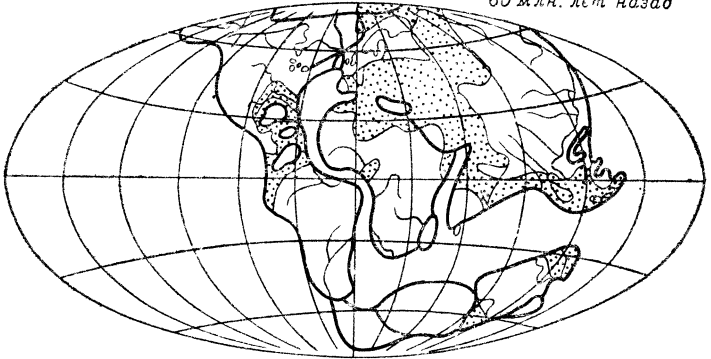
Сам А. Вегенер шел дальше в своих предположениях. Он считал, что когда-то вся теперешняя суша составляла единый и единственный материк — Пангею (рис. 23). Со всех сторон он омывался безбрежным Мировым Океаном, который А. Вегенер назвал Панталасом. Под действием каких-то сил, возможно, связанных с вращением Земли, примерно 200 млн. лет назад Пангея раскололась на несколько частей, подобно исполинской льдине. Ее осколки — теперешние материки — разошлись в разные стороны, и начался их продолжающийся доныне крайне медленный дрейф.

¹ Подробнее см. в книгах У. Такеучи, С. Уеда, Х. Канамори, «Двигаются ли материки» (М., «Мир», 1970) и Д. Тарлинга, М. Тарлинга «Движущиеся материки» (М., «Мир», 1973).

200 млн. лет назад



60 млн. лет назад



1 млн. лет назад

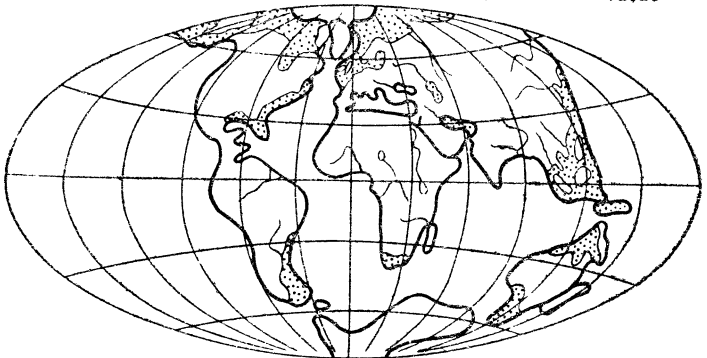


Рис. 23.

Эволюция материков по А. Вегенеру.

Выделены участки, которые были покрыты мелкими морями

Дрейфуя на запад, американский материк на переднем (западном) своем крае испытывал сопротивление того полужидкого внутреннего слоя Земли, по которому плывут материки. Естественно, что он смялся и образовал исполинские горные цепи Кордильер и Анд. От тыловой части плывущего материка отделялись, отставая, небольшие куски — например, Антильские острова. Некоторые осколки Пандеи плавали, поворачиваясь, как льдины в бурном потоке, — так, по-видимому, вела себя нынешняя Япония.

Некоторые последователи А. Вегенера (Дю Тойт в 1937 г.) полагали, что первоначально существовали два материка — Лавразия, расколовшаяся затем на Северную Америку и Евразию, и Гондвана, давшая начало Южной Америке, Африке, Австралии и Антарктиде. Сторонники этого варианта гипотезы Вегенера приводят немало фактов, как будто подтверждающих реальность Лавразии и Гондваны.¹ В частности, они ссылаются на сходство геологических структур разных материков, общность их растительного и животного мира.

Магнитное поле Земли, как уже говорилось, «намагничивает» некоторые горные породы. В них запечатлеваются и интенсивность, и структура геомагнитного поля. По многим намагниченным образцам пород можно судить о том, где находятся магнитные полюсы Земли. Значит (напомним еще раз), древние горные породы позволяют судить о палеомагнетизме, т. е. о характере земного магнитного поля в отдаленном прошлом.

Конечно, результаты палеомагнитных измерений по разным причинам искажены ошибками. И все-таки, отобрав наиболее надежные из них, можно убедиться, что магнитные полюсы Земли не всегда находились там, где мы их сейчас обнаруживаем. По палеомагнитным данным, магнитные полюсы Земли непрерывно странствуют, причем настолько значительно, что в некоторые эпохи они переходили из одного полушария Земли в другое.

Известно, что климат отдаленного прошлого сильно отличался от современных климатических условий Земли. Когда-то Гренландия, Шпицберген и даже Антарктида были жаркими странами с богатым растительным и

¹ См., например, статью М. Равича «Какой была Гондвана?» («Наука и жизнь», 1971, № 9).

животным миром. И наоборот, в экваториальных областях Земли господствовали условия, близкие к тем, которые сегодня характерны для околополярных районов. Из этих бесспорных данных палеоклиматологии А. Вегенер и некоторые из его последователей сделали вывод о непрерывном странствии географических полюсов — идея не менее удивительная, чем пресловутый дрейф континентов. Если и в этом случае А. Вегенер прав, значит земная ось непрерывно и радикально меняет положение в твердом теле Земли — вывод явно абсурдный с точки зрения привычных представлений небесной механики.

Правдоподобнее предположение, что дрейфуют материки, а не странствуют полюсы (магнитные и географические). В свете этой основной идеи Вегенера в принципе объяснимы и палеоклиматические парадоксы — в конце концов материк может «приплыть» с экватора на полюс или обратно, и при этом коренным образом изменится на нем и климатическая обстановка. Но эта простота кажущаяся. В самом деле, если принять гипотезу Вегенера, то как объяснить причину дрейфа материков? Какая сила движет исполинские материковые глыбы? Почему распад Пангеи произошел в сравнительно недавнее геологическое прошлое Земли, а не раньше?

Земная кора, по-видимому, тесно связана с подстилающей ее мантией. Они развиваются совместно, образуя единую оболочку — тектоносферу. Дрейф материков в таком случае означает перемещение исполинских твердых глыб толщиной до 1000 километров, что некоторым ученым кажется невозможным. Как полагает известный советский геолог В. В. Белоусов, тектоносфера не образует изолированных глыб, как это имеет место с материковой корой. Она окутывает непрерывной оболочкой весь земной шар, и тогда материковой тектоносфере просто некуда смещаться. В. В. Белоусов приходит к выводу, «что материки никуда не движутся», что они, так же, как океаны, образовались там, где сейчас находятся.

Однако большинство современных геологов стоит на позициях «мобилизма», т. е. признания подвижности отдельных блоков земной коры. Это особенно ярко было выражено в работе XV Ассамблеи Международного Союза геофизики и геодезии, проходившей в Москве в 1971 г., и год спустя — в работе Международного Геологического Конгресса. Английский геофизик М. Ботт, делая под-

робный обзор современного состояния гипотезы мобилизма¹, подчеркнул, что «совершенно независимые данные, почерпнутые из многих областей геологии, палеомагнетизма, морской геофизики, дают поразительно согласованные подтверждения континентального дрейфа».

В новейшей редакции гипотеза Вегенера основывается на факте разрастания океанического дна и концеп-

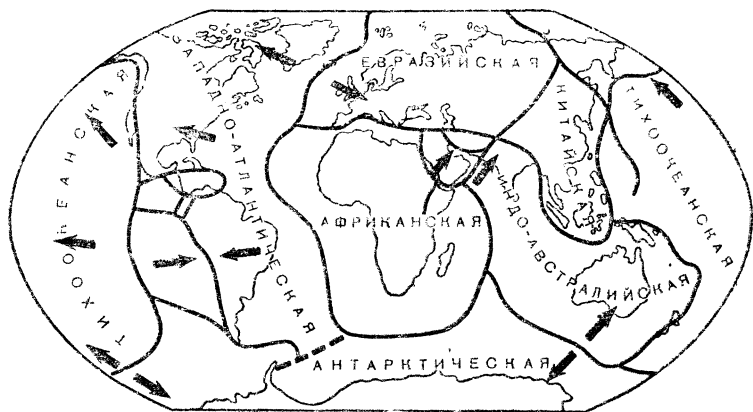


Рис. 24

Плиты земной коры.

Стрелками показано движение плит

ции так называемой тектоники плит. Суть этих новых идей заключается в следующем.

Земная кора состоит из нескольких исполинских плит — Евразийской, Африканской, Китайской, Индо-Австралийской, Антарктической, Западно-Атлантической и Тихоокеанской (рис. 24). Эти плиты разделены линиями разломов — участков повышенной вулканической и тектонической активности. Так, одна из них проходит вдоль срединного подводного хребта Атлантического океана.

Установлено, что океаническая кора очень молодая (ее возраст не более 100 млн. лет) и по толщине она

¹ Ботт М. Внутреннее строение Земли. М., «Мир», 1974, с. 272.

значительно уступает коре континентальной. Как считают сторонники гипотезы тектоники плит, молодая океаническая кора формируется по линиям разломов, разделяющих плиты, из вещества верхней мантии выдавливаемого наружу. Этот процесс, порожденный конвективными движениями вещества в мантии, приводит к раздвижению континентальных плит и зон поднятий. Встречаясь со старыми блоками материковой коры в районе островных дуг вблизи границ материков, расходящиеся плиты уходят под материковую кору, погружаясь обратно в мантию. Все эти перемещения плит совершаются в астеносфере — верхнему слою мантии, имеющему пониженную плотность.

Таким образом, в концепции тектоники плит рассматриваются не плавающие материки, как у А. Вегенера, а плавающие плиты. Скорость этих движений, конечно, невелика, но вполне ощутима (это подтвердили, например, результаты измерений с помощью искусственных спутников Земли). Так, Тихоокеанская плита дрейфует на северо-северо-запад по отношению к Западно-Атлантической плите со скоростью 5 сантиметров в год. Таковы же, примерно, скорости относительных перемещений и других плит.

С точки зрения тектоники плит, землетрясения возникают тогда, когда внезапно освобождаются напряжения, возникшие на границах плит при трении их об астеносферу. Естественно, что этим процессам, связанным с возникновением трещин в коре, сопутствуют и землетрясения.

А. Вегенер не мог ответить на вопрос, куда и под действием какой силы плывут материки. С позиции тектоники плит источником энергии этого движения служат конвективные движения вещества мантии — а рождение плит и материков и их «гибель» (т. е. возвращение в мантию) происходило, по-видимому, на протяжении всей геологической истории Земли. Постоянный обмен веществом и энергией между земной корой и мантией, непрерывное обновление коры — вот главное, что меняло внешний облик нашей планеты.

Так объясняет факты тектоника плит. Возможны, однако, и другие истолкования наблюдаемых явлений. Пример тому — удивительная гипотеза о расширении Земли.

Расширяется ли Земля!

Совершенно фантастическая с первого взгляда гипотеза расширяющейся Земли впервые была высказана в 1933 г. немецким геофизиком Отто Хильгенбергом. По мнению В. В. Белоусова, с точки зрения взаимоотношений между корой и верхней мантией, гипотеза «расширяющейся Земли» обладает преимуществом перед гипотезой дрейфа. Ведь эта гипотеза предполагает, что Земля первоначально была столь мала, что современные материки, объединенные в один блок, покрывали ее всю. Расширение глубоких зон Земли разорвало этот единый материк и раздвинуло его куски далеко друг от друга. Тогда можно думать, что связь коры с верхней мантией сохранилась под каждым обломком прежнего единого материка, а пространства между материковыми обломками заполнились материалом, поступившим из глубины.

Сам В. В. Белоусов и подавляющее большинство геологов считают, что гипотеза «расширяющейся Земли» вряд ли соответствует действительности. Однако у этой гипотезы есть и защитники в лице таких видных современных физиков, как П. Дирак, Д. Иордан, Д. Д. Иваненко. Все они полагают, что гравитационная постоянная на самом деле непостоянна, а уменьшается со временем. Если это так, то планеты, звезды и другие объекты Вселенной должны постепенно «разуплотняться», увеличиваясь при этом в объеме. По подсчетам Д. Иордана (1952 г.), постоянная тяготения за время существования Земли должна была уменьшиться в 2—3 раза.

Кстати, венгерский геофизик Эдьед еще в 1956 г. высказал предположение, что ядро Земли, начиная с глубины 5000 километров, представляет собой остаток сверхплотного звездного вещества. Насыщенное энергией и стремящееся расширяться, это «звездное ядро» Земли и служит главной причиной расширения нашей планеты. Здесь геология явно перекликается с астрофизикой — не напоминает ли расширяющаяся Земля расширяющиеся звездные ассоциации и другие активные процессы в звездном мире? Может быть, и в самом деле Земля — «осколок» Солнца?

Как известно, в пределах материков верхний этаж земной коры состоит в основном из гранитов, нижний,

возможно, из базальтов (при общей толщине около 40 километров). Дно океанов за осадочными породами скрывает, по-видимому, лишь 5-километровый слой базальта. Если Земля сформировалась из твердых частиц протопланетного облака, то как объяснить такое резкое различие материковой и океанической коры? Кроме того, наиболее радиоактивны кислые породы, сосредоточенные в гранитной, материковой части земной коры. Значит, материки должны нагреваться сильнее океанического дна. На самом деле тепловой поток, идущий из недр Земли, всюду одинаков.

Советский исследователь И. В. Кириллов недавно построил любопытную модель «материковой» Земли. После многих попыток ему удалось «сомкнуть» все материки земного шара, но не современного, а по поперечнику вдвое меньшего. Иначе говоря, была реконструирована вегенеровская Пангея, сплошь покрывающая вдвое уменьшенный земной шар. Работа оказалась нелегкой, так как приходилось учитывать изменение кривизны земной поверхности и многое другое. Но результат (смыкание сложнейших береговых линий на протяжении десятков тысяч километров) вряд ли можно считать случайным.

Похоже на то, что когда-то Земля была вдвое меньше и ее сплошь покрывала кора «материкового» типа. Океанов и морей в современном смысле слова тогда не было — сплошная «глобальная» суша лишь в некоторых местах имела неглубокие водоемы. При расширении Земли разорвалась покрывающая ее кора. Между осколками — материками образовались глубокие трещины. Они постепенно расширились, заполнились водой, превратились в современные моря и океаны. Но расширение Земли продолжается, и растягивающееся дно океанов служит ареной бурных геологических процессов.

Молодость океанического дна, его непрерывное расширение — факты, добытые при океанографических исследованиях последних лет и не вызывающие сомнений.

Обращает на себя внимание срединный хребет дна Атлантического океана. Его изгибы повторяют очертания и восточных и западных берегов Атлантики.

Срединные хребты есть во всех океанах. Они (по крайней мере внешне) похожи на трещины, возникшие в земной коре при начавшемся примерно 200 млн. лет на-

зад расширения Земли. Из трещин обильно изливалась лава, которая их «зарубцевала», образовав срединные океанические хребты.

С позиции гипотезы «расширяющейся Земли» можно достаточно естественно объяснить и образование гор, и другие важнейшие геологические процессы. Правда, с количественной стороны тут не все благополучно. Если изменялся радиус Земли, то неодинаковой была и продолжительность земных суток. Однако по расчетам Ранкорна, основанным на кольцах роста ископаемых кораллов, в девонский период сутки по длительности практически не отличались от современных. К таким же выводам приводят и результаты определения размеров Земли в прошлом по палеоширотам (т. е. по данным о геомагнитном поле в девонском периоде и других эпохах далекого прошлого). Неясна и причина, побуждающая Землю расширяться.

Подводя итоги современным дискуссиям о расширении Земли, М. Ботт пишет¹, что быстрое расширение Земли (со скоростью примерно 0,05 сантиметра в год) «... противоречит фактам, которыми мы располагаем, но расширение с меньшей скоростью (порядка 0,002 сантиметра в год — Ф. З.) пока нельзя опровергнуть. Однако расширение Земли не может служить управляющим механизмом разрастания дна океанов, дрейфа материков или связанной с ними тектонической деятельности. По-видимому, гипотеза расширяющейся Земли не имеет очевидной связи с происхождением основных структур поверхности Земли».

Геологические ритмы

Бесспорно одно — развитие Земли происходило не монотонно, а циклично. Следы циклов различной продолжительности прослеживаются в геологических отложениях всех эпох, включая древнейшие. Они видны в осадочных породах и остатках древней жизни. Их можно заметить в стратиграфическом размещении полезных ископаемых². Это относится, как показали исследования Ю. М. Малиновского, к солям и углям, к горючим сланцам и

¹ Ботт М. Внутреннее строение Земли. М., «Мир», 1974, с. 327.

² См. сборник «Проблемы космической биологии». Т. XVIII (М., «Наука», 1973, с. 7—25).

нефти. «Цикличность» залежей в значительной мере отражает цикличность тектонических процессов — поднятий и опусканий земной коры, появлений суши на месте моря и, наоборот, наступления моря на сушу (трансгрессий). Эти процессы, естественно, влияли на продуктивность биосферы Земли, что нашло отражение и в органических следах давних эпох.

Характерная черта геологических циклов — их многоритмичность. В геологической истории Земли действует сразу, одновременно целая иерархия циклов самой различной продолжительности — от десятков лет до сотен миллионов лет.

«Естественно, возникает вопрос, — пишет акад. В. Д. Наливкин¹, — каковы же причины цикличности истории развития Земли и где они находятся? Точного ответа на него еще нельзя дать, но можно предположить, что причины мелкой цикличности... находятся в самом земном шаре, поскольку наблюдается изменение продолжительности этих циклов. Причины же крупных циклов скорее всего астрономические, так как продолжительность их остается постоянной. Дело будущих исследований решить эти вопросы, уточнить системы цикличности, и тогда они, без сомнения, явятся основными вехами геологической истории».

Некоторые исследователи (например, Г. Ф. Лунгерстаузен) пытались объяснить наиболее крупные из геологических циклов (продолжительностью порядка 200 млн. лет) влиянием ядра нашей звездной системы Галактики на земные процессы. С одной стороны, предполагали при этом, что при максимальном сближении Солнечной системы с галактическим ядром его гравитационное воздействие на Землю становится наибольшим, что, якобы, стимулирует тектоническую и вулканическую активность. С другой стороны, считали, что Солнечная система может периодически проходить через плотные облака космической пыли, что порождает ледниковые периоды и эпохи.

Все это выглядит, однако, крайне неубедительно. Галактическая орбита Земли близка к окружности, поэтому колебания приливных сил со стороны галактиче-

¹ Наливкин В. Д. О цикличности геологической истории. — «Географический сборник». Т. XV. М., «Наука», 1962, с. 196.

ского ядра ничтожны. Кроме того, все известные астрономам пылевые туманности очень разрежены и не могут оказать влияния на световой и тепловой режим Земли, попади в любую из них Солнце вместе с планетами. Наконец, если бы даже гипотезы о влиянии галактического ядра оказались верными, то этим бы объяснялся лишь один 200-миллионелетний цикл, а остальная иерархия циклов осталась бы необъяснимой.

Гораздо правдоподобнее гипотеза известного советского астронома М. С. Эйгенсона, предполагавшего, что цикличность геологической истории есть отражение цикличности солнечной активности¹. В чем же суть идей М. С. Эйгенсона?

Исполинский ядерный реактор, именуемый нами Солнцем, существует и действует по меньшей мере 5 млрд. лет. За этот промежуток времени его излучение отличалось завидным постоянством — об этом свидетельствует прежде всего геологическая летопись Земли и возраст земной биосферы, составляющий вряд ли менее 3 млрд. лет. В постоянстве солнечного излучения убеждает нас и повседневный опыт: сегодня Солнце на небе выглядит совсем таким же, как вчера, и мы убеждены что внешность его не изменится и через месяц, и через годы, и через сотни лет.

Между тем это постоянство кажущееся. Солнце можно считать постоянным излучателем лишь в первом, самом грубом приближении. На самом деле непрерывно изменяются и электромагнитное, и корпускулярное излучение солнца, причем все это уверенно фиксируется современными астрофизическими приборами. Широко вошедший в научный обиход термин «солнечная активность» в сущности означает физическую изменчивость Солнца вообще.

Приметы этой изменчивости разнообразны. Наиболее ярко она выражается в численности солнечных пятен, факелов, протуберанцев и других активных образований, а также в колебаниях нетеплового радиоизлучения Солнца. Самое мощное проявление солнечной активности — хромосферные или солнечные вспышки, энерговыделе-

¹ Подробнее см. в работе М. С. Эйгенсона «Очерки физико-географических проявлений солнечной активности» (Львов, изд. Львовского гос. ун-та, 1957).

ние при которых равноценно одновременному взрыву десятков тысяч мегатонных ядерных бомб.

Когда Солнце переживает очередной «приступ» активности, резко усиливаются его коротковолновое и длинноволновое излучения, бомбардировка Земли солнечными корпускулами (в основном протонами, альфа-частицами и электронами) становится более интенсивной, и каждый поток корпускул не только будоражит земную атмосферу, но и несет с собой слабое «вмороженное» магнитное поле (напряженностью порядка 10^{-4} эрстед), которое порождает магнитную бурю. Солнечная корона простирается за орбиту Земли, и неудивительно, что, находясь постоянно внутри Солнца, весь земной мир, все живое и неживое на нашей планете очень чутко реагирует на колебания солнечной активности¹.

Самая главная черта солнечной активности — многоритмичность. Знаменитый 11-летний цикл — лишь самый известный и самый заметный из солнечных ритмов. Его отражения в геологических отложениях и биосфере столь многочисленны, что даже простое их перечисление заняло бы слишком много места. Подчеркнем главное — в геологических отложениях этот цикл прослеживается до границ архея. Это означает, что ритмика солнечной активности — явление очень древнее, сравнимое с возрастом Солнца.

Механизм связи солнечной активности и стратификации геологических отложений вполне понятен. Работами чл.-корр. АН СССР Э. Р. Мустеля и других советских ученых доказано, что вторжение солнечных корпускулярных потоков в земную атмосферу усиливает меридиональную атмосферную циркуляцию, а это, в свою очередь, приводит к образованию устойчивых циклонов и антициклонов (наглядная иллюстрация — капризы погоды летом 1972 г.). Солнечная активность повышает циркуляцию в атмосфере и гидросфере, сглаживает температурные градиенты и в целом смягчает климатическую обстановку на земном шаре. Подобно активному Солнцу, поступаем и мы, когда в остывший чай подливаем горячую воду, а затем помешиваем чай ложкой, добиваясь тем самым потепления всего напитка.

¹ См. сборник «Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли» (М., «Наука», 1971).

Зато в периоды слабой активности Солнца меридиональный воздухообмен ослабевает, температурные контрасты растут, сильно остывшие полярные зоны распространяют холод в умеренные широты, и климат на Земле в целом становится холодным.

Так как всякие колебания погоды и климата прежде всего выражаются в количестве осадков, то, естественно, что солнечные ритмы должны быть зафиксированы в геологических отложениях разных эпох. И тут, изучая геологическую летопись, мы открываем множество циклов разной продолжительности, как и 11-летний цикл, отраженных в толщине, составе и размещении осадочных пород. Многоритмичная цикличность осадкообразования — вот что привлекает внимание современного геолога и требует объяснения.

Некоторые из геологических циклов отражены в наблюдаемых явлениях солнечной активности (например, 33-летний брикнеров цикл, или «вековой» цикл, близкий к 80 годам), 600-летний цикл проявляется в количестве открываемых комет — ведь чем активнее Солнце, тем ярче светятся кометы (под действием солнечных корпускул), а значит, большая вероятность того, что их заметят с Земли.

Однако есть очень длительные циклы, ярко выраженные в геологических отложениях, но ни в чем «астрономическом» не замеченные. Эти циклы отражены в следах эпох оледенений, которые сменялись сравнительно теплыми эпохами разной продолжительности. Таковы циклы в 1800 лет и более продолжительные, вплоть до 200-миллионлетнего¹. Впрочем, отсутствие астрономических подтверждений подобных циклов легко объяснить — ведь тщательное изучение солнечной активности началось лишь в прошлом веке. Это, конечно, ни в коей мере не ставит под сомнение главное: в истории Земли много раз чередовались теплые и ледниковые периоды самой разной продолжительности. Здесь действовала иерархия циклов от самых кратких, 11-летних, до наиболее продолжительных, измеряемых миллионами и десятками миллионов лет.

Если искать образное сравнение, то каждый цикл —

¹ Подробнее см. в сборнике «Земля во Вселенной» (М., «Мысль», 1964).

это как бы рябь на волне следующего, более продолжительного цикла. И еще одна важная деталь: чем длительнее цикл, тем более радикальные колебания земного климата ему соответствуют. Эти сложные явления имели место на протяжении всей истории развития Земли. Как можно объяснить все это? Какой природный механизм обуславливает климатические ритмы Земли?

Вспомните, как колеблется струна. Ее колебание в целом порождает основной тон. Но одновременно колеблются и половинки струны, издавая более высокий звук (первый обертон). Четверти струны создают второй обертон и так далее, теоретически — до бесконечности. Каждый звук, рожденный струной, — это иерархия звуков разной силы и частоты. Все вместе они создают качество звучания, называемое тембром.

По М. С. Эйгенсону, Солнце подобно струне, но не в механическом, а в энергетическом смысле. Когда-то, миллиарды лет назад на Солнце начал действовать протон — протонный цикл ядерных реакций. Скорее всего это сопровождалось внутренней перестройкой Солнца и не прошло вполне гладко, т. е. выделение энергии не сразу стало строго равномерным. Известно, что ядерные реакции чрезвычайно чувствительны к колебаниям температуры. Но тогда в Солнце мог легко возникнуть автоколебательный процесс, продолжающийся и в наше время.

«Усиление выхода энергии из ядерного котла, — пишет М. С. Эйгенсон, — приводит вследствие расширения внутренних слоев к известному и вообще небольшому падению центральной температуры. А это влечет за собой гораздо более значительное по масштабу ослабление выхода энергии. В результате весьма быстро прекращается процесс расширения внутренних областей Солнца. Таким образом, первоначальная ситуация более или менее полностью воспроизводится, что и обеспечивает, возможно, цикличность всей этой сложной системы внутренних преобразований»¹.

Если это так, естественное объяснение имеют и ритмы Солнца, и порожденные ими ритмы Земли. Основной «тон» Солнца — это энергетическое колебание, растянув-

¹ Эйгенсон М. С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Львов, изд. Львовского гос. ун-та, 1957 г. с. 166.

шеся примерно на 200 млн. лет. Все остальные, меньшие циклы — солнечные «обертоны», из которых 11-летний, по-видимому, самый короткий¹ (27-дневный солнечный цикл связан с осевым вращением Солнца, а не с его энергетическими колебаниями).

На все эти циклы чутко реагирует Земля. Наблюдаемое потепление Арктики — очевидно, результат роста солнечной активности в «вековом» цикле. Периодические усыхания и увлажнения Сахары — следы 1800-летнего цикла. Наконец, в многократно повторяющихся ледниковых периодах и эпохах опять замешана «рука Солнца», колебания его активности. А механизм во всех случаях по существу один — усиление или ослабление меридионального воздухообмена между полюсами и экватором. Разница лишь в длительности, амплитуде, а следовательно, в масштабах земных событий.

Но это не все. Образование или таяние ледников изменяет нагрузки материковых плит, усиливая или ослабляя тектоническую и вулканическую деятельность. Хорошо известно, что периоды эволюции органического мира Земли характеризуются прежде всего климатическими особенностями (например, суровый пермский период или мягкий и теплый карбон). Создается впечатление, что Солнце на протяжении всей истории развития Земли «дирижировало» ходом эволюции биосферы. Оно постоянно вмешивается в жизнь обитателей Земли и сегодня: солнечные ритмы четко отражены в жизни и поведении растений, животных, человека.

Эволюция биосферы

При изучении истории развития Земли немыслимо игнорировать весь тот многообразный мир живых организмов, который образует ее биосферу. В геологии существует даже такой образный термин, как *руководящие ископаемые*. Так именуют остатки животных и растений прошлых эпох, по которым иногда приходится определять возраст горных пород. Нередко удается найти лишь косвенные следы древних обитателей Земли, т. е. их отпечатки. Но и они могут красноречиво рассказать о том организме, который оставил после себя такой отпечаток.

¹ Возможно, существует 5—6-летний солнечный цикл.

Сами ископаемые организмы обычно встречаются в форме окаменелостей. Именно по ним в основном и была составлена летопись земной жизни, совершившей поступательную прогрессивную эволюцию от простейших микроорганизмов до человека. Жизнь в историю Земли вошла незаметно. Это событие, случившееся около 3 млрд. лет назад, не оставило никаких следов. Скорее всего жизнь зародилась не в одном каком-либо районе Земли, а почти одновременно во многих местах планеты¹. Но «пионеры» жизни, эти первичные и, несомненно, простейшие микроорганизмы, погибли бесследно, так как первоначально их было мало. Однако за короткий срок (и в этом одно из характерных свойств жизни) они дали такое многочисленное потомство, которое заметно проявило себя уже в масштабе всей планеты.

Родившись из неживого, жизнь первоначально как бы сохранила в себе отблеск молекулярной множественности. В этом была и слабость, и сила древнейших форм жизни. Слабость — в примитивизме организмов, сила — в их великом множестве.

Как уже отмечалось, пока не существует единой общепризнанной геохронологической шкалы. Различна и терминология. Так, в последнее время весь ранний период эволюции Земли, предшествующий кембрийскому периоду, называют до кембрием и определяют (правда, очень неуверенно) его продолжительность в 3 млрд. лет. Что касается палеозоя, мезозоя и кайнозоя, то эти три эры иногда объединяют под общим названием фанерозой. Так как наша задача состоит в том, чтобы представить себе в самых общих чертах эволюцию биосферы, мы будем в дальнейшем придерживаться устоявшейся и вошедшей во многие учебники терминологии.

Уже в древнейшую, архейскую эру, длившуюся 1000 млн. лет, существовали бактерии, одноклеточные сине-зеленые и многоклеточные водоросли. Свойства этих древнейших организмов определялись условиями внешней среды, в частности составом земной атмосферы.

Есть основания полагать, что первичная атмосфера Земли, кроме водорода, метана, аммиака и водяных паров, содержала в избытке инертные газы, прежде все-

¹ Подробнее см. в книге М. Руттена «Происхождение жизни» (М., «Мир», 1973).

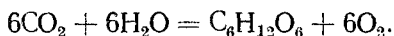
го гелий и неон. Но они диссипировали, т. е. улетучились в мировое пространство, и к моменту появления жизни «вторичная» атмосфера Земли содержала также углекислый газ и сероводород, выделившиеся из земных недр.

Первичные микроорганизмы постепенно сокращали исходные запасы водорода, аммиака, метана, сероводорода. Так, серные бактерии окисляли сероводород вулканического происхождения, а водородные бактерии — молекулярный атмосферный водород. Пурпурные и зеленые бактерии, а затем сине-зеленые водоросли, усваивая из атмосферы углекислый газ, обогащали ее выделяемым ими кислородом.

В слоях земной коры архейского возраста находят породы органического происхождения — известняки, мрамор, углекислые вещества. Они образовались в ходе жизнедеятельности древнейших обитателей Земли. Таково же происхождение древнейших залежей серы и железных руд.

В конце архея началось размножение живых организмов и фотосинтез. Новый способ образования потомства был закреплен естественным отбором и ныне стал господствующим в органическом мире. Что же касается фотосинтеза, то он не только радикально изменил атмосферу Земли, наполнив ее кислородом, но и положил начало разделению единого ствола жизни на две ветви — растения и животные.

Как известно, процесс фотосинтеза выражается уравнением



Он стимулируется солнечной световой энергией, которая преобразуется в энергию химических связей. Благодаря фотосинтезу бедные энергией вещества (CO_2 и H_2O) переходят в углеводы — сложные и весьма богатые энергией органические вещества.

Первые живые организмы Земли были автотрофными, т. е. поддерживали свою жизнедеятельность ресурсами внешней неорганической среды. Позже появились организмы гетеротрофные, питающиеся в основном живым или жившим, т. е. другими организмами или их останками. Связь с неорганической природой, естественно, сохранилась: подавляющая часть растений автотроф-

ны. Но для животных, этих гетеротрофов, такая связь опосредствована — они не могут жить, не употребляя в пищу живое или жившее.

Палеонтологические исследования «корней» земной жизни показывают, что уже в архейскую эру появились многоклеточные организмы. Это в дальнейшем привело к дифференциации тканей, органов и их функций. Родоначальниками простейших растений и животных считаются жгутиковые — древнейшие одноклеточные организмы. Однако уже в архее существовали организмы типа медуз или гидроидных полипов.

Первичная жизнь, активно используя запасы сложных органических соединений, этих полуфабрикатов жизни, в конце концов истощила их запасы настолько, что в последующие эпохи зарождения жизни, по-видимому, не происходило. Этому мешало, конечно, и обилие живых существ, готовых употреблять в пищу любой органический комочек, в котором вдруг затеплилась жизнь.

В течение протерозойской эры, длившейся около 2 млрд. лет, бактерии и водоросли господствовали повсеместно. Великое множество мельчайших существ проявили себя прежде всего как «образователи» пород и руд. Их деятельность приобрела поистине планетарный характер, и следы ее остались в виде железных и марганцевых руд, осадочных сульфидных минералов, кремнистых сланцев и т. п. Именно в эту отдаленную от нас эпоху сформировались залежи железных руд в Криворожье, под Курском, в Воронежской области и Прибалтике. В пределах современных континентов водоросли протерозойской эры отложили карбонатные породы мощностью более 1000 метров.

Остатки животных в отложениях протерозоя встречаются редко. И все же по ним, по этим следам давным давно угасшей жизни видно, что в протерозое уже существовали радиолярии, кремниевые губки, простейшие черви. Найдены отпечатки медуз и членистоногого животного «ксенусиона» — прародителя будущих трилобитов.

В палеозойскую эру, которая началась примерно 570 млн. лет назад и продолжалась около 330 млн. лет, на арену жизни вышли новые группы организмов. Масса «живого вещества» планеты продолжала расти, усложняясь и разнообразясь в своей структуре

В морях появились и быстро размножились археоциаты — беспозвоночные животные с известковым, подчас весьма причудливым скелетом. Они сильно потеснили водоросли и на мелководье занялись строительством рифов.

Почти одновременно с археоциатами на дне палеозойских морей возникли древнейшие членистоногие — трилобиты, внешне отдаленно напоминающие современных раков. Трилобиты просуществовали на дне морей всю палеозойскую эру и вымерли лишь к ее концу.

С самого начала палеозойской эры растения решительно стали «пробиваться» на сушу. Их выход на сушу совершался в прибрежных бассейнах, и первые «десанты» выбросили сине-зеленые водоросли. За ними последовали красные и зеленые водоросли, обладавшие корневой системой и специализацией клеточных тканей. Агрессия растений оказалась столь успешной, что уже во второй половине палеозойской эры (в каменноугольный период) папоротниковые леса обильно покрыли огромные пространства суши. Отдельные папоротниковые деревья достигали в высоту 30—40 метров и в толщину более 2 метров. Пышная растительность насытила атмосферу кислородом, коренным образом изменив ее состав.

Жизнь в новой обстановке выработала у растений новые качества, облегчившие приспособление к окружающей среде. Растения научились защищаться от безводья, у них усовершенствовались ткани, появился бесполой способ размножения. От этой эпохи массового развития растений остались многочисленные следы в форме залежей каменного угля.

Животный мир в палеозойскую эру был очень богат. В морских отложениях найдено около 15 000 видов морских животных — иглокожих, плеченогих, кораллов, головоногих моллюсков и других. По дну морей ползали ракоскорпионы, достигавшие в длину 3 метров.

К середине палеозойской эры, в силурийский период, появились первые бесчелюстные позвоночные. Это были неуклюжие существа с хрящевым скелетом и костными щитами, покрывавшими головную и переднюю часть туловища. Остальная его часть и хвост защищалась чешуей. Эти «панцирники» больше ползали по дну, чем плавали. Во многом они уступали акулоподобным ры-

бам, крупнейшим в ту пору морским животным, достигавшим в длину нескольких метров.

Вслед за растениями вышли на сушу и животные. По-видимому, первыми «десантниками» были потомки кистеперой рыбы (целаканта), обладавшей двойным дыханием (в воздухе и в воде). Ее плавники по строению напоминали конечности наземных позвоночных. Любопытно, что совсем недавно несколько экземпляров целаканта было выловлено у берегов Африки.

Потомки кистеперых рыб еще в палеозойскую эру дали начало наземным позвоночным животным. Их плавательный пузырь выполнял функции примитивного легкого, а плавники годились для ползания. Естественный отбор постепенно превратил этих «двойственных» животных в земноводных, живших по берегам водоемов.

К концу палеозойской эры часть земноводных оказалась способной к дальнейшему завоеванию суши. У них образовался роговой кожный покров, предохраняющий от высыхания. Постепенно земноводные дали начало первым пресмыкающимся. Некоторые из них были травоядными, другие хищными. Особенно любопытны зверообразные пресмыкающиеся, внешне несколько напоминающие современных хищников и имеющие тот же набор зубов, что и млекопитающие.

В палеозойскую эру жизнь захватила не только море и сушу, но и воздух. Еще в каменноугольный период появились летающие насекомые, размах крыльев у которых иногда достигал 1 метра. Жизнь прорвалась в атмосферу.

Примерно 240 млн. лет назад началась мезозойская эра, которая продолжалась около 173 млн. лет. Она характерна прежде всего безраздельным господством пресмыкающихся. Какие только причудливые формы они ни принимали! Жутко было бы очутиться в сообществе этих подчас исполинских чудовищ, отлично описанных в научно-фантастической литературе и живо воспроизведенных средствами кино. Пресмыкающиеся овладели всеми тремя средами — сушей, морем, воздухом. Первоптицы (археоптериксы) внешне напоминали не только птиц — это была переходная форма от пресмыкающихся к современным птицам.

В растительном мире произошли существенные перемены. Резко сократилось количество папоротниковых и

голосеменных растений. Им на смену пришли широколиственные покрытосеменные растения. Одновременно развились высшие формы насекомых-опылителей: бабочек, шмелей, пчел, мух. Но самое главное событие мезозойской эры — появление первых млекопитающих.

Поначалу трудно было увидеть великое будущее в этих мелких хищных зверьках, внешне напоминающих современных крыс или ежей. Вероятно, их прародителями следует считать зверозубых пресмыкающихся. Млекопитающие были теплокровными животными с четырехкамерным сердцем, обеспечивающим усиленный обмен веществ и энергии. В отличие от пресмыкающихся, они и в холодное время могли вести активную жизнь, а их зародыши развивались внутри тела матери и после рождения вскармливались ее молоком.

К концу мезозойской эры млекопитающие быстро расселились по Земле, сосуществуя со все еще господствующими пресмыкающимися.

Эра, в которую мы живем, называется кайнозойской. Началась она около 70 млн. лет назад, и начало ее было отмечено прежде всего окончательным вымиранием крупных пресмыкающихся. Исчезли многие группы головоногих моллюсков. Органический мир Земли постепенно приобретал современный облик.

Членистоногие животные, особенно насекомые, достигли, по-видимому, вершины прогресса. Многообразие их видов (около миллиона!) поразительно. Эти маленькие существа с необычайно развитыми и сложными инстинктами на поверхности Земли встречаются почти повсеместно. Однако господствующее положение в животном мире все же занимают млекопитающие.

С бурным развитием цветковых растений млекопитающие и птицы получили прочную кормовую базу. Среди млекопитающих выделились группы, от которых пошли современные грызуны, китообразные, травоядные, хищные и другие животные. И самое главное, в кайнозойскую эру появились обезьяны, давшие ветви, которые в конечном счете породили первое мыслящее существо — человека.

Каковы же главные черты и особенности этого великого процесса органической эволюции?

Прежде всего бросается в глаза прогрессивный характер эволюции. Несмотря на отдельные отступления

и неудачи, развитие органического мира Земли идет в целом от низшего к высшему. Однажды появившись, жизнь оказывается необычайно стойкой. Непрерывно завоеывая себе все новые и новые области, живые организмы множатся и совершенствуются.

«Эволюция органического мира, — писал акад. И. И. Шмальгаузен, — в целом имеет прогрессивный характер: она неуклонно ведет к усложнению организации, к созданию все высших форм жизни. В эволюции позвоночных прогрессивное развитие центральной нервной системы начинает играть явно руководящую роль, и высшие их формы определяются уровнем развития полушарий головного мозга»¹.

«Дерево эволюции» корнями уходит в неорганический мир. Его вершина отмечена приматами и человеком. Но какое многообразие ветвей! Перед нами действительно огромное «дерево», выросшее из ничтожного «семена». Возможно, что некоторые его ветви «тупиковые». Такова, например, ветвь насекомых, достигших, судя по всему, апофеоза в своем развитии.

Но ветвь, к которой принадлежит человек, явно прогрессирует, значит, эволюционное дерево живет, и кто может сказать, какие еще оно даст побеги?

Секреты эволюционного прогресса были, как хорошо известно, раскрыты в основном Чарльзом Дарвиным. «Три кита» дарвинизма — изменчивость, наследственность и естественный отбор объясняют то, что до Ч. Дарвина считалось проявлением сверхъестественных сил. По словам Ф. Энгельса, Ч. Дарвин нанес сильнейший удар метафизическому взгляду на природу, доказав, что весь современный органический мир, растения и животные, а следовательно, и человек есть продукт процесса развития, длившегося миллионы лет².

Естественный отбор подхватывает любое полезное для организма наследственное изменение и закрепляет его в потомстве. Этот природный механизм, по мнению Ч. Дарвина, не только объясняет прогрессивный характер эволюции в прошлом, но обеспечивает и будущий прогресс.

¹ Шмальгаузен И. И. Проблемы дарвинизма. М., «Советская наука», 1946, с. 68.

² См. «Хрестоматию по общей биологии» (М., «Просвещение», 1970).

Разумеется, развитие человеческого общества подчиняется особым социальным законам, и принципы дарвинизма не могут быть использованы в социологии. Но в отношении других живых существ прогнозы Ч. Дарвина вряд ли можно оспаривать.

Материал для естественного отбора поставляет изменчивость организмов. Эти случайные изменения либо отсекаются отбором (если они неудачны), либо дают начало новым ветвям «древа эволюции».

«Только не совсем понятно, — пишет Р. Баландин,¹ — почему в некоторых случаях (скажем, у наших предков) отклонения устойчиво идут в сторону усложнения отдельных органов и всего организма. В нашем «энтропичном» мире, казалось бы, несравненно вероятнее путь, в противоположном направлении. С увеличением числа взаимодействующих клеток стремительно, по экспоненте убывает вероятность таких изменений. К тому же по скорости размножения более простые организмы (простейшие и т. п.) несравненно превосходят «сложных» (млекопитающих), представляя в изобилии материал для отбора (число «нестандартных» особей). Тем более прогресс, казалось бы, должен затухать. А он идет с ускорением! Совершенствуются и взаимосвязи нервных клеток и сами клетки. Почему?»

Способностью приспосабливаться к внешним условиям микробы превосходят любые более сложные существа. Почему же простые, но столь надежные твари, перенесшие все превратности геологической истории и процветающие поныне, стали превращаться во все более сложные и нежные создания?»

То, что эволюция идет от форм более вероятных к формам менее вероятным, хорошо иллюстрируется на явлении, получившем наименование принципа цефализации. Так, начиная с кембрия, около 570 млн. лет идет увеличение сложности и совершенства строения нервной системы. Этот неуклонный и «невероятный» процесс в конце концов подготовил величайшее событие в истории Земли — появление человека.

Экспансия, агрессивность жизни — еще одна характерная черта эволюции. Если бы внешние условия не

¹ Баландин Р. Планета обретает разум. Минск, «Наука и техника», 1969, с. 35.

мешали размножению организмов, они за чрезвычайно короткие сроки породили бы огромные массы живого вещества. Так, некоторые бактерии за несколько суток могут дать потомство, равное по массе земному шару!

У высших организмов этот «напор жизни» слабее, но подчас проявляет себя весьма заметно. Жизнь всегда стремится занять как можно больше «места под Солнцем». Живые организмы стараются пропустить через себя и переработать возможно большее количество неживого вещества.

Экспансия жизни выражается и в биологическом состязании организмов, в этой разновидности борьбы за существование, которой у Ч. Дарвина и других эволюционистов посвящено немало красноречивых страниц.

Эволюция земной биосферы никогда не была процессом, изолированным от внешней космической среды. Наоборот, множество фактов доказывают, что космические влияния были очень существенными. В частности, немалая роль принадлежала Солнцу, точнее колебаниям его активности. Эти колебания отражались в периодических сменах климатических условий на Земле, в движениях земной коры, вызывающих смену суши и моря, а все перемены внешней среды не могли не сказаться на ходе эволюции биосферы.

Характерно, что именно к эпохам смены климатов, трансгрессий и регрессий, подчас значительных даже в глобальных масштабах, приурочены главные этапы видообразования и коренного обновления флоры и фауны планеты. Это, в частности, относится и к появлению человека во время четвертичного оледенения. Палеонтологическая летопись (разделение на эры, периоды, эпохи) основана на том, что границы временных интервалов отмечены радикальными изменениями климата, живых организмов и структуры поверхностных слоев нашей планеты.

Рождение человека

Как и все великие скачки в развитии Мироздания, рождение разума на нашей планете произошло незаметно. Во всяком случае до сих пор мы не можем точно указать момент, когда в земной биосфере возникли первые мыслящие существа. Этот момент пока что усколь-

зает от нашей пытливой мысли, как, впрочем, и те конкретные первые существа, которые уже не были животными, но лишь очень отдаленно напоминали современного человека.

Бесспорно одно: сознание появилось не беспричинно, не из «ничего», а значит, закономерно. Оно увенчало всю предшествующую эволюцию Земли, как органическую, так и неорганическую. Великий акт появления человека — не случайность, а неизбежный в земных условиях результат непрерывного совершенствования живого вещества. Все вело к появлению Мысли — высшей формы отражения объективного мира. Как известно, вся материя обладает свойством, по существу родственным с ощущением, свойством отражения.

Действительно, все предметы и явления окружающего нас мира находятся во взаимосвязи и взаимодействии. Но отражение в философском смысле слова и есть проявление этой взаимосвязи, т. е. изменение одного тела, вызванное другим. Иначе говоря, отражение — это «след» взаимодействия или взаимосвязи предметов и явлений.

След на проселочной дороге от протектора автомашины — это простейший пример механического отражения. Отклонение стрелки компаса под действием магнита — «отражение» с помощью магнитных полей. Наконец, обычное отражение предмета в зеркале — это также пример философского «отражения», поясняющий, кстати сказать, и происхождение этого термина.

Высшие формы отражения связаны с живым веществом, с жизнью. Как известно, всем живым существам присуща раздражимость — элементарная форма отражения. Она выражается в той или иной реакции живых существ на внешние раздражители (свет, колебания температуры и т. п.).

Организм, воспринимая внешние раздражения, делает окружающий мир своим достоянием — тем самым «внешнее» становится для него «внутренним». Реагируя на внешнюю среду, организм «внутреннее» снова переводит во «внешнее».

Раздражимость свойственна даже микроорганизмам. Например, пурпурные бактерии скапливаются в световом кружке, который для них выполняет роль световой ловушки. Легко вызвать раздражимость инфузо-

рий воздействием на них некоторых химических веществ. Общеизвестны и реакции растений на внешние раздражители — вспомните, например, как подсолнухи поворачивают свои головки к Солнцу.

На более высоком уровне организации раздражимость живых существ переходит в чувствительность — способность отражать отдельные свойства вещей в форме ощущений.

С зарождением нервной системы живые организмы приобретают способность восприятия — т. е. отражения целостного образа ситуации. Появляются элементы психики как функции нервной системы, с помощью которой отражение внешнего мира становится целостным и достаточно полным.

Таким образом, эволюция органического мира выражается, в частности, в совершенствовании форм отражения объективного мира. С момента появления ясно выраженной нервной системы рост и усложнение психики животных могут быть прослежены на прогрессивной эволюции нервной системы.

Сам факт такой эволюции был открыт еще до великих работ Ч. Дарвина (в 1851 г.) американским биологом Д. Дана (1813—1895 гг.). Он назвал подмеченную им прогрессивную эволюцию мозга позвоночных цефализацией, но сам воздержался от каких-либо объяснений этого факта. На «принцип Дана» не обратили внимания ни сам Дарвин, ни его ближайшие последователи. Между тем для понимания сути эволюционного процесса факт цефализации имеет огромное значение. В нем выражается предыстория сознания, его эволюционные биологические предпосылки.

«Обобщение Дана, — писал В. И. Вернадский¹, — заключается в следующем: в эволюционном процессе мы имеем в ходе геологического времени направленность. В течение всего эволюционного процесса, начиная с кембрия, т. е. в течение пятисот миллионов лет, мы видим, что от времени до времени, с большими промежутками остановок до десятков и сотен лет идет увеличение сложности и совершенства строения центральной нервной системы, т. е. центрального мозга.

¹ Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее оружия. М., «Наука», 1965, с. 187.

В хронологическом выражении геологических периодов мы непрерывно можем проследить это явление от мозга моллюсков, ракообразных и рыб до мозга человека. Нет ни одного случая, чтобы появился перерыв и чтобы существовало время, когда добытые этим процессом сложность и сила центральной нервной системы были потеряны и появлялся геологический период, геологическая система, с меньшим, чем в предыдущем прежде, совершенством центральной нервной системы».

При всей сложности психики высших животных в ней отсутствуют понятия — характерная черта сознания. Нет и самосознания, самооценки, присущей человеческому разуму. Зато сильно развито бессознательное — инстинкты, интуиция. Когда же и как из бессознательного родилось сознание, когда на Земле впервые засветилась Мысль?

В конце триасового периода мезозойской эры, т. е. примерно 200 млн. лет назад у «древа жизни» появилась новая веточка — млекопитающие. Они, как уже говорилось, отпочковались от толстого «сука» пресмыкающихся и поначалу в сравнении с ними выглядели весьма жалкими. Трудно было заподозрить в этих крысоподобных существах древних прародителей человека.

Около 70 млн. лет назад от развившегося к тому времени «сука» млекопитающих, отпочковались приматы. Из них тупайи внешне еще напоминают древнейших млекопитающих, у лемурув и других полуобезьян сходство с обезьяноподобными предками человека становится более полным.

Ни одна из ныне живущих человекообразных обезьян, как известно, не является прямым предком человека. Они и мы имеем лишь общих прародителей, живших в середине кайнозойской эры. От них произошли предки современных человекообразных обезьян и вымерших древесных обезьян — дриопитеков. Среди них, кстати сказать, встречались и гиганты, достигавшие в высоту 4 м (гигантопитеки).

Сначала в Африке, а затем и в других местах были найдены останки австралопитеков («южных обезьян») — существ, с вертикальной походкой и мозгом в 700 грамм, похожим на человеческий. Австралопитеки, хотя по ряду качеств и превосходили современных человекообразных обезьян, еще не были людьми и не обладали разумом.

Это были небольшие животные ростом около 120 сантиметров, весившие всего 20—25 килограммов.

В начале 1971 г. было опубликовано сообщение американского профессора Б. Паттерсона, исследовавшего челюстную кость существа, близкого к австралопитеку. Эту кость нашли в Кении в 1967 г. Б. Паттерсон считает, что она принадлежит предшественнику человека, обитавшему на Земле 13 млн. лет назад, тогда как австралопитеки жили всего 3 млн. лет назад.

В 1959—1960 гг. английский археолог Луис Лики нашел в Восточной Африке останки человекообразных существ, живших не менее 2 млн. лет назад. Рядом с обломками черепа, костью голени и зубами лежали примитивные орудия — гальки заостренной формы. Эти существа, судя по зубам, были преимущественно вегетарианцами. Но они умели охотиться на антилоп, крокодила и даже динотерия, не взирая на его 1,5-метровые бивни. Орудием охоты служили, по-видимому, камни и бола—связки тяжелых камней на длинных ремнях, которыми охотник опутывал ноги животного. По всем этим признакам Л. Лики и его сотрудники присвоили этим существам видовое название «человек умелый».

Судя по всему, это действительно были древнейшие люди на нашей планете. Их мозг по объему (530 и 685 кубических сантиметров) превышает мозг австралопитеков, а морфологически они совершеннее всех предшественников человека. Но главное доказательство — множество примитивных орудий труда, которые служат верным признаком первых проблесков сознания.

Причиной, заставляющей наших обезьяноподобных предков трудиться, были изменившиеся около 2,5 млн. лет назад климатические условия. Уменьшение количества лесов заставило древних обезьян опуститься с деревьев на Землю. Значит, и в этом важнейшем этапе эволюции видна роль Солнца, колебания активности которого, видимо, и породили резкое изменение климата.

Очутившись в новой, необычно суровой обстановке, наши предшественники могли противопоставить угрозам внешней среды или огромную физическую силу (гигантопитеки), или хорошо развитый мозг («умелый человек» Лики). Подчиняясь общему ходу эволюции, естественный отбор предпочел второе. Труд и порожденное им сознание в тяжкой борьбе за существование оказались победителями.

С той поры прослеживается почти непрерывная нить, ведущая от «умелого человека» («хабилиса») Лики к «человеку разумному», т. е. к нам с вами. Это прежде всего питекантроп, «обезьяночеловек», живший примерно 0,5 млн. лет назад. За ним вверх по эволюционной лестнице идут синантроп и гейдельбергский человек. Еще выше — неандертальцы, обладавшие членораздельной речью и жившие группами по 50—100 человек. Они одевались в шкуры, широко пользовались огнем, у них (судя по погребальным обрядам) возникли первые зачатки религии.

Примерно 50 000 лет назад на Земле появился кроманьонский человек, внешне почти не отличимый от наших современников. Он приручал животных, делал первые шаги в области земледелия, знал гончарное дело, умел сверлить, шлифовать. Это был «человек разумный» — существо, своими корнями уходящее в животный мир, но, судя по всему, имеющее великое будущее.

О происхождении человека написано множество книг¹, и нет необходимости подробно останавливаться здесь на этой интереснейшей теме. Подчеркнем, однако, два важных обстоятельства.

Эволюция человека подчиняется принципу Дарвина. И на ветви «дерева эволюции» прогресс выражается в прогрессивном развитии центральной нервной системы, что, в частности, сказывается в непрерывном росте объема головного мозга. У австралопитека он близок к 500 кубическим сантиметрам, у питекантропа — до 900, у синантропа — около 1200, у неандертальца — до 1400, у кроманьонца — примерно 1600 кубических сантиметров. Продолжающаяся и здесь «цефализация» очевидна.

Не менее важное обстоятельство — постоянное ускорение эволюционного процесса. От появления первых млекопитающих до ответвления от них приматов прошло примерно 200 млн. лет. Спустя еще около 20 млн. лет появились австралопитеки. От них до первых питекантропов истекло около 1,5 млн. лет. Переход от питекантропа к неандертальцу занял всего несколько сотен тысяч лет. Прошло еще 200 000 лет и на Земле появился «человек разумный».

¹ См., например, «Происхождение человека», М. Ф. Нестурха (М., «Наука», 1970).

Надо заметить, что нарисованная выше схема появления человека, хотя и признается большинством антропологов, все же не является общепринятой. Так, известный советский ученый Б. Ф. Поршнева защищал, и не без успеха, необычную точку зрения, что человек появился на Земле всего лишь 20—30 тыс. лет назад. Что же касается неандертальцев, синантропов, «хабилисов» Лики и других существ, то, по мнению Б. Ф. Поршнева, это были лишенные разума животные, заполнившие пробел между обезьянами и человеком¹.

Как бы там ни было, бесспорно одно — появление человека было не просто появление нового вида. Произошел великий качественный скачок в истории Земли. Возник не просто человек, а человеческое общество, подчиняющееся не только биологическим законам. Началась человеческая история, объясняемая своими особыми социальными законами.

В прошлом Земли роль человека была ничтожна. Иное значение он имеет сегодня и будет иметь завтра.

Человечество как геологическая сила

В 1957 г. была опубликована монография А. П. Быстрова «Прошлое, настоящее, будущее человека». В ней, в частности, рассматривается проблема дальнейшей эволюции человека как биологического вида. По мнению ряда анатомов, человек продолжает, хотя и очень медленно, изменяться. Благодаря прогрессирующей цефализации объем и масса мозга непрерывно увеличиваются, а вместимость мозга — череп, постепенно округляется. Отмирают зубы и мизинцы на ногах, сжимается лицевая часть черепа, укорачивается позвоночник. Учитывая все эти тенденции, некоторые анатомы полагают, что через десятки миллионов лет человек превратится в трехпалого уродливого карлика с неимомерно развитым шарообразным черепом.

Сейчас обо всем этом можно вспоминать лишь, как о курьезе. Да и сам А. П. Быстров подчеркивает, что у человека при отсутствии борьбы за существование и

¹ Подробнее см. в книге Б. Ф. Поршнева «О начале человеческой истории» (М., «Наука», 1974).

естественного отбора никакая эволюция невозможна и поэтому все попытки анатомов выяснить направление эволюционного развития современного человека и предсказать особенности строения будущих людей совершенно ненаучны.

Трудно, однако, согласиться с утверждением, что для человека «никакая эволюция невозможна». Труд, очеловечивший обезьяну, стал важнейшим фактором, определяющим развитие, эволюцию человеческого общества. Ведь, кроме членораздельной речи и способности к абстрактному мышлению, человека отличает от животных производство орудий труда, т. е. техники в самом общем смысле этого слова.

«Развитие человека, человеческого общества связано с совершенствованием его искусственных органов — орудий, средств труда... Человек развивается как социальное существо без коренного изменения своей биологической природы... Именно потому, что развитие человека выражается прежде всего в изменении его социальных органов — средств труда, оно не имеет естественных границ»¹.

С этой точки зрения следует пересмотреть и пессимистические прогнозы о неизбежности гибели человеческого рода. Уже тот факт, что с помощью техники человечество на наших глазах вышло за пределы своей планеты, рождает уверенность в великом космическом будущем человечества. И эта уверенность покоится на прочных основах.

С появлением человека эволюция в растительном и животном мире, разумеется, не прекратилась. Но отныне не она задает тон в истории Земли. Развитие производительных сил стало движущей силой прогресса человеческого общества, а техническое могущество современного человечества настолько велико, что оно, человечество, уже сегодня (не говоря о будущем) превратилось в мощную геологическую силу. Благодаря технике деятельность человека приобрела планетарный размах, и будущее всей Земли, а не только ее органического мира, зависит от дальнейшего хода человеческой истории.

¹ Основы марксистско-ленинской философии. М., Политиздат, 1973, с. 240.

Сегодня нет ни одного континента, где бы не жил и не трудился человек. Даже в Антарктиде, на суровейшем из материков, работают постоянные научные станции — первый признак начавшегося на наших глазах заселения Антарктиды. Морские и океанские просторы бороздят бесчисленные суда, в атмосфере летают самолеты, вертолеты, ракеты. Человек стал на Земле почти вседушим. А там, где есть человек, присутствует и техника.

Человек заметно изменил облик своей планеты. Он покрыл ее поверхность городами и другими поселениями, густой сетью железных и шоссейных дорог, прорыл каналы, создал искусственные водохранилища и зеленые насаждения, засеял поля. Короче говоря, возникли небывалые прежде искусственные ландшафты. И хотя в глобальном масштабе облик Земли пока почти не изменился, это только «пока». Все говорит о том, что человек способен радикально преобразовать свою планету¹.

Для космонавта, рассматривающего с Луны в мощный телескоп земную поверхность, крупные города и промышленные центры показались бы чем-то вроде скоплений гигантских кристаллов, вуалируемых искусственной дымкой. Обратили бы на себя внимание искусственность форм и очертаний некоторых каналов, водохранилищ, зеленых насаждений. Что касается железных и шоссейных дорог, то с Луны они вряд ли различимы (при современных оптических средствах). Так что в целом наша планета имеет пока вполне естественный вид, что и подтверждают летавшие вблизи Земли космонавты. Но это — взгляд с «птичьего полета». С нашей же «наземной» точки зрения уже сегодня техническая деятельность человека приобрела поистине планетарные масштабы. Несколько примеров должны подтвердить этот тезис.

По данным акад. А. Е. Ферсмана, за последние пять столетий человечество извлекло из Земли не менее 50 млрд. тонн углерода, 2 млрд. тонн железа, 20 млн. тонн меди, 20 тыс. тонн золота. Тем самым началась искусственная миграция химических элементов, этот «вихрь», создаваемый жизнью и становящийся все сильнее и сильнее.

¹ Подробнее см. в книге А. В. Сидоренко «Человек. Техника. Земля» (М., «Недра», 1967).

Лишь за последние 100 лет промышленные предприятия выбросили в атмосферу около 360 млрд. тонн углекислого газа. Ныне ежегодно сжигается 2,5 млрд. тонн каменного угля, 1,5 млрд. тонн нефти (наряду с другими горючими материалами). Это означает, что каждый год в земную атмосферу добавляется 8—10 млрд. тонн углекислоты.

Загрязняет воздух не только углекислый газ, но и производственная пыль, хорошо знакомая каждому жителю крупного города. Так, на территорию Великобритании ежегодно осаждается 4,5 млрд. тонн пыли, а в Нью-Йорке на каждую квадратную милю ежемесячно выпадает 112 тонн сажи.

На Земле создано более 1000 искусственных водоемов, общей площадью около 500 000 квадратных километров, что составляет $\frac{1}{5}$ общей площади естественных озер. Тем не менее проблема получения пресной воды для питья и промышленных целей продолжает оставаться очень острой.

Человек создал новые горные породы. Таковы, например, промышленные шлаки, которые накапливаются в 10 раз быстрее, чем осаждаются во всех океанах известковые илы. Другая искусственная порода — цемент — ежегодно вырабатывается в количестве 250 млн. тонн. Появились и новые химические элементы, огромное множество новых минералов (силикатных, керамических). Человек создает искусственные алмазы, кварц, слюду. Синтетика заполняет не только рынок. Она стала постоянным, растущим в процентном отношении продуктом техники.

И еще один пример. Благодаря развитию телевидения и радиосвязи Земля превратилась во второе (после Солнца) «радиосветило» Солнечной системы. Антенны бесчисленных передатчиков часть радиоволн излучают в космос, и это создает планетарный эффект, в миллионы раз превышающий естественное радиоизлучение Венеры или Меркурия.

«Конец второго тысячелетия, — пишет чл. -корр. АН СССР В. А. Ковда¹, — завершается глобальным воздействием человечества на структуру и функции биосферы. Развеем миф о бесконечности и неисчерпаемости ресур-

¹ Биосфера и ее ресурсы. М., «Наука», 1971, с. 5.

сов биосферы — водных, биологических, минеральных и др. На любом участке суши или водоема можно встретить «следы человечества». Нарушений «равновесий» в природе так много, что люди все чаще задумываются над проблемой «человек и биосфера». Мощная и разветвленная индустрия, поглощая и перерабатывая много сырья, все сильнее загрязняет планету, размеры которой конечны. Значение обратных связей возрастает, человечество уже испытывает на себе «ответный удар» загрязненной им биосферы... Число проблем общечеловеческого и планетарного значения резко нарастает, а многие «победы» человека над природой нуждаются в пересмотре.

Такой пересмотр должен начаться, очевидно, с теоретического осмысления происходящего. Надо прежде всего понять, по каким законам взаимодействуют человек и природа, а познав эти законы, использовать их на благо человека.

Представьте себе теперь необычный фильм, на котором заснята история нашей планеты. Пусть продолжительность этой, во многом пока еще «темной» истории равна продолжительности обычного фильма — 1 час 20 минут. При таком «сокращении времен» секунда фильма равнозначна миллиону лет жизни Земли. Что мы увидим на экране?

Первые несколько минут из частиц протопланетного облака (а может быть, как-нибудь иначе?) постепенно возникает молодая, только что родившаяся Земля. Она совсем непохожа на современный земной шар, и последующие 40 минут фильма (архейская эра!) уйдут на возникновение первичных материков и океанов, а также на формирование атмосферы.

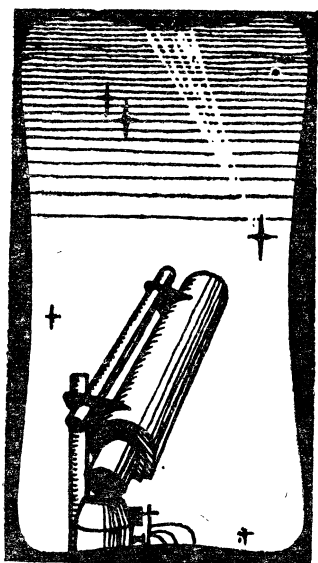
Жизнь появится уже в первые полчаса фильма, но она вряд ли обратит на себя внимание зрителя, так как до конца архея ее формы примитивны (бактерии и другие простейшие организмы) и масштабы не глобальны. Зато во второй половине протерозоя, которая займет внимание зрителя в течение примерно 17 минут, растительность проникнет на побережья древних морей и океанов, а на суше появятся все типы многоклеточных, за исключением позвоночных.

Весь фанерозой (т. е. палеозойская, мезозойская и кайнозойская эры) составит финал фильма. Он про-

мелькнет перед зрителем за 10 минут, но за это время жизнь взрывообразно заполнит все внешние оболочки Земли и даст свой высший цвет — человечество.

Именно в этом эпилоге внешний облик Земли постепенно примет современные очертания. Меняясь в размерах и очертаниях, раскалываясь и дробясь, плавая по астеносфере, материка, наконец, станут похожими на то, что изображено на глобусах.

В этом стремительном калейдоскопе времен легко упустить появление человека и его недолгую историю — ведь она займет всего 2 секунды! И уже совсем незаметной молниеносно промелькнет за $1/200$ долю секунды вся история земной цивилизации. Но как раз последние мгновенья фильма — самые важные в истории Земли. На Земле появился Разум, способный не только познать, но и переделать окружающую его природу. Земная цивилизация уже вышла на просторы космоса. Она осмысливает ныне свое положение и свою роль в Мироздании. Однако для переделки Земли и освоения космоса человеку нужны вещество и энергия. Их даст Земля, ее недра.



Происхождение Земли, на которой мы живем и работаем,— один из тех вопросов, которые не могут не интересовать людей. Это один из коренных вопросов научного мировоззрения. Выяснение происхождения Земли необходимо для научного понимания всей ее дальнейшей истории и эволюции.

О. Ю. ШМИДТ

Солнечная система

Земля — не изолированное космическое тело. Она входит в состав Солнечной системы, которую образуют Солнце и обращающиеся вокруг него космические тела. Понять происхождение нашей планеты невозможно, если не учитывать физические и механические свойства Солнечной системы. Возможно, что и этого недостаточно, и процесс возникновения Земли может быть вполне осмыслен лишь в тесной связи с эволюцией звезд, звездных систем и даже всей наблюдаемой нами части Вселенной. Как бы там ни было, знакомство с современной Солнечной системой есть первый и неизбежный шаг в познании ее происхождения.

Известными в наше время членами Солнечной системы

**ОТКУДА
ВЗЯЛАСЬ
ЗЕМЛЯ!**

являются: девять больших планет, спутники планет (их известно теперь 34) множество малых планет (известно свыше 1600), бесчисленные кометы, метеориты и метеорные тела, а также мельчайшие частицы твердого вещества и весьма разреженные газы, находящиеся в межпланетном пространстве.

Все большие планеты движутся вокруг Солнца почти

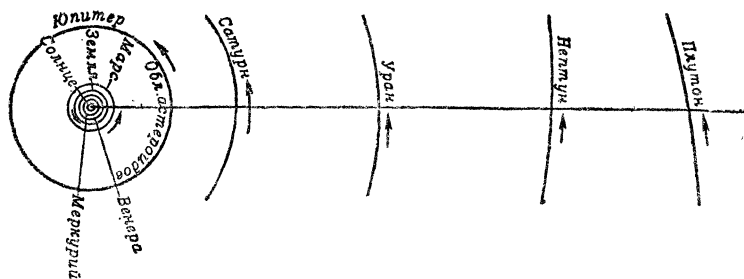


Рис. 25.

Орбиты больших планет

в одной плоскости и в одном направлении (рис. 25). Надо, правда, заметить, что плоскость орбиты Плутона наклонена к плоскости земной орбиты под значительным углом (17°). В порядке удаленности от Солнца за ближайшей к Солнцу планетой Меркурием следует Венера, затем Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон.

Меркурий, Венера, Земля и Марс сравнительно недалеко от Солнца и невелики по размерам. Они образуют группу планет земного типа. Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун огромны (Юпитер, например, больше Земли по объему в 1300 раз) и поэтому носят название планет-гигантов. Что касается плохо изученного Плутона, то возможно, что он принадлежит к планетам земного типа.

Планеты находятся на разных расстояниях от Солнца, поэтому продолжительности их «года» и скорости орбитального движения неодинаковы. Неодинакова и продолжительность суток на планетах, различны диаметры планет, их массы и плотность, а следовательно, физическое состояние планет, в том числе состав и плот-

ность планетных атмосфер, строение их поверхностей и недр.

Наше предварительное знакомство с планетами будет кратким.

Меркурий — наименьшая из девяти главных планет. Поперечник Меркурия составляет 0,38 диаметра Земли, а по массе эта планета почти в 17 раз уступает земному шару. Недавно вокруг Меркурия обнаружена очень разреженная атмосфера (давление у поверхности 10^{-6} миллибар), состоящая, по-видимому, в основном из аргона и водорода.

Период обращения Меркурия вокруг Солнца равен 88 суткам, а вокруг оси — 58 суткам. Близость Меркурия к Солнцу и разреженность его атмосферы создают резкие температурные контрасты. На стороне Меркурия, обращенной к Солнцу, температура, $+510^{\circ}\text{C}$, т. е. выше той, при которой плавится свинец. Наоборот, на ночной половине Меркурия господствует жестокий холод (-185°C).

Венера по размерам и массе близка к Земле. Венеру окружает плотная атмосфера из углекислого газа (97%) с примесью азота (2%), кислорода, водяных паров и других газов. Постоянный облачный покров Венеры полностью скрывает от земных наблюдателей поверхность планеты. Природа облаков Венеры пока неясна. Возможно, что они состоят из ледяных кристаллов или (недавно высказана и такая гипотеза) из капелек серной кислоты.

Продолжительность суток на Венере близка к 24 земным суткам, причем вращается Венера в сторону, противоположную вращению остальных планет. На поверхности Венеры температура близка к $+500^{\circ}\text{C}$, а давление около 100 атмосфер.

У Венеры, как и у Меркурия, спутники не обнаружены.

Марс меньше Земли в поперечнике в два раза и по массе почти в 10 раз. Как и Земля, Марс вращается вокруг своей оси, причем продолжительность марсовых и земных суток почти одинакова. На Марсе, ось вращения которого наклонена к плоскости орбиты под углом 65° (у Земли $-66^{\circ} \frac{1}{2}$), как и на Земле, периодически сменяются времена года. Смена времен года сопровождается заметными изменениями поверхности планеты.

У полюсов Марса наблюдаются белые пятна, называемые «полярными шапками». Подобно снеговому покрову на земной поверхности они уменьшаются летом в данном полушарии Марса и увеличиваются зимой. Установлено, что «полярные шапки» Марса состоят из льда, инея и, по-видимому, частично из замерзшей углекислоты.

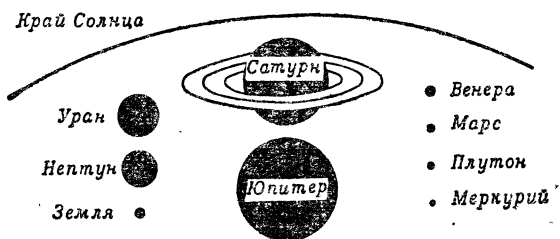


Рис. 26.

Сравнительные размеры Солнца и планет

Марс окутан весьма разреженной атмосферой, в которой содержится до 60% углекислого газа и 35% аргона с примесью водяных паров, кислорода и, возможно, других газов. Облака в марсианской атмосфере состоят, скорее всего, из ледяных кристалликов. Часто наблюдаются беловатые туманы и желтоватые пылевые бури.

Марс имеет два крошечных спутника неправильной осколочной формы — Фобос и Деймос. Наибольший поперечник Фобоса 25 километров, Деймоса — 13 километров. Каждые 15—17 лет Марс наиболее близко подходит к Земле (на расстояние около 55 млн. километров), и в периоды таких «великих противостояний» его изучать особенно удобно. Ближайшее «великое противостояние» Марса наступит в 1986 г., тогда как обычные, «рядовые» противостояния повторяются через каждые два года.

Юпитер и Сатурн — самые большие планеты Солнечной системы (рис. 26). На долю этих двух планет приходится 92% массы всех планет, вместе взятых. Состоят они, судя по теоретическим расчетам, как и Уран и Нептун, в основном (до 70% по массе) из водорода и его соединений с углеродом (метан) и азотом (амми-

ак), а также гелия (по последним данным, атмосфера Юпитера состоит на 27% из гелия). По своей природе планеты-гиганты, пожалуй, больше напоминают звезды, чем планеты земного типа.

В атмосферах планет-гигантов при господствующих там низких температурах метан и аммиак образуют огромные плотные облачные слои, наблюдаемые в виде полос. Благодаря быстрому вращению вокруг своих осей (сутки там имеют продолжительность от 10 до 16 часов) планеты-гиганты имеют значительное полярное сжатие.

Планета Сатурн окружена тонким кольцом, внутренний край которого, возможно, соприкасается с атмосферой. При толщине кольца около 15—20 километров его ширина близка к 50 000 километров. В разные годы в зависимости от взаимного расположения Земли и Сатурна вид его кольца меняется. В те годы, когда кольцо Сатурна обращено к Земле своим ребром, его можно наблюдать только в самые мощные телескопы. Кольцо Сатурна состоит из множества покрытых льдом твердых, частиц, каждая из которых обращается вокруг Сатурна вполне самостоятельно. В кольце Сатурна есть темные промежутки — «щели», разделяющие его на несколько концентрических колец.

Все планеты-гиганты имеют спутников. У Юпитера известно 12 спутников, у Сатурна — 10, у Урана — 5, у Нептуна — 2. Некоторые из этих лун по своим размерам сравнимы с нашей Луной или даже несколько превосходят ее по своим размерам.

Наиболее крупные из спутников планет (Ганимед, Ио, Титан и другие) имеют вокруг себя разреженные атмосферы. Меньшие спутники (равные или уступающие Луне по размерам и массе) лишены их.

Системы спутников планет-гигантов похожи на Солнечную систему в миниатюре. Особенно большое сходство, как показали расчеты советского астронома С. С. Гамбурга, имеет система спутников Юпитера, которая геометрически подобна Солнечной системе. Происхождение систем спутников, вообще говоря, подобно происхождению планетных систем, хотя некоторые спутники, возможно, когда-то представляли собой самостоятельные тела и были лишь позже «пойманы» тяготением планет при близком к ним прохождении.

Плутон по массе и размерам почти втрое уступает Земле, а сутки на Плутоне в 6,25 раз продолжительнее земных. Температура на поверхности этой далекой планеты так низка (ниже -220°C), что большинство газов при этом должно перейти в твердое или жидкое состояние, поэтому вряд ли Плутон окружен атмосферой.

Иногда на небосводе появляются странные светила. Внешне они похожи на туманную, расплывчатую звезду, от которой отходит один или несколько слабосветящихся прозрачных «хвостов». Еще в древности эти светила получили наименование комет. В переводе с древнегреческого слово «комета» означает «косматая звезда».

Большие и яркие кометы, обращающие на себя внимание всякого, кто взглянет на звездное небо, сравнительно редки. В среднем их удастся наблюдать, как показывает статистика, один раз в десятилетие. Что же касается слабых по яркости и небольших по видимым размерам комет, то их очень много. Не проходит года, чтобы астрономы не открыли на небе несколько таких «телескопических» комет.

По-видимому, все кометы являются членами Солнечной системы. Подобно планетам, они обращаются вокруг Солнца. Однако в отличие от орбит планет орбиты комет представляют собой чаще всего очень сильно вытянутые эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце. В связи с этим расстояние комет от Солнца изменяется в весьма широких пределах. Перигелий¹ орбит некоторых комет находится очень близко от поверхности Солнца, тогда как их афелии — за пределами орбиты Нептуна.

Когда комета пролетает вдалеке от Солнца, ее можно наблюдать только в телескоп. В этот период комета выглядит крошечным размазанным туманным пятнышком, в центре которого заметно звездообразное сгущение, называемое видимым ядром. С приближением кометы к Солнцу ее яркость и видимые размеры непрерывно растут. Из туманной оболочки кометного ядра, называемой головой кометы, иногда вытягивается слабо светящийся туманный хвост.

¹ Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты, афелий — самая далекая от Солнца точка орбиты.

Если комета близко подходит к Солнцу, у нее иногда образуется несколько хвостов, достигающих огромной длины. В такой период при удачных условиях наблюдения с Земли комета представляет собой величественное зрелище. Она медленно ото дня ко дню перемещается на фоне созвездий, при этом постепенно меняются форма, размеры и яркость ее хвостов.

Орбиты комет весьма разнообразны. Некоторые из комет, например комета Энке, имеют орбиту, целиком охватываемую орбитой Юпитера. Другие, например комета Галлея, движутся по орбитам, афелии которых расположены дальше орбиты Нептуна и даже Плутона. В связи с этим периоды обращения комет вокруг Солнца также весьма различны — от нескольких лет до многих веков и даже тысячелетий.

Размеры комет грандиозны. Головы некоторых из них больше Солнца, а хвосты тянутся на сотни миллионов километров! Однако при таких невообразимо больших размерах масса кометы очень мала и составляет в среднем ничтожные доли массы Земли.

Главная часть вещества комет сосредоточена в ее твердых ядрах. Последние, по-видимому, представляют собой ледяные глыбы из замерзших газов, включающие в виде примесей многочисленные твердые тугоплавкие частицы. Поперечники ядер комет не превышают, как правило, нескольких километров.

При сближении кометного ядра с Солнцем входящие в его состав замерзшие газы испаряются (или точнее возгоняются), образуя обширную газовую головку кометы и ее газовые хвосты. В некоторых случаях из ядра кометы может выделяться мелкая твердая космическая пыль, из которой формируются пылевые хвосты кометы.

Еще в древности было замечено, что основные хвосты комет всегда направлены в сторону, противоположную Солнцу. Иначе говоря, на частицы, образующие кометные хвосты, кроме солнечного притяжения, действует какая-то отталкивающая сила, исходящая от Солнца.

Используя эти факты, знаменитый русский исследователь комет Ф. А. Бредихин (1831—1904 гг.) впервые создал стройную теорию, хорошо объясняющую основные кометные явления. Он доказал, что хвосты комет

можно разделить на три основных типа (рис. 27). К хвостам I типа Ф. А. Бредихин отнес прямолинейные хвосты, тянущиеся прямо в сторону, противоположную Солнцу. На частицы таких хвостов, как доказал этот исследователь, действуют отталкивательные силы Солнца, в десятки раз и более превосходящие его притяжение. Хвосты II типа — широкие, изогнутые, наподобие

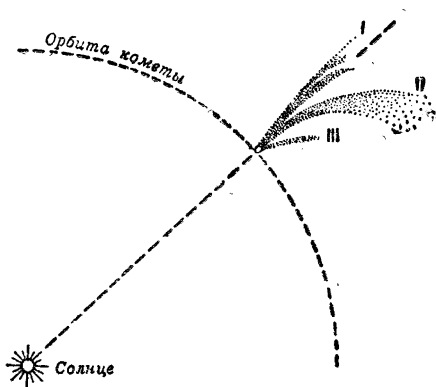


Рис. 27.

Типы хвостов комет по Ф. А. Бредихину

сабли, в сторону, обратную движению кометы. По теории Бредихина, они состоят из частиц, для которых отталкивательная сила Солнца сравнима с силой его притяжения. Наконец, хвосты III типа, короткие, прямолинейные, сильно отклоненные в сторону, обратную движению кометы, состоят из частиц, на которые отталкивательная сила Солнца почти вовсе не действует.

Для пылевых кометных хвостов роль отталкивательной силы выполняет световое давление солнечных лучей. Для газовых хвостов I типа такое объяснение не годится. Огромные ускорения молекул, их составляющих, вызваны взаимодействием магнитного поля «солнечного ветра» (т. е. потоков протонов, электронов и других частиц, выброшенных Солнцем) с кометной плазмой.

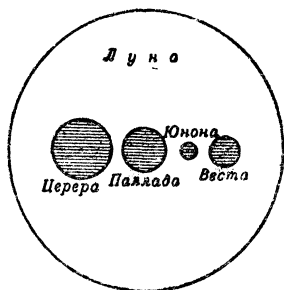
Хвосты I типа имеют газовую природу и включают главным образом ионизированные молекулы азота и угарного газа. Хвосты III типа состоят из мелкой твердой пыли, а хвосты II типа, по-видимому, имеют смешанный состав (нейтральные газовые молекулы и пыль).

Газообразные головы комет состоят в основном из циана и углерода.

В начале XIX века астрономы открыли несколько малых планет, обращающихся вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. Четирем, самым крупным из них, были присвоены имена древнегреческих богинь — Цереры, Юноны, Паллады и Весты (рис. 28). Все они недоступны невооруженному глазу, а при наблюдениях в телескоп выглядят неяркими звездочками, перемеща-

Рис. 28.

Сравнительные размеры крупнейших астероидов и Луны



ющимися на фоне настоящих звезд. По этой причине малые планеты были названы астероидами, т. е. звездopodobными.

В настоящее время открыто и изучено движение свыше 1800 астероидов. Самый крупный из них — астероид Церера — имеет поперечник около 800 километров. Большинство астероидов гораздо меньше. Их диаметры измеряются десятками и даже единицами километров. Известны астероиды, поперечники которых близки к 1 километру. Подобных и даже более мелких еще не открытых астероидов, по-видимому, очень много.

Малые планеты имеют чаще всего неправильную, осколочную форму. Масса астероидов так мала, что даже самые крупные из них лишены атмосфер. Как и крупные планеты, астероиды не имеют собственного света, а лишь отражают падающие на них солнечные лучи.

В феврале 1947 г. на Дальнем Востоке в районе хребта Сихотэ-Алинь произошло падение крупного метеорита массой в десятки тонн. Когда определили его орбиту, оказалось, что он «пришел» к Земле из пояса астероидов. Аналогичную орбиту имел и Пшибрамский метеорит, упавший в апреле 1959 г. в Чехословакии.

В настоящее время не вызывает сомнений, что подавляющее большинство метеоритов (если не все) и

астероиды — тела одной природы. Мы называем метеоритами те из астероидов, которые, обладая сильно вытянутыми эллиптическими орбитами, сталкиваются с Землей и попадают на земную поверхность.

Врезавшись с огромной скоростью в земную атмосферу, метеорит испытывает сильное сопротивление воздуха. Впереди него образуется сгущение из раскаленного и ярко светящегося воздуха (так называемая воздушная подушка). Сам метеорит оплавляется, разрушается и лишь при значительной прочности не распадается на множество осколков. Полет метеорита в атмосфере сопровождается световыми и звуковыми явлениями, называемыми болидом. Ослепительно яркое тело, оставляя за собой огненный след и облака дыма, с грохотом проносится по небу.

Упавшие на Землю метеориты представляют огромную ценность для науки. До последнего времени это были единственные небесные тела, которые удавалось исследовать непосредственно в лабораториях. Метеориты считаются государственной принадлежностью, где бы и кем бы они ни были найдены.

По составу метеориты делятся на три основные группы: железные, каменные и железокаменные. В железных метеоритах преобладает железо с примесью никеля (до 30%). В отличие от обычного земного железа метеоритное железо легко куется в холодном состоянии и обладает особой кристаллической структурой. Внешне железные метеориты напоминают осколки снарядов или бомб.

Каменные метеориты состоят в основном из силикатов — в них преобладают кремний и кислород. Внешне каменные метеориты похожи на темные земные камни. Железокаменные метеориты имеют смешанный состав: примерно 50% никелистого железа и 50% силикатов.

Среди каменных метеоритов следует особо выделить углистые хондриты, богатые органическими веществами (типа битумов). Они очень хрупки, плохо сохраняются и ценятся как величайшая редкость: во всем мире собрано всего лишь около двух десятков углистых хондритов. В метеоритах не найдено каких-либо веществ, неизвестных на Земле, но в них есть некоторые, характерные лишь для них минералы.

Особую разновидность метеоритов составляют ледяные метеориты, один из которых упал в мае 1970 г. в городе Яготине Киевской области на Украине. При падении ледяная глыба раздробилась на зеленоватые осколки общей массой около 15 килограмм. Они были собраны в банки и в растаявшем виде издавали запах аммиака, метана и сероводорода.

Падения крупных глыб льда (иногда поперечником в несколько метров) неоднократно наблюдались в ясную погоду. По-видимому, в этих случаях Земля сталкивалась с ядрами микрокомет, а не с микроастероидами.

Масса метеоритов, хранящихся в музеях, весьма различна — от нескольких граммов до десятков тонн.

Очень редко, в среднем один раз в тысячу лет, в земную атмосферу влетают исполинские метеориты массой в тысячи и десятки тысяч тонн. Воздушная оболочка Земли не в состоянии затормозить полет тела, и, не потеряв космической скорости (иногда в несколько десятков километров в секунду), исполинский метеорит врежется в земную поверхность. При этом ударе мгновенно разрушается кристаллическая решетка метеорита, и высвобожденные молекулы, подобно молекулам сильно сжатого газа, стремятся разлететься в разные стороны. В результате происходит взрыв, по мощности не уступающий взрыву сильнейших взрывчатых веществ в количестве, равном (или даже большем) массе метеорита. При этом взрыве как сам метеорит, так и окружающие его земные породы обращаются в раскаленный газ. Вот почему при падении исполинских метеоритов образуются огромные воронки, называемые взрывными метеоритными кратерами.

В тех же случаях, когда метеорит невелик и почти полностью затормаживается атмосферой примерно на высоте 20—25 километров, он с этой высоты падает на Землю, как свободно падающее тело, и при падении образует небольшие воронки, называемые ударными метеоритными кратерами. На дне таких кратеров всегда находят осколки метеорита. Когда образуется взрывной метеоритный кратер, почти вся масса метеорита обращается в газ и поиски метеоритного вещества могут оказаться безрезультатными.

Долгое время Аризонский взрывной метеоритный кратер (поперечник—1,2 километра, глубина — 175 мет-

ров) считался крупнейшим. Сейчас в Северной Америке и других районах земного шара известны метеоритные кратеры поперечником в десятки и даже сотни километров.

В 1970 г. советские исследователи установили, что огромная Попигайская котловина в северо-восточной части Сибири вблизи Ледовитого океана представляет собой метеоритный кратер поперечником около 100 километров. Образовался он примерно 30 млн. лет назад. Такие кратеры должны были возникнуть при ударе о Землю тел астероидного типа с поперечником 1 километр и более. Несомненно, что многие древние метеоритные кратеры разрушены в результате эрозии, что затрудняет их поиски.

Мелкие твердые космические частицы, порождающие при столкновении с Землей в ее атмосфере явление метеоритов или «падающих звезд», называются метеорными телами. Их масса составляет доли грамма, и они полностью разрушаются в воздухе на высоте порядка 100 километров. Судя по спектру метеоров, метеорные тела по составу напоминают как метеориты, так и «ледяные» ядра комет.

Современная наука с интересом исследует метеоры, так как движение их следов позволяет изучать воздушные движения в стратосфере, а спектры метеоров — состав и плотность воздуха на больших высотах. Все эти данные весьма ценны для теории полетов в верхних слоях земной атмосферы.

Некоторые метеорные тела приходят к нам из пояса астероидов, другие образуются при распаде комет. Так, в 1846 г. комета, открытая чешским астрономом Биелой, разделилась на две части, движущиеся в пространстве по параллельным орбитам. В одно из следующих возвращений кометы Биелы к Солнцу, в ноябре 1872 г., вместо нее на небе наблюдалось множество метеоров, образовавших настоящий «звездный дождь». Очевидно, рой мельчайших метеорных тел, породивших это красивое небесное явление, образовали частицы распавшегося кометного ядра.

Астрономам известно множество метеорных потоков. Так они называют скопления метеорных тел, обращающихся вокруг Солнца по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Вычислено, что орбиты многих

метеорных потоков сходны с орбитами известных комет. Следовательно, распадаясь, кометы оставляют за собой «шлейф» из множества частиц, которые располагаются вдоль всей ее орбиты.

После окончательного распада кометы вещество ее ядра постепенно распределяется вдоль орбиты, образуя нечто вроде исполинского «бублика». Постепенно и он распадается на множество отдельных «спорадических» метеорных тел, самостоятельно странствующих по Солнечной системе.

Межпланетное пространство заполнено великим множеством мельчайших твердых пылинок, образующих так называемое Зодиакальное Облако. Это продукты дробления крупных тел Солнечной системы. Если поперечник пылинки меньше 10^{-5} сантиметра, она «выдувается» давлением солнечных лучей в межзвездное пространство. При больших размерах ее полет тормозится солнечными лучами, и, двигаясь по скручивающейся спирали, она в конце концов падает на Солнце.

Кроме этой пылевой «завесы», Солнечная система окутана тончайшей вуалью из разреженных межпланетных газов.

В настоящее время все в Солнечной системе постепенно разрушается. Непрерывно теряет вещество и энергию Солнце. Медленно улетучиваются атмосферы планет. Дробятся при взаимных столкновениях астероиды, а метеориты, врезаясь в поверхности планет и спутников, частично разрушают их. В этой картине естественных космических процессов нет ничего создающего.

Но так не могло быть всегда. Ведь когда-то Солнечная система, включая нашу планету, начала свое существование. Это событие скрыто в глубине времен, и мы знаем о нем очень мало. Во всяком случае окончательно проблема происхождения Земли пока не решена, поэтому мы предлагаем читателю два гипотетических варианта земной биографии.

«Холодный» вариант земной биографии

Известный немецкий философ Иммануил Кант (XVIII век) считается создателем первой научной гипотезы о происхождении Солнечной системы. По мнению

И. Канта, Солнечная система возникла из огромного облака мелких твердых холодных частиц, взаимно притягивающих друг друга. В этом хаотическом облаке, как считал Кант, должны были рано или поздно образоваться отдельные сгущения, постепенно уплотняющиеся за счет новых, падающих на них частиц. Самое большое из сгущений стало Солнцем, а меньшие — планетами.

Гипотеза Канта с современной точки зрения выглядит весьма наивной. Она не могла объяснить различные особенности Солнечной системы, поэтому не получила широкого распространения, хотя ее основная идея — конденсация планет из холодного распыленного вещества — используется и в современной космогонии — разделе естествознания, изучающем происхождение и развитие космических тел.

Гипотезу Канта сменила выдвинутая известным французским ученым Лапласом (XVIII век) новая, гораздо более обоснованная гипотеза. Лаплас предполагал, что Солнце и планеты образовались из огромной раскаленной вращающейся газовой туманности. Под влиянием холода окружающего ее мирового пространства туманность сжималась, при сжатии угловая скорость ее вращения увеличивалась, а сама туманность постепенно сплющивалась. Благодаря большой скорости вращения туманности от нее вдоль ее экватора одна за другой начали отделяться газовые кольца, которые затем сгустились в планеты. Что же касается центрального сгустка туманности, то он постепенно превратился в Солнце.

Гипотеза Лапласа просуществовала около полутора веков. Как и гипотеза Канта, она сыграла большую положительную роль в естествознании, так как на ее примере была доказана возможность объяснять происхождение небесных тел без помощи сверхъестественных сил.

В начале XX века гипотеза Лапласа была подвергнута справедливой критике, которая показала ее несостоятельность с точки зрения науки нашего века. В частности, было доказано, что от вращающейся газовой туманности газ будет отделяться непрерывно, а не в виде колец, и если бы даже отделились газовые кольца, то они рассеялись бы в пространстве, а не сгустились в планеты.

После крушения гипотезы Лапласа ряд зарубежных ученых пытались выдвинуть разнообразные гипотезы о

происхождении Земли и планет. Однако все эти гипотезы очень быстро вступали в противоречие с фактами и отвергались как несостоятельные. Только в последнее время, начиная с 1943 г., советским ученым удалось внести некоторую ясность в этот очень сложный вопрос. Трудность космогонических проблем обусловлена колоссальной продолжительностью жизни небесных тел, т. е. их пребыванием в характерном для них состоянии. Так, возраст Земли, близок к 5 млрд. лет.

Исследование ископаемых растений показало, что излучение Солнца за сотни миллионов лет практически не изменилось. Это значит, что возраст Солнца намного превосходит возраст Земли. Так как Солнце еще весьма далеко от погасания и его самосвечение будет продолжаться еще по крайней мере миллиарды лет, продолжительность жизни Солнца и многих звезд должна измеряться многими миллиардами лет.

По сравнению со всеми этими сроками продолжительность жизни не только отдельного человека, но и всего человечества в целом кажется мигмом. Телескоп был изобретен всего лишь три с половиной века назад, а ведь только с помощью телескопов стало возможным изучение физической природы небесных тел. Эволюционные изменения небесных тел, несомненно, происходят, но во многих случаях так медленно, что непосредственно заметить их мы не в состоянии.

В этом основная трудность космогонических проблем. Есть, однако, и другие затруднения. В частности, планетная система известна нам лишь в единственном экземпляре. Планетные системы других звезд пока недоступны непосредственному наблюдению. Следовательно, сравнить между собой несколько планетных систем, находящихся на разных стадиях развития, и сделать вывод о их происхождении современная космогония не может.

Несмотря на все эти трудности, научная космогония прогрессивно развивается. Как и всякая наука, она идет от гипотезы к гипотезе, сохраняя все ценное, что есть в каждой из них. Характерно, что космогонические гипотезы постепенно усложняются и стремятся объяснить возможно больше наблюдаемых фактов. Нет сомнения, что со временем будут созданы строго и всесторонне обоснованные научные теории, подобные, например, теории эволюции органического мира на Земле.

Начиная с 1943 г. группа советских ученых во главе с акад. О. Ю. Шмидтом разработала стройную космогоническую гипотезу, основанную на новейших достижениях современного естествознания (рис. 29).

По гипотезе Шмидта, наше Солнце много миллиардов лет назад было окружено исполинским «протопланетным» облаком, состоящим из холодной пыли и частичек замерзших газов. Составляющие облако частицы вещества обращались вокруг Солнца. Их было много, они часто сталкивались, и при столкновении часть их энергии безвозвратно излучалась в форме тепла. В конце концов, теряя энергию и испытывая взаимное тяготение, частицы, падая друг на друга, как бы «слипались», образуя постепенно растущие сгущения — зародыши будущих планет. При этом «протопланетное» облако постепенно сплющивалось, а конденсирующиеся «протопланеты» приобретали все более и более круговые орбиты.

Последний процесс был вызван тем, что при «слипании» частиц «протопланетного» облака элементы их орбит (величины, характеризующие форму, размеры орбит и их положение в пространстве) осреднялись, поэтому, чем крупнее получалась планета, тем больше ее орбита походила на окружность. Прошло очень много времени, прежде чем «протопланетное» облако «сгустилось» в современные планеты.

Таким образом, по гипотезе Шмидта, наша Земля и другие планеты сконденсировались из множества твердых холодных частиц и, следовательно, никогда не были целиком в огненно-жидком, раскаленном состоянии.

Дальнейшая эволюция Земли выразилась в перемещениях составляющих ее масс вещества. Тяжелые массы спускались к центру Земли, выдавливая на ее поверхность более легкие породы. Этот процесс перераспределения масс происходит и сейчас, выражаясь в грозном явлении землетрясений.

В поверхностных слоях Земли, где скопились радиоактивные вещества, выделялось и выделяется (при радиоактивном распаде) значительное количество тепла. В недрах Земли образуются очаги расплавленного вещества, откуда через жерла вулканов на земную поверхность извергается лава.

Гипотеза Шмидта объясняет основные закономерности Солнечной системы — формы, размеры и расположе-

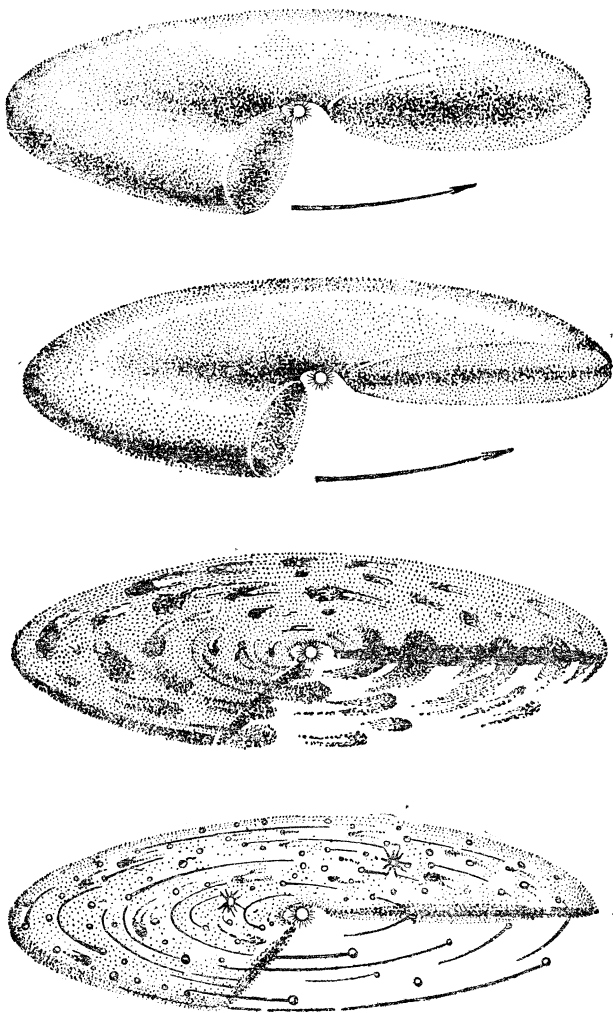


Рис. 29.

Схема образования планет по гипотезе О. Ю. Шмидта

ние планетных орбит, распределение планет в пространстве в связи с их массой и многое другое. В частности, она сумела объяснить разделение планет на две группы — планеты земного типа и планеты-гиганты. Первые из них образовались из близких к Солнцу частей «протопланетного» облака. В этом случае под действием солнечного тепла частички льдов (воды, метана, аммиака), входящих в состав облака, испарились (точнее, сублимировались), и планеты получились небольшие, состоящие в основном из тугоплавких элементов. Вдалеке от Солнца условия благоприятствовали формированию огромных планет, состоящих в основном из легких элементов.

О. Ю. Шмидту удалось теоретически объяснить закон планетных расстояний, т. е. связь радиуса орбиты планеты с ее номером (в порядке удаления от Солнца)¹.

По мнению О. Ю. Шмидта, «протопланетное» газопылевое облако было захвачено Солнцем при его движении вокруг центра нашей звездной системы Галактики. Хотя на частом примере О. Ю. Шмидт показал принципиальную возможность захвата, сама идея о захвате «протопланетного» облака теоретически была плохо обоснована, и эта часть гипотезы Шмидта оказалась самой слабой.

В рамках гипотезы Шмидта плохо разработан вопрос о происхождении спутников планет, в частности Луны, которая обладает относительно большой массой и вместе с Землей образует двойную планету. Остались необъясненными обратное вращение Венеры, положение оси вращения Урана и ряд других деталей, пусть второстепенных, но требующих все-таки объяснения.

Более существенно то, что осталась непонятной главная особенность Солнечной системы — «неестественное» распределение момента количества движения между Солнцем и планетами. Солнце вращается вокруг оси очень медленно, и потому из общего «запаса движения» (т. е. момента количества движения) Солнечной системы на его долю приходится лишь 2%. Откуда у планет остальные 98% «запаса движения», неясно.

Для расслоения Земли на тяжелое ядро и более легкие внешние оболочки требуется, чтобы вязкость первич-

¹ Подробнее см. в «Избранных трудах» О. Ю. Шмидта (М., Изд-во АН СССР, 1960).

ного ее вещества (а значит, и ее температура) была значительной. Расчеты показывают, что одна радиоактивность такой разогрев дать не может. Последователи О. Ю. Шмидта (в частности, В. С. Сафронов) полагают, что на первичную Землю падали тела астероидных размеров (до 1000 километров в поперечнике) и их удары разогрели внешние слои первичной Земли до 1500 градусов.

Надо заметить, что это объяснение малоубедительно. Во-первых, оно количественно пока плохо обосновано. А, во-вторых, неясно, откуда взялись бомбардирующие Землю тела астероидных размеров, если Земля и планеты уже в основном сформировались, т. е. вещество «протопланетного» облака было исчерпано.

В гипотезе Шмидта Солнцу отводилась в основном чисто механическая роль — динамического центра Солнечной системы. Между тем в настоящее время почти все космогонисты пришли к выводу, что происхождение Земли и планет следует рассматривать в тесной связи с происхождением Солнца.

Совместно с Солнцем

В 1960 г. акад. В. Г. Фесенков, много лет работавший в области космогонии, предложил гипотезу, существенно отличающуюся от гипотезы Шмидта.

По мнению В. Г. Фесенкова, планеты должны были сформироваться одновременно с Солнцем из одного газозо-пылевого облака при его постепенной конденсации. Конденсируясь в компактное тело, Земля должна была постепенно разогреваться за счет уменьшения потенциальной энергии и при этом терять легкие газы своей атмосферы. Подобная потеря вещества происходила и при эволюции других планет, поэтому, как считал В. Г. Фесенков, современные планеты представляют собой лишь ядра первичных огромных «протопланет», растерявших при разогревании и по другим причинам основную долю своей массы. Эта гипотеза не была подкреплена какими-либо расчетами, а основная идея была заимствована В. Г. Фесенковым у американского астрофизика Ф. Уиппла, который еще в 1948 г. опубликовал гипотезу, где рождение Солнечной системы рассматривалось, как результат конденсации глобулы — огромного

шаровидного пылевого облака. Такие объекты с поперечником от 10 до 35 тыс. а. е. действительно наблюдаются на фоне некоторых газово-пылевых туманностей. Однако совершенно неясно, могут ли глобулы сгущаться в звезды и планеты. Для того чтобы пылевая туманность начала сгущаться, она должна иметь вполне определенные массу, плотность, температуру и другие физические параметры. Расчеты последних лет показали, что лишь в исключительных случаях при высокой плотности в пылевом облаке начнется процесс конденсации. Известные астрономам газово-пылевые туманности соответствующими свойствами не обладают.

Как уже отмечалось, Солнце вращается очень медленно, а основной «запас движения» в Солнечной системе приходится на долю планет. Чтобы объяснить этот факт, некоторые современные космогонисты (английский астрофизик Ф. Хойл и другие) привлекли к объяснению происхождения Солнечной системы электрические и магнитные силы. При этом они предполагали, что планеты когда-то отделились от Солнца — старая идея, подкрепленная некоторыми фактами из современной звездной астрономии.

Дело в том, что наиболее массивные горячие гигантские звезды, массы которых в десятки раз больше солнечной, вращаются так быстро, что точки на их экваторе движутся со скоростью 300—500 километров в секунду (для Солнца эта скорость близка всего к 2 километрам в секунду).

Менее горячие и массивные звезды вращаются медленнее, и это убывание скорости вращения происходит непрерывно и постепенно вплоть до желтовато-белых звезд с температурой поверхности около 8000 градусов. А дальше — резкий скачок. У звезд типа Солнца и более холодных экваториальные скорости сразу становятся очень малыми, порядка нескольких километров в секунду. При этом такие важные характеристики звезд, как температура поверхности, светимость и масса, продолжают меняться от одного класса звезд к другому медленно и постепенно. Что же вызвало скачок?

Так как быстровращающиеся желтовато-белые звезды лишь немного более горячие, чем Солнце, имеют массу почти такую же, как Солнце, можно думать, что скачок во вращении вызван тем, что у звезд типа Солнца

есть планеты, которые при малой массе, но зато больших радиусах орбит несут на себе основную долю момента количества движения. Действительно, несложный подсчет показывает, что если бы все планеты Солнечной системы упали на Солнце, оно стало бы вращаться с экваториальной скоростью около 100 километров в секунду,

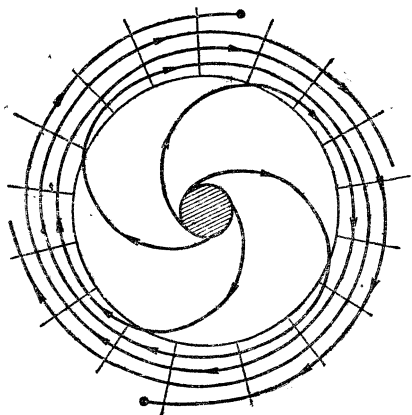


Рис. 30.

Образование планет по Ф. Хойлу. Показано расположение магнитных силовых линий внутри протопланетного облака

ду, т. е. как раз с такой же, какая наблюдается у желто-белых звезд!

Но если планеты на самом деле когда-то отделились от Солнца, то что затормозило Солнце и перевело основной «запас движения» на планеты?

На этот вопрос дает ответ гипотеза Ф. Хойла, опубликованная им в 1960 г.

Представим себе Протосолнце, быстро вращающуюся вокруг оси в ту отдаленную эпоху еще совсем молодую звезду. Если она по каким-либо причинам постепенно сжималась (рис. 30), то скорость ее вращения непрерывно возрастала. В конце концов наступила эпоха ротационной неустойчивости, когда под действием центробежных сил с экватора Протосолнца (его радиус был тогда равен радиусу орбиты Меркурия) началось истечение вещества, которое образовало «протопланетное» облако, имевшее форму сплющенного диска.

Допустим, что Протосолнце, сгустившееся из газо-пылевой туманности, обладало сильным магнитным полем, вещество «протопланетного» облака хотя бы частично

содержало ионизированный газ. В таком случае в этом газе возникало собственное магнитное поле, взаимодействующее с магнитным полем Протосолнца. В результате между диском и центральным сгущением (будущим Солнцем) установилось сильное магнитное «сцепление», вследствие которого вещество диска удалилось от центра, распространяясь на всю Солнечную систему, а Протосолнце, теряя момент, продолжало сжиматься дальше и в конце концов превратилось в современное медленно вращающееся Солнце.

Таким образом, по Ф. Хойлу, магнитное торможение вращающегося Протосолнца окружающей его туманностью привело к переходу момента количества движения от Протосолнца к облаку, а значит, и к сгустившимся из него планетам. Однако эта остроумная схема, объясняющая одну из главных загадок Солнечной системы, сама нуждается в солидном обосновании.

Расчеты показывают, что у горячих звезд атмосфера охвачена интенсивной конвекцией, и магнитное поле при этом располагается почти целиком внутри звезды. Значит, если Протосолнце было горячо, намагнитить «протопланетное» облако оно не могло. Если же оно было холодным, то облако «раскручивалось» магнитным полем звезды столь быстро, что протопланетный диск просто не успевал сформироваться и не смог принять на себя основной доли момента количества движения.

Наряду с Ф. Хойлом, гипотезы о совместном возникновении Солнца и планет в последнее время предложили А. Камерон, Э. Шацман и другие астрофизики. Но и их объяснения страдают теми же недостатками, что и гипотеза Ф. Хойла. Сам механизм отделения планет от Протосолнца остается физически необоснованным, как, впрочем, и процесс сгущения газово-пылевого облака в Протосолнце. Может быть, планеты и сформировались совместно с Солнцем, но как именно это произошло, пока никто не знает.

«Горячее» рождение Земли

Может быть, Земля и планеты родились в итоге каково-нибудь катастрофического события?

Родоначальник научной космогонии французский естествоиспытатель Бюффон в первой половине

XVIII века, т. е. еще до Канта и Лапласа, высказал гипотезу, что Земля и другие планеты возникли при падении на Солнце огромной кометы. Ошибочно полагая, что массы комет огромны, сравнимы с массой Солнца, Бюффон считал, что при столкновении кометы с Солнцем произошло что-то похожее на падение камня в лужу: из горячих солнечных «брызг» сгустились остывшие затем планеты.

Разумеется, сегодня эти идеи Бюффона кажутся по меньшей мере наивными. Но они оказали заметное влияние на дальнейшее развитие космогонии. Наиболее полно «катастрофические» варианты рождения планет были разработаны в 1916—1927 гг. английскими астрофизиками Джинсом и Джеффрисом.

По мнению Джинса, несколько миллиардов лет назад мимо нашего Солнца, которое в ту пору было одиночной звездой, пролетела другая звезда. Сближение двух звезд было настолько тесным, что из Солнца под действием тяготения «чужой» звезды, вырвалась горячая сигарообразная газовая струя. Виновница этой катастрофы улетела в глубины Галактики, а из газовой струи сгустились планеты.

В варианте, предложенном Джеффрисом, Солнце столкнулось со звездой, что напоминает старую идею Бюффона. Но все эти «катастрофические» гипотезы оказались несостоятельными. Строгие расчеты показали, что из Солнца не могла вырваться сигарообразная газовая струя, а если бы даже это и произошло, то она не сгустилась бы в планеты. Кроме того, тесное сближение, а тем более столкновение двух звезд — событие настолько маловероятное, что планетные системы были бы исключительной редкостью во Вселенной. Факты, однако, говорят о другом.

Если вокруг звезды обращается невидимая с Земли планета, то ее присутствие можно обнаружить прежде всего по тем отклонениям, которые она вызывает в пространственном движении звезды. В самом деле, движение одиночной, лишенной спутников звезды в пространстве (на сравнительно небольшом участке) будет почти прямолинейным и равномерным. Но если звезда имеет хотя бы одного достаточно массивного спутника, то, обращаясь по законам небесной механики вокруг общего центра тяжести, звезда и ее спутник будут двигаться

в пространстве по сложным извилистым кривым. Очевидно, чем массивнее спутник звезды, тем более извилистым будет ее путь. Значит, тщательно изучая движение звезд, можно не только установить, есть ли у них невидимые спутники, но и вычислить массы этих спутников.

Еще в 1937 г. шведский астроном Хольмберг, исследуя полет ближайших звезд в пространстве, установил, что вокруг многих из них должны обращаться невидимые спутники, масса которых сравнима с массой крупнейших планет солнечной системы.

Позже подобными исследованиями занимались несколько ученых, в том числе пулковский астроном А. Н. Дейч, который очень хорошо изучил одну из ближайших к Земле звезд — 61-ю из созвездия Лебедя. По его данным, вокруг этой звезды с периодом около 5 лет обращается темный спутник, масса которого составляет 0,008 массы Солнца. Напомним, что величайшая из планет Солнечной системы Юпитер почти в тысячу раз легче Солнца. Значит, невидимое тело в системе звезды 61 Лебедя примерно в 10 раз массивнее Юпитера.

Для планеты такая масса слишком велика. Ведь даже у Юпитера давление в центре такое высокое, что температура, по подсчетам Н. А. Козырева, должна достигать там 150 000 градусов. Тело же с массой в десять раз больше должно быть скорее звездой, чем планетой.

Здесь, впрочем, надо отметить одно важное обстоятельство, на которое впервые еще в 1951 г. обратил внимание Б. В. Кукаркин. Представим себе, что мы наблюдаем Солнце с Альфы Центавра—ближайшей из звезд. Ни в один из современных телескопов мы планет, конечно, не заметим. Однако, изучая движение Солнца в пространстве, можно обнаружить, что оно движется криволинейно. Наибольшие отклонения вызовут Юпитер и Сатурн, причем в те моменты, когда эти крупнейшие из планет будут находиться одновременно по одну сторону от Солнца. Такие моменты повторяются каждые 59 лет. Что касается остальных планет, то неправильности, вносимые ими в движение, столь малы, что мы склонны приписать их ошибкам наблюдений.

Таким образом, изучая Солнце с Альфы Центавра, мы приходим к выводу, что вокруг Солнца с периодом

59 лет обращается невидимый спутник, масса которого равна сумме масс Юпитера и Сатурна.

Судя по всему, столь же ошибочны и наши современные представления о больших массах невидимых спутников звезд. Естественно полагать, что определяемые нами массы являются суммарными массами нескольких самых крупных планет этих невидимых планетных систем.

Чем дальше звезда, тем менее заметны с Земли не-правильности в ее движении и, следовательно, тем труднее обнаружить вокруг нее планетную систему.

Тем не менее в итоге многолетних исследований голландский астроном Ван де Камп доказал, что вокруг одной из близких к нам звезд («Летящая» звезда Барнарда, расстояние около 6 световых лет) обращаются три невидимых спутника, массы которых (в долях массы Юпитера) равны 1,26, 0,63 и 0,89, а расстояния от звезды соответственно 4,5, 2,9 и 1,8 астрономических единиц. Иначе говоря, наконец с полной достоверностью открыта соседняя планетная система. Есть серьезные основания полагать, что среди 100 ближайших к Солнцу звезд 43, возможно, обладают планетами, пригодными для земноподобных форм жизни¹. Во всяком случае несомненно, что планетные системы — частые объекты космоса, а значит образоваться случайно они не могли. Тем самым космогонические гипотезы типа гипотезы Джинса должны быть отвергнуты как явно противоречащие фактам.

Какой же тогда закономерный процесс приводит к рождению планетных систем? Нельзя ли планетную космогонию связать с идеями В. А. Амбарцумяна о рождении звезд из сверхплотных и энергичных дозвездных тел?

Попытки с этих позиций решить проблему происхождения Земли и планет предприняты в последнее время известным советским исследователем комет С. К. Всехсвятским. «Имеется много оснований считать первичные планеты («протопланеты»), — пишет он, — телами звездной природы.. Солнце могло быть компонентом двойной системы, сохранившимся после того, как второй компо-

¹ Подробнее см. в работе С. Доула «Планеты для людей» (М., «Наука», 1974).

непт разделился на более мелкие части в результате взрыва»¹.

Действительно, планеты-гиганты и Солнце близки по химическому составу. У планет земного типа легкие элементы могли улетучиться в процессе эволюции. Известны звезды в двойных системах, по массе близкие к крупным планетам. Значит, гипотетический спутник Прото-солнца мог иметь массу, близкую суммарной массе планет. Взрыв этого спутника (и здесь гипотеза С. К. Всехсвятского смыкается с идеями В. А. Амбарцумяна), вероятно, произошел в результате взрывообразного превращения находившегося внутри него дозвездного вещества.

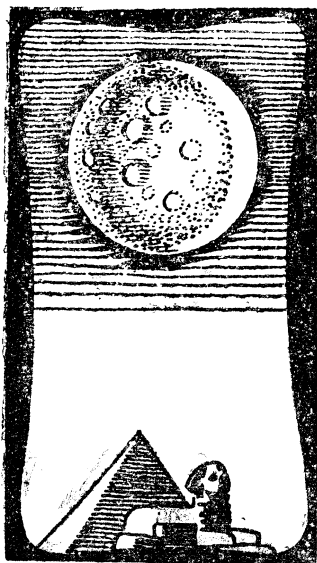
«Осколки» спутника были малы и поэтому быстро охладились, вследствие чего возникли сложные молекулярные соединения и первые следы твердых оболочек будущих планет. «Дальнейший процесс, — по мнению С. К. Всехсвятского, — должен был иметь характер отдельных подъемов активности, когда накапливающиеся под корой газы прорывали ее. С течением времени оболочка метаморфизировалась, усложнялась и укреплялась, что приводило ко все более длительным промежуткам активности и, следовательно, накоплению большей энергии разрушений». И сегодня, как показал С. К. Всехсвятский во многих своих работах, в Солнечной системе наблюдаются эруптивные, взрывные процессы — остаток «звездной» энергии ныне затвердевших планетных тел.

«Планеты, содержащие столь большие запасы внутренней энергии, не могли начать свое развитие со стадии холодных тел, сконденсировавшихся из газопылевой среды. Единство их химического состава и масштабы эруптивной эволюции говорят о том, что они образовались как тела звездной природы. Только предположение о том, что вещество планет — это звездное вещество, еще сохраняющее запасы или источники звездной энергии, может соответствовать всей совокупности описанных выше фактов. Фаза планет поэтому может оказаться дальнейшей фазой распада и дезинтеграции звездного вещества»².

¹ Сборник «Проблемы современной космогонии». М., «Наука», 1972, с. 378.

² См. «Проблемы современной космогонии». (М., «Наука», 1972, с. 195).

Как убедился читатель, на «детский» вопрос — «откуда взялась Земля?» — пока не существует определенного, общепризнанного, ответа. Обилие гипотез — признак недостатка фактических знаний. В этих условиях особую роль приобретает сравнительное изучение Земли и подобных ей космических тел — планет и спутников Солнечной системы. Все эти тела, несомненно, несут в себе пока скрытую для нас информацию о своем происхождении, общим с Землей. И прежде всего в этом смысле наше внимание привлекает Луна.



Луна по своей природе и по способам ее изучения представляется ближайшим предметом, который может объединить две родственные семьи наук — о Земле и о небе ...

Сейчас больше, чем когда бы то ни было ощущается потребность найти мост между владениями геологии и астрофизики, если только мы не хотим рассматривать Землю как исключительный, единственный мир и желаем сравнить ее геологически с остальными планетами.

А. В. ХАБАКОВ

Из истории селенологии

В марте 1610 г. в книжных лавках Венеции появилась небольшая книга под интригующим названием «Звездный вестник». Имя автора этой книги уже тогда пользовалось широкой известностью в ученых кругах Италии. То был профессор Падуанского университета Галилео Галилей.

Весной 1609 г. до Галилея дошло известие, будто какой-то голландец изобрел инструмент, позволяющий видеть далекие предметы так же отчетливо, как и близкие. Галилей решил собственноручно построить подобный инструмент и энергично принялся за дело. По его собственному признанию, он «не жалел ни труда, ни денег». И в августе 1609 г. итальянский ученый уже владел первым телескопом —

ГЕОЛОГИЯ И СЕЛЕНОЛОГИЯ

небольшой трубкой поперечником всего в 53 мм, дающим увеличение в 30 раз. Но какие изумительные открытия были сделаны с помощью этих скромных средств! Разбив вымышленные хрустальные сферы древних, телескоп Галилея раскрыл перед человечеством подлинную картину космоса, в котором Земля оказалась лишь одним из бесчисленных миров.

Древние астрономы достаточно подробно изучили видимое движение Луны на фоне звезд. Им даже удалось подметить некоторые весьма тонкие эффекты в этом движении. Но физическая природа Луны оставалась загадкой. Невооруженный глаз не мог найти решения этой загадки. Блестящий желтовато-серебристый диск с какими-то серыми пятнами — такой представляется полная Луна невооруженному глазу.

При бедности фактических данных всегда остается много места для различных умозрительных гипотез.

Так, по мнению Аристотеля, авторитет которого в течение многих веков считался непререкаемым, Луна имеет совершенно гладкую, зеркальную поверхность, а сероватые пятна на ней представляют собой отражение в сферическом лунном зеркале земных материков и океанов. Такой же точки зрения придерживались средневековые астрономы арабского Востока.

Некоторые древнегреческие философы высказали гораздо более близкие к истине взгляды, чем Аристотель. По словам Пифагора, Луна есть Земля, подобная обитаемой нами, с той лишь разницей, что она населена животными больших размеров и деревьями, более красивыми, причем все лунные существа вообще в 15 раз превосходят по росту и по силе соответственные земные существа.

Трезвый ум древнего материалиста Демокрита побуждал его более сдержанно высказаться о физической природе Луны. Причиной темных пятен на лунном диске Демокрит считал тени от высоких мест на Луне, ибо она «имеет долины и возвышенности».

Что же такое Луна? Шарообразное небесное зеркало, обращающееся вокруг Земли, или мир, подобный земному, или, наконец, обитель фантастических существ, откуда, по древнему преданию, свалился на Землю легендарный Немейский лев?

Первые же дни наблюдений позволили Галилею сделать выбор между весьма разнообразными умозрительными гипотезами. В поле зрения телескопа Луна не имела ничего общего с зеркалом. Галилей увидел на ней горные цепи и обширные долины, огромные темно-серые впадины. И, конечно, от него не ускользнула главная характерная особенность лунного рельефа — обилие своеобразных кольцевых гор, названных впоследствии кратерами и цирками.

«Я вне себя от изумления, — писал Галилей, — так как уже успел убедиться, что Луна представляет собой тело, подобное Земле.

.. Поверхность Луны не гладкая, и не ровная, и не в совершенстве сферическая, как полагал в отношении нее целый легион философов, а, напротив, неровная, шероховатая, испещренная углублениями и возвышенностями».

Так было положено начало селенологии — отрасли астрофизики, изучающей не только рельеф лунной поверхности, но строение и эволюцию Луны в целом.

Полная карта всей видимой поверхности Луны была впервые опубликована в 1647 г. данцигским астрономом Иоганном Гевелием. Его вполне заслуженно считают основателем науки о поверхности Луны — селенографии. Этим новым словом Гевелий назвал свою книгу о Луне. В книге читатель мог найти первые лунные карты, а также виды Луны при различных фазах.

Сравнив карты Гевелия с современной рельефной картой Луны, можно убедиться в том, что Гевелий был прекрасным наблюдателем.

Спустя четыре года, в 1651 г. итальянский астроном — иезуит Риччиоли опубликовал карту с названием всех основных деталей лунной поверхности. Несмотря на некоторые недостатки, названия, данные Риччиоли, почти без изменений сохранились до наших дней.

В XVIII веке были определены точные координаты многих лунных кратеров, измерены высоты некоторых лунных гор (по длине их тени) и уточнены имевшиеся карты Луны.

На территории Берлинского зоопарка два немецких любителя астрономии Бэр и Медлер построили небольшую обсерваторию и с помощью скромного 3-дюймово-

го рефрактора в 1830—1837 гг. провели детальные исследования Луны. Скромность оптических средств восполнялась энтузиазмом ученых. Бэр и Медлер измерили высоты свыше 1000 лунных гор. С большой точностью они определили положение главнейших точек лунной поверхности, и составленная ими карта Луны почти в течение века считалась наилучшей.

Первые удачные фотоснимки Луны были получены в 1840 г. одновременно несколькими учеными. В конце прошлого века астрономы Парижской обсерватории составили первый фотоатлас Луны.

Предприняты успешные попытки цветного фотографирования Луны. Серию хороших цветных фотографий получил харьковский астроном Н. П. Барабашов. Американские астрономы во главе с Койпером составили прекрасный фотоатлас Луны с мельчайшими подробностями ее поверхности. В последние годы Луна изучалась всеми имеющимися в распоряжении астрономов средствами.

И все же телескопический способ изучения Луны имеет очевидные недостатки. Телескопы раскрыли нам в основных чертах физическую природу соседнего мира, но в то же время столкнули ученых с новыми загадками. Объясняется это тем, что возможности даже самых могущественных из современных телескопов ограничены. В самых благоприятных условиях в наибольший из телескопов мира можно отчетливо различить на поверхности Луны лишь предметы, поперечник которых превышает 50 метров.

В связи с этим понятно значение третьего этапа изучения Луны — проведение исследований с помощью космических ракет. Начало этого этапа или лучше сказать новой эры в исследовании Луны отмечено полетом вблизи Луны первой советской космической ракеты. Запущенная в космическое пространство 2 января 1959 г. ракета через 34 часа после старта оказалась в непосредственном соседстве с Луной. Она прошла всего в 5000—6000 километров от лунной поверхности и сделала первую разведку окрестностей Луны.

В знаменательном 1959 г. человек впервые доставил земные предметы на Луну. Автоматическая межпланетная станция «Луна-2» достигла поверхности Луны восточнее Моря Ясности вблизи горной цепи, которую рассмотрел на поверхности Луны еще Галилей.

Не прошло и месяца, как советские ученые совершили новый беспрецедентный подвиг. Запущенная в облет Луны первая автоматическая межпланетная станция «Луна-3» сфотографировала невидимую обратную сторону Луны и передала на Землю высококачественные фотографии.

Позже советские и американские автоматические станции завершили детальное фотографирование всей обратной стороны Луны.

Современные очень подробные снимки всех участков лунной поверхности — отличный материал для изучения «геологии» Луны (к сожалению, этот неудачный термин еще бытует в научной литературе вместо термина «селенология»).

Методы геологии стали приемлемы и для изучения соседнего космического тела. Хотя освоение Луны лишь началось, многое из того, что мы узнали за последние годы о лунном мире, заставляет нас по-новому оценить историю и природу нашей планеты. Геология и селенология взаимно обогащаются.

Прогулка по лунной карте

Обращаясь вокруг Земли, Луна для земного наблюдения непрерывно меняет свой внешний вид, или, как говорят астрономы, меняет фазы. Солнце всегда освещает половину лунного шара. Если освещенное полушарие Луны видно с Земли целиком, соответствующая фаза называется полнолунием. Наоборот, в момент новолуния к Земле обращено темное, неосвещенное полушарие Луны. В промежутке между полнолунием и новолунием можно наблюдать фазы луны — от узенького серпика до почти полного диска.

Уже древние наблюдатели подметили, что при любых фазах Луны на ее поверхности видны одни и те же сероватые пятна. Следовательно, Луна всегда обращена к Земле одной и той же стороной.

Было бы неправильным делать вывод, что Луна не вращается вокруг своей оси. Сохраняя постоянную ориентацию относительно Земли, Луна вращается относительно звезд с тем же периодом, что и вокруг нашей планеты. Сутки на Луне по отношению к Солнцу в 29,5

раза длиннее земных, и в каждом пункте лунной поверхности день и ночь делятся почти на две земные недели.

Казалось бы, что, поскольку Луна постоянно обращена к Земле одной своей стороной, земному наблюдателю доступна для обозрения половина лунного шара. На самом деле это не совсем так. По ряду причин Луна как бы слегка покачивается в разные стороны и тем самым приоткрывает часть своей обратной стороны. Эти «покачивания» Луны астрономы называют либрациями. Различают либрации нескольких типов.

Как уже говорилось, Луна движется вокруг Земли неравномерно, тогда как осевое вращение Луны совершается строго равномерно. Благодаря этому, хотя периоды обоих движений одинаковы, иногда вращение Луны как бы «опережает» ее движение по орбите, а иногда, наоборот, отстает от него. Земному наблюдателю в этом случае кажется, что Луна покачивается на своей оси вращения то в ту, то в другую сторону, отходя от среднего положения не более чем на 7 градусов 45 минут. В этом заключается либрация по долготе.

Плоскость лунного экватора наклонена к плоскости лунной орбиты под углом около 6 градусов. При движении вокруг Земли ось вращения Луны перемещается в пространстве параллельно самой себе. В сочетании эти два факта вызывают неизбежное следствие — в разных точках лунной орбиты мы по-разному видим полушария Луны: на одних участках орбиты к Земле обращен северный полюс Луны, на других — южный. Создается впечатление, что Луна покачивается на оси, перпендикулярной к ее оси вращения. Амплитуда этой либрации по широте несколько меньше, чем по долготе, и составляет ± 6 градусов 41 минуту.

Находясь на поверхности земного шара, астроном участвует в его вращении. Иначе говоря, он за 12 часов переносится в пространстве на величину земного диаметра (12 740 километров). Следовательно, астроном наблюдает Луну не из одной, а из разных точек пространства, получая возможность рассматривать граничные районы обратной стороны Луны. В этом случае либрация, называемая параллактической либрацией, не превышает 1 градуса в каждую сторону.

Все перечисленные либрации относятся к геометрическим, так как вызваны не реальным покачиванием Луны, а различными геометрическими условиями ее наблюдений. Но есть еще у Луны и физическая либрация. По данным советского астронома А. А. Яковкина, Луна не имеет строго шарообразной формы. Она слегка вытянута в направлении к Земле. Вытянутость эта весьма мала — наибольшие радиусы Луны отличаются от наименьших всего на несколько километров. Однако она вполне достаточна, чтобы под действием земного тяготения Луна испытывала реальные колебания, правда, с очень небольшой амплитудой — всего несколько минут дуги. Благодаря всем либрациям с Земли видна не половина, а 60% лунной поверхности.

В XVII веке темные серые пятна на поверхности Луны были названы морями, а светлые области — сушей. Мнение о том, что лунные моря по своей физической природе напоминают земные, не были общепринятыми, но даже Гевелий был склонен считать темные лунные пятна водными бассейнами.

Гевелий впервые дал названия некоторым из лунных морей. Так появились на лунных картах Море Холода и Океан Бурь. Для деталей лунного рельефа Гевелий использовал географические названия, поэтому на лунных картах до сих пор встречаются Апеннины, Карпаты, Альпы, Кавказ, Алтай.

Лунные кратеры в основном сохранили названия, присвоенные им Риччиоли: Платон, Аристотель, Коперник, Эратосфен и другие. Риччиоли увековечил на Луне имена и некоторых своих друзей по иезуитскому ордену, не забыл он и себя, назвав собственным именем один из крупнейших лунных цирков на краю лунного диска.

Склонность Риччиоли к поэтическим аллегориям выразилась в названиях Болото Сна и Озеро Смерти. Кстати, болотами и озерами Риччиоли назвал сероватые участки лунной поверхности, которые по своей яркости занимают промежуточное положение между сравнительно темными «морями» и светлой «сушей».

Чтобы легче запомнить названия главнейших лунных морей, полную Луну можно сравнить с добродушной физиономией толстяка, на которую она действительно несколько похожа (рис. 31). Левый «глаз» Луны — это Море Спокойствия, правый глаз — Море Дождя

дей, а переносица — море Ясности. Левая щека Луны светлая, тогда как правая щека представляет собой огромное темное пятно — Океан Бурь. Есть у лунного лица и своеобразные брови. Бровь над правым глазом — длинная, еле заметная — это Море Холода. Бровь над

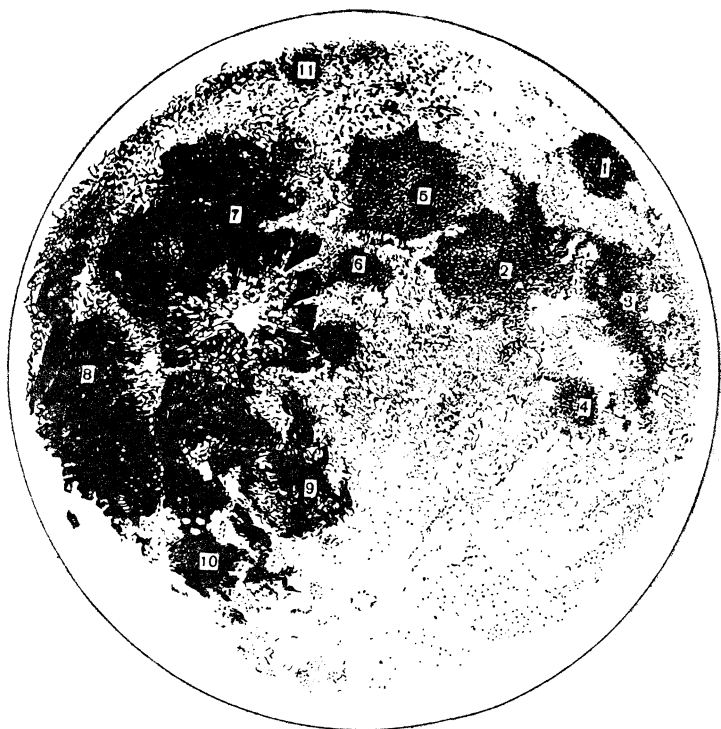


Рис. 31.

Карта лунных морей:

1 — Море Кризисов; 2 — Море Спокойствия; 3 — Море Изобилия; 4 — Море Нектара; 5 — Море Ясности; 6 — Море Паров; 7 — Море Дождей; 8 — Океан Бурь; 9 — Море Влажности; 10 — Море Облаков; 11 — Море Холода

левым глазом скорее напоминает родимое пятно овальной формы — это море Кризисов.

Все лунные моря легко найти на полной Луне и после нескольких наблюдений запомнить. Зная их, можно легко отыскать и второстепенные лунные моря.

От Моря Спокойствия к восточному краю Луны отходят два темных отростка. Верхний, наиболее крупный получил название Моря Изобилия, а нижний — Моря Нектара. К сожалению, «нос» лунного лица не ярко выражен. С некоторой натяжкой лунным «носом» можно считать цепочку из трех темных пятен, опускающихся к югу от моря Ясности, — это Море Паров, Залив Зноя и Центральный Залив. Наконец, Океан Бурь в южной части имеет как бы два залива. Оба они считаются самостоятельными морями, причем верхнее называется Морем Облаков, а нижнее — Морем Влажности.

На фотографиях поверхности Луны видно, что лунные моря представляют собой огромные впадины. В отдельных случаях берега некоторых морей выглядят обрывами высотой 1—2 километра.

В северной части Луны преобладают моря, в южной — суша. Суша, как правило, гораздо более неровна, чем море. Однако поверхности лунных морей вовсе не являются идеально гладкими. На них возвышаются большие и малые кольцеобразные горы (например, в Море Дождей). В других случаях (Море Влажности) на поверхности моря заметны протяженные валы.

На Луне есть несколько горных цепей, причем наиболее заметны те, которые окаймляют лунное Море Дождей. Самый мощный горный хребет на видимом с Земли диске Луны — Апеннины. Они тянутся на сотни километров, крутыми обрывами подступая к Морю Дождей и более полого нисходя к Морю Ясности. Здесь насчитываются несколько тысяч вершин, некоторые из них имеют высоту 5—6 тыс. метров.

Севернее Апеннин расположен лунный Кавказ, а за ним видны лунные Альпы. Оба хребта по мощности и высоте значительно уступают Апеннинам. Лунные Альпы пересечены прямой и глубокой Альпийской долиной.

Многочисленные невысокие горы в районе Моря Кризисов называются Тавром и Рифейскими Горами. Неярко выражены лунные горные системы — Пиренеи, Алтай и Урал. Зато на самом краю видимого лунного диска, образуя как бы лунный профиль, наблюдаются очень высокие горные хребты. Наиболее мощные из них — горы Лейбница с вершиной, достигающей почти 9 километров. Это самая большая из известных нам гор как на Луне, так и на Земле. Штурм ее вершины, постоянно

освещаемой Солнцем, представляет собой весьма трудную, хотя и посильную задачу для будущих лунных альпинистов.

Характерная особенность лунного рельефа — не горные цепи, сходные с земными горами, а особые исключительно многочисленные кольцеобразные горы, получившие название цирков и кратеров (рис. 32). Отличие

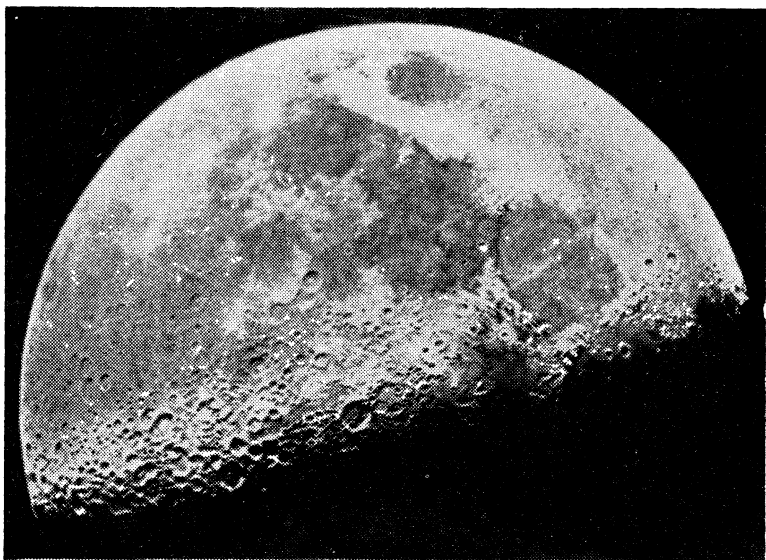


Рис. 32.

Типичный лунный рельеф

последних от цирков заключается в том, что посреди лунного кратера всегда имеется остроконечная центральная горка, представляющая собой бывший, а в некоторых случаях, возможно, и поныне действующий вулкан. Кольцеобразные горы, лишенные центральной горки, условились называть цирками¹.

Дно лунных цирков часто темное, напоминающее по окраске лунные моря, тогда как дно лунных кратеров

¹ В настоящее время принято все кольцевые горы на Луне называть кратерами.

всегда светлое, сходное в этом отношении с участками суши.

Одним из самых больших является лунный кратер Гримальди, имеющий в диаметре 235 километров. Другие кратеры, как, например, Коперник, достигают в перечнике нескольких десятков километров.

На видимом с Земли полушарии Луны имеются десятки тысяч цирков и кратеров. Кроме того, наблюдаются сотни тысяч кратерочков или пор — так астрономы называют углубления в лунной поверхности диаметром от нескольких километров до сотни метров, лишенные вала или окруженные очень пологим валом.

Все эти своеобразные формы лунного рельефа, несомненно, связаны с эволюцией Луны как космического тела, хотя единой точки зрения на происхождение лунного рельефа, как и самой Луны, пока не существует.

На обратной стороне Луны есть всего два небольших кратерных моря — Море Москвы и Море Мечты. Все остальное — сплошной материковый массив, усеянный великим множеством кратеров, среди которых отдельные гораздо больше самых крупных кратеров видимого полушария Луны.

Особый интерес представляет Море Восточное, окруженное концентрическими валами. Оно частично видно и с Земли (как и некоторые другие «краевые» моря Луны), но особенно эффектен его облик на карте полной поверхности Луны.

Кроме морей, горных цепей и кратеров, на лунной поверхности даже в небольшие телескопы различимы детали лунного рельефа, важные для понимания природы Луны и ее истории. Так, на поверхности многих лунных морей видны живообразные ветвящиеся невысокие (сотни метров) валы, принадлежащие, как горные цепи и кратеры, к положительным формам лунного рельефа. Наряду с этим лунная поверхность почти повсеместно усеяна линиями разломов — долинами, трещинами и бороздками. Наиболее заметная из них — долина Альп, прорезающая горную цепь, которая окаймляет Море Дождей.

От некоторых кратеров (например, от кратера Тихо) во все стороны на сотни, а иногда и тысячи километров тянутся светлые лучи, представляющие собой совокупность мелких кратерочков и раздробленных лунных по-

род. В окрестностях отдельных кратеров (например, кратера Коперник) наблюдаются небольшие, круглые вздутия лунной поверхности — так называемые купола, происхождение которых пока еще неясно.

Таковы главные детали лунного рельефа, отмеченные на лунных картах. Поначалу может показаться, что лунный рельеф уникален и его детали не имеют аналогов на Земле. На самом деле это не так: астрофизики и геологи способны объяснить хотя бы в целом происхождение странного лика Луны.

Луна глазами геолога

По своей массе Луна в 81 раз уступает земному шару. Зная размеры Луны, легко подсчитать силу тяжести на ее поверхности. Она оказывается в 6 раз меньше земной. Последнее обстоятельство является причиной отсутствия вокруг Луны заметной атмосферы.

Всякая газовая оболочка небесного тела состоит из быстро движущихся частиц (молекул или атомов). Каждая из частиц обладает индивидуальной скоростью, но при данной температуре газа всегда можно указать наиболее вероятную скорость движения подавляющего большинства частиц.

Для каждого небесного тела существует критическая скорость, превысив которую, любые предметы или частицы могут навсегда покинуть это небесное тело по траектории, представляющей собой гиперболу. Для Земли, как известно, критическая скорость равна 11,2 километров в секунду. Именно она является тем рубежом, переход через который позволяет космическим ракетам отправиться в межпланетный полет. Для Луны критическая скорость всего около 2,4 километра в секунду.

В теории рассеяния, или диссипации атмосфер, доказывається, что если средняя скорость молекул данного газа превосходит одну пятую критической скорости данного небесного тела, то вокруг последнего атмосфера существовать не может. В противном случае диссипация идет крайне медленно, и атмосфера практически стабильна.

Применим эти выводы к Луне. Для нее одна пятая критической скорости составляет всего 0,48 километров в секунду. Это меньше средней скорости движения мо-

лекул азота, кислорода и водяных паров (при дневных температурах, господствующих на Луне). Таким образом, из-за небольшой массы Луна никогда не имела и не может иметь заметной атмосферной оболочки. Этот теоретический вывод полностью подтверждается многочисленными наблюдениями. По данным радионаблюдений, выполненных еще в 1956 г., плотность лунной атмосферы у самой поверхности Луны в несколько миллиардов (10^{12}) раз меньше плотности комнатного воздуха. Практически такая атмосфера равноценна пустоте.

Отсутствие газовой оболочки вокруг Луны создает на ее поверхности резкие температурные контрасты: в тех местах Луны, где в полдень, когда Солнце сияет в зените, температура поверхностных слоев близка к плюс 120°C , в лунную полночь морозы достигают минус 150°C . Почти столь же резкие скачки температуры наблюдаются при переходе с освещенного участка Луны в тень какой-нибудь из лунных гор. Так как с изменением лунных фаз граница света и тени перемещается по лунной поверхности, резкие колебания температуры на Луне — явление обычное, повседневное.

Атмосфера Земли не только сглаживает температурные контрасты на нашей планете, не только, подобно одеялу, удерживает тепло, получаемое земной поверхностью от Солнца, но и выполняет роль своеобразной брони, предохраняющей Землю от непрерывной метеоритной бомбардировки. Мелкие метеоритные частицы полностью разрушаются атмосферой. Небольшие метеориты, если и не раздробляются ею, то во всяком случае сильно тормозятся. Лишь исполинские метеориты — в десятки тысяч тонн пробивают воздушную броню почти беспрепятственно и, практически сохранив свою огромную первоначальную космическую скорость, врезаются в земную поверхность. Но такие метеориты, как известно, являются чрезвычайной редкостью.

Луна ничем не защищена. Бомбежка ее беспрепятственно ведется многие миллионы лет. Известно, что метеорит, летящий со скоростью 4 километра в секунду, при ударе о поверхность Луны (или Земли) выделяет такую же энергию, как и равная ему взорвавшаяся масса тринитротолуола или другого сильно взрывчатого вещества. Следовательно, «бомбежка Луны метеоритами» — не только образное выражение.

Скорость метеоритов может даже значительно превышать 4 километра в секунду. В таких случаях при взрыве метеорит, как показали работы советских астрономов К. П. Станюковича и В. В. Федынского, раздробляет и выбрасывает из поверхностных слоев Луны количество вещества, иногда даже в 1000 раз превышающее по массе метеорит.

Еще со времен Р. Гука, знаменитого современника и соперника И. Ньютона (XVIII век), проводятся опыты, моделирующие удары и взрывы метеоритов. Обычно на слой какого-нибудь порошка (например, цементного) с некоторой высоты бросают камень или слипшийся, затвердевший кусок того же вещества. Модельные кратеры, полученные в этих опытах, во многом (но не во всем) напоминают лунные. Таким образом, и теория, и опыты доказывают, что удары и взрывы метеоритов могли быть причиной образования некоторых лунных кратеров.

На Земле найдены метеоритные кратеры взрывного типа с поперечником от одного до десятков километров. То, что их сравнительно мало, объясняется особенностями Земли — эрозия способна уничтожить кратеры за геологически короткие сроки. Значит, редкость метеоритных кратеров на Земле объясняется, в сущности, одной причиной — наличием плотной атмосферы, которая защищает Земную поверхность от мелких метеоритов и быстро «залечивает» шрамы, нанесенные крупными метеоритами.

Аналогами лунных кратеров на Земле, кроме метеоритных кратеров, являются вулканические кальдеры — котлообразные расширенные кратеры некоторых вулканов. Иногда кальдэра образуется в результате взрывов, сопровождающих вулканическое извержение, в других случаях — при провале, оседании верхней части вулканического конуса. Поперечники некоторых земных кальдер достигают десятков километров. На Луне в условиях пониженной силы тяжести кальдеры могут иметь и значительно большие размеры.

Таким образом, нет сомнения, что в формировании лунного рельефа участвовали и метеориты, и внутреннее, вулканические силы самой Луны. Спор может идти лишь о том, какой из факторов играл главную роль.

Первые попытки геологического анализа лунного рельефа были предприняты русским геологом А. П. Пав-

ловым в начале 20-х годов текущего века. Главным фактором в развитии Луны в целом и ее поверхности этот исследователь считал внутренние вулканические силы. С этих позиций ему удалось объяснить происхождение некоторых лунных форм.

В 1949 г. была опубликована монография А. В. Хабакова «Об основных вопросах истории развития поверхности Луны», в которой очень подробно и убедительно охарактеризован лунный рельеф с геологической точки зрения. А. В. Хабакову удалось показать, что практически все главнейшие типы лунных образований могут быть объяснены вулканизмом и тектоникой Луны. Этому исследователю принадлежит периодизация истории Луны, основа которой сохранена и современными селенологами.

Отличные фотографии лунного атласа Койпера, а главное, снимки Луны с близкого расстояния, полученные с помощью космических аппаратов, дали селенологам обширнейший материал для обобщений. Прежде всего следует отметить работы советских селенологов А. Л. Суханова, М. С. Маркова, В. Г. Трифонова, П. В. Флоренского и др.¹

Какие же факты свидетельствуют о внутренней активности Луны и в чем конкретно проявилась эта активность на протяжении длительной жизни нашего спутника?

На поверхности Луны мы наблюдаем образования, несомненно, разного возраста. Например, в Море Влажности виден полузатопленный лунный кратер — один из многочисленных кратеров этого типа. Совершенно очевидно, что кратер образовался раньше моря, которое, будучи когда-то, вероятно, в огненно-жидком, расплавленном состоянии, его затопило. Другой пример. На борту некоторых кратеров видны меньшие, паразитные кратеры. Паразитный кратер разрушил вал основного кратера. Ясно, что паразитный кратер возник позже основного.

Тщательно исследуя лунную поверхность, можно установить, как это сделал А. В. Хабаков, некоторую последовательность возникновения отдельных деталей

¹ Проблемы геологии Луны (М., «Наука», 1969). Вулканизм и тектоника Луны (М., «Наука», 1974).

лунного рельефа. По мнению А. В. Хабакова, Луна пережила по меньшей мере пять периодов бурных геологических (лучше сказать, селенологических) изменений. Иначе говоря, лунный рельеф сложился постепенно, на протяжении многих миллионов лет в результате сложного действия вулканических сил.

Есть многочисленные факты, доказывающие, что в некоторые эпохи лава обильно изливалась из лунных недр, затопляя и разрушая прежний рельеф. Например, на ровной поверхности некоторых лунных морей наблюдатель иногда замечает нечто вроде кратера. Кажется, будто кратер погружен в какую-то прозрачную массу и сквозь нее слегка «просвечивает». Такие образования астрономы называют кратерами-призраками или кратерами-фантомами. Любопытно, что при внешнем сходстве с обычными кратерами, кратеры-призраки теней не отбрасывают.

Можно думать, что кратеры-фантомы представляют собой древние кратеры, затопленные извергшейся лавой. Заметим, что иногда кратерами-фантомами называют возвышающиеся над поверхностью лунных морей, но почти разрушенные кольцевые горы.

В некоторых случаях (кратер Варгентин и ему подобные) лава, вырвавшись из центральной горки, заполнила кратер до краев да так и застыла, превратив его в столовую гору. Такие случаи — редкое исключение, но обширные лунные моря, несомненно, представляют собой области лунной поверхности, залитые давно застывшей лавой, которая скрыла древний рельеф.

В северо-восточном углу моря Дождей выделяется огромный Залив Радуги. Берег этого «залива» когда-то был валом огромного кратера. Вторая половина вала как бы утонула в том ныне твердом веществе, которое заполняет впадину Моря Дождей. Таких «полузатопленных» кратеров на Луне немало.

Изучение лунной поверхности показывает, что лунные кратеры образовались не одновременно, не вследствие какой-то кратковременной катастрофы (какой могло быть неожиданное выпадение исполинских метеоритов), а постепенно, в различные эпохи, разделенные миллионами, а может быть и десятками миллионов лет.

Вот еще факты, подтверждающие эту мысль. У восточного края лунного Моря Некгара расположены три

крупных кратера: Феофил, Кирилл и Катарина. Самый северный из них кратер Феофил вклинился в соседний кратер Кирилл, у которого благодаря этому вал не замкнут. Совершенно ясно, что сначала должен был возникнуть кратер Кирилл, а уже затем образовался разрушивший его кратер Феофил. Таких взаимно пересекающихся кратеров на Луне очень много, и они свидетельствуют о том, что горообразование на ней происходило в разное время.

Весьма интересны в этом отношении многочисленные кратеры-паразиты. В Южном полушарии Луны находится огромный лунный цирк Клавий, на валу и дне которого насчитывается не менее 20 кратеров-паразитов. Несомненно, что последние возникли после образования цирка.

Интересна известная тройка кратеров, носящих имена Архимеда, Аристила и Автолика, которые возвышаются над равниной Моря Дождей. Ясно, что они образовались после того, как возникло это «море», которое в других своих частях имеет затопленные или полузатопленные кратеры. То же можно сказать и об огромном кратере Коперник, резко выделяющемся на поверхности Океана Бурь.

Лунные горы имеют разный возраст. Лунные Апеннины — пример молодых гор, а лунный Алтай, расположенный к востоку от Моря Нектара, представляет собой весьма древнюю горную систему.

В длительной истории Луны, по-видимому, были периоды интенсивной вулканической деятельности, сопровождавшейся опусканием значительных областей лунной поверхности. Эти периоды сменялись затем эпохами относительного покоя и постоянства.

В развитии Земли и Луны как небесных тел есть много общего, поэтому особенности рельефа Луны и закономерности формирования ее поверхности могут быть изучены не только методами астрофизики, но и специальным морфологическим анализом, разработанным в земной геологии.

А. В. Хабаков, впервые широко применивший методы геологии к изучению Луны, различает шесть периодов в истории формирования лунной поверхности.

В отдаленную эпоху, которую А. В. Хабаков называет первоначальной, поверхность Луны была по-

крыта бугристой и гребнистой твердой корой. Тогда на поверхности нашего спутника почти не было кольцевых гор, которые в таком изобилии наблюдаются в настоящее время. Трудно сказать, сохранились ли до сих пор следы той эпохи. Возможно, что почти лишенные кратеров участки лунных кордильер и некоторые бугристые районы возвышенных областей Луны являются остатками первоначального рельефа.

Затем наступил древнейший, или доалтайский, период. В это время происходило интенсивное образование кратеров, следы которых, по-видимому, проявляются в фестончатой (зубчатой) изъеденности края древних Алтайских гор.

Более уверенно можно говорить о следах следующего — древнего, или алтайского, периода. От него уцелел изогнутый хребет Алтайских гор, бывший когда-то берегом огромного, но исчезнувшего в следующий период моря, который А. В. Хабаков называет средним, или птоломеевским периодом. Тогда образовалось множество кольцевых гор, полуразрушившиеся остатки которых мы наблюдаем теперь на поверхности лунных материков. Примером таких гор может служить цирк Птоломей. В тот же период сформировались и те кратеры, которые ныне мы видим полузатопленными или полностью затопленными в темном веществе лунных морей.

Птоломеевский период сменился океанским, когда на месте бесследно исчезнувших древних морей возникли и сформировались Океан Бурь, Море Дождей и другие знакомые нам темные пятна лунного «лица».

Наконец, эпоху, переживаемую ныне Луной, можно назвать новейшим, или коперниковским, периодом. На дне лунных морей появились новые кратеры, в частности кратер Коперник (рис. 33), которые выделяются на фоне более древних лунных кратеров своей прекрасной сохранностью. Возможна, конечно, и другая периодизация истории формирования лунного рельефа, например та, которую предложили А. Л. Суханов и В. Г. Трифонов, различающие в истории Луны три основных этапа¹. Но, как отмечают и сами авторы новой схемы лунной истории, она близка к схеме А. В. Хабакова и лишь несколько уточняет и детализирует ее. Важно

¹ См. сборник «Проблемы геологии Луны» (М., «Наука», 1969).

главное — вулканизм в истории Луны, несомненно, играл очень важную роль.

К сказанному можно лишь добавить, что на снимках Луны, полученных с космических аппаратов, в некоторых районах отлично видны застывшие лавовые потоки и затвердевшие лавовые озера.

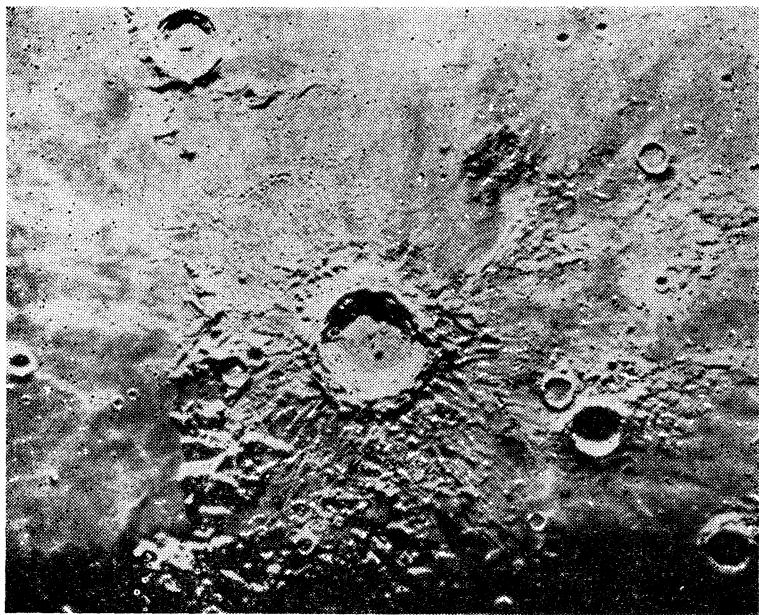


Рис. 33.
Кратер Коперник и его окрестности

Что касается тектонических движений лунной коры, то они, судя по всему, представляли собой главным образом вертикальные смещения. Классический пример — Прямая стена в Море Облаков, имеющая в длину около 100 километров при высоте около 300 метров. Это типичное сбросовое образование некоторыми астрономами в прошлом веке принималось за сооружение селенитов.

Обилие трещин на Луне свидетельствует о небольших горизонтальных смещениях в лунной коре, сопровождающихся ее разрывами. Характерно, что вдоль тре-

щин расположено, как правило, много небольших кратеров явно вулканического происхождения — ведь по трещинам в коре лава выходит на поверхность. Кратеры-лунки в окрестностях крупных кратеров, видимо, образовались при взрывном выходе газов из лунных недр. Это как бы лопнувшие и застывшие затем маленькие вулканические пузыри.

По-видимому, вулканическое происхождение имеют и купола, хотя этот вопрос еще нельзя считать окончательно решенным.

Характерная черта лунной поверхности — отсутствие признаков, свидетельствующих о сколько-нибудь значительных горизонтальных смещениях лунной коры. В этом одно из главных «геологических» различий Земли и Луны.

Так как Луна не способна удержать около себя атмосферу, газы, выделяющиеся при лунных извержениях, почти полностью и безвозвратно улетучивались, поэтому вулканизм Луны на протяжении всей ее истории сопровождался дегазацией лунных веществ. Кроме того, происходило постепенное охлаждение Луны, потеря ее внутреннего тепла. Усматривая сходство лунных кратеров с земными кальдерами, не следует забывать и о некотором их различии (например, дно лунных кратеров находится ниже окружающей поверхности). Вероятно, эти особенности лунных вулканов связаны с малой массой и своеобразной эволюцией Луны, но конкретного объяснения эти детали пока не получили.

Итак, в прошлом лунный рельеф формировался в основном под действием вулканических сил. Сохранились ли остатки былого весьма активного лунного вулканизма?

О современном лунном вулканизме

Не менее чем в 40 случаях центральные горки лунных кратеров имеют «жерла». Можно ли считать эти горки лунными вулканами — бывшими или ныне действующими?

Еще Вильям Гершель (XVIII век), а за ним и другие астрономы сообщали о наблюдениях действующих вулканов на Луне. Долгое время к такого рода сообщениям относились скептически. Но в 1958 г. пулковский аст-

роном Н. А. Козырев сфотографировал спектр углекислого газа, извергавшегося из центральной горки кратера Альфонс. Год спустя, он снова наблюдал извержение газов из того же кратера, а несколько позже заметил выделение молекулярного водорода из центральной горки лунного кратера Аристарх. В 1963 г. американские астрономы зафиксировали три лунных извержения. Таким образом, можно считать, что вулканическая деятельность на Луне полностью не угасла.

В современных каталогах нестационарных лунных явлений (В. М. Чернова и других селенологов) насчитываются многие десятки фактов, когда, например, дно некоторых лунных кратеров заволакивалось какой-то дымкой или менялся сам внешний вид объекта. Так, в 1866 г. астроном Шмидт обнаружил, что кратер Линней, находившийся в Море Ясности и наблюдавшийся до тех пор многими астрономами, неожиданно исчез. На месте кратера Шмидт увидел белое облакообразное пятно, в центре которого впоследствии заметили крохотный кратер. По данным наблюдений 1953 г., на месте кратера Линней появилась куполообразная возвышенность с глубокой впадиной на вершине.

Отмечено появление новых мелких кратеров на дне цирка Платона, а также изменение формы небольшого кратера, расположенного рядом с кратером Мессье в Море Изобилия.

На дне некоторых лунных цирков и кратеров (Платон, Эратосфен и другие) уже много лет наблюдаются странные изменчивые темные пятна. В некоторых случаях они имеют еле уловимый зеленовато-коричневый оттенок. Эти таинственные пятна изменяются в зависимости от освещения солнечными лучами: в разгар лунного дня они увеличиваются в размерах и становятся наиболее заметными, а к концу лунного дня — как бы съеживаются и блекнут. Меняется их вид и во время лунных затмений при погружении в тень от Земли.

На дне лунного кратера английский астроном Аристарх Патрик Мур недавно наблюдал темные радиальные полосы, которые, как щупальца, то удлиняются, то укорачиваются в течение лунного дня. Есть еще около 20 кратеров, где наблюдаются подобные загадочные явления, хотя и менее четко.

Все подобные явления естественно связать с остаточ-

ным лунным вулканизмом, т. е. извержением газов, а в некоторых случаях, возможно, и лавы из лунных недр. О своих наблюдениях действующих лунных вулканов Н. А. Козырев рассказывал следующее. «Три года, начиная с 1955 г., я занимался спектральными исследованиями поверхности Луны. В ту ночь, когда шла экспедиция, Альфонс показался мне ярче и белее, чем обычно. Но я, наверно, не насторожился бы, если бы буквально у меня на глазах, секунд за десять, спектр не померкнул до своего обычного, «тривиального» уровня. Я тут же закрыл затвор и начал новый снимок, чтобы потом сличить их, убедиться, что глаза мои не ошиблись.

Сомнений не оставалось: на спектрограмме были отчетливо видны новые, прежде не встречавшиеся яркие линии. Под ударами солнечных лучей газы, вырвавшиеся из лунных недр, флуоресцировали, светились...

Излучение, схваченное спектрограммой, рассказало ученым и о составе самих газов. Это были сложные молекулы, видимо, сразу распадавшиеся на более простые, в состав которых входил радикал C_2 — молекулярный углерод. Почему углерод объединился в молекулы, которые на Земле в вулканических газах почти не встречаются? Видимо, сказалось то, что на Луне нет атмосферы. Облако вулканических газов сразу же попало под жесткое излучение Солнца. Оно-то и заставило молекулы углерода перестроиться в эти радикалы.

Подсчет показал, что из недр Луны вышло около миллиона кубометров газа. Это немного по сравнению с Землей, где при извержениях вулканы выбрасывают миллиарды кубометров. Значит, вулканическая деятельность на Луне слабая. И все же это была не единственная причина, почему долгое время люди с Земли вообще не замечали действия вулканов.

На втором снимке, сделанном в ту ночь, сразу же после того, как яркость Альфонса упала, от облака газов не осталось и следа. Оно тут же исчезло. Куда? В космос, в окружающий Луну вакуум. Скорости молекул C_2 , полученные при фотодиссоциации, должны быть такими, как в головах комет, т. е. около километра в секунду... Практически облако растворилось в вакууме за несколько секунд.

Вот почему вулканы Луны так необычны и загадочны. Их очень трудно обнаружить, за ними трудно усле-

дить. Может быть, поэтому американский астроном профессор Койпер, узнав из прессы об извержении Альфонса, выступил с опровержением. В 1960 г. профессор Койпер приехал к нам в Пулково, придирчиво изучил оригиналы фотоснимков и... извинился.

После того как в 1961 г. с помощью того же метода спектрального анализа нам удалось зафиксировать выделение молекулярного водорода из кратера другого вулкана — Аристарха, американские ученые с особенным вниманием занялись визуальными наблюдениями этого кратера через телескоп. Вы помните, наверно, как восторженно описывал один из астрономов замеченные им красноватые пятна (выделения газов) над Аристархом. «Впечатление такое, — писал он, — что я смотрю на сверкающий отшлифованный рубин».

Через шесть лет после нашей встречи с Альфонсом — 27 октября 1964 г. — лицом к лицу столкнулся с этим вулканом и директор Ловелловской обсерватории профессор Холл. Он наблюдал цветные красноватые пятна в основании центрального пика кратера Альфонс.

Не скрою, мне было приятно, когда, раскрыв недавно серьезный астрономический журнал «Скай энд телескоп» («Небо и телескоп»), в рубрике знаменательных астрономических дат я встретил дату — 3 ноября 1958 г., когда была обнаружена активность Альфонса.»¹

В 1966 г. на поверхности Луны было установлено более 400 «горячих точек», т. е. небольших участков с температурой на несколько десятков градусов выше, чем в окружающей местности. Многие из «горячих точек» совпали по местоположению с молодыми лунными кратерами. Трудно отделаться от впечатления, что перед нами лавовые очаги, скрытые в лунной коре, но нагревающие ее отдельные участки.

Анализ лунных образцов, доставленных на Землю советскими автоматическими станциями и американскими астронавтами, дал новые доказательства огромной роли вулканизма в эволюции Луны. Советская автоматическая станция «Луна-16» в 1970 г. доставила образцы лунного грунта из Моря Изобилия. По составу они оказались близкими к американским образцам — породам базальтового типа, добытым экипажем американского

¹ «Техника — молодежи», 1966, № 3, с. 17.

космического корабля «Аполлон-11». По набору химических элементов они не отличаются от земных изверженных вулканических пород. Есть, однако, и некоторые различия — лунные породы обогащены титаном, цирконием и обеднены щелочами, летучими элементами. По минералогическому составу лунные породы относятся к группе базальтов. Примерно половина образцов пред-

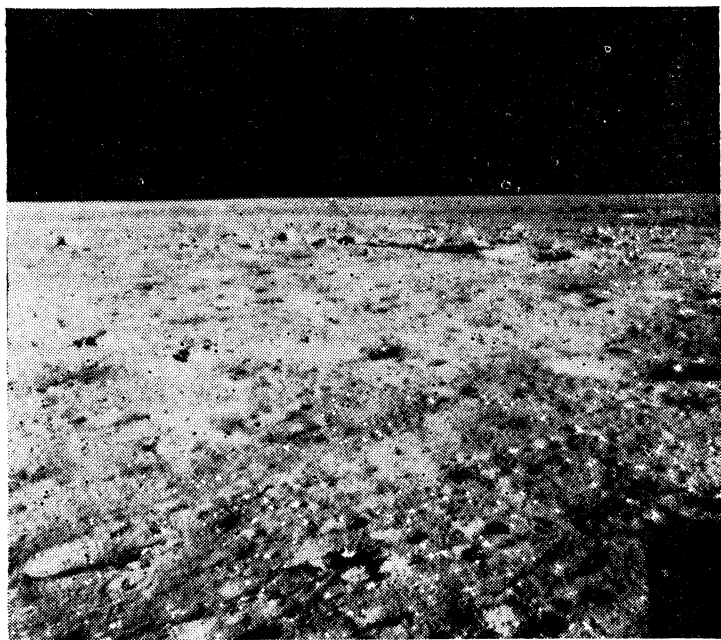


Рис. 34.

«Фотография поверхности Луны. Видны крупные лунные камни

ставляет собой брекчии, т. е. смесь обломков пород из различных минералов. Интересно, что в пробах, доставленных «Аполлоном-12» в ноябре 1969 г. из Моря Спокойствия, брекчии почти отсутствуют. Это позволяет утверждать, что в формировании лунной поверхности большую роль играли вулканические процессы.

Поверхностный слой Луны оказался состоящим из рыхлой мелкозернистой слабосвязанной породы коричнево-сероватого типа. Плотность этой породы с глубиной возрастает, а под ногами космонавтов она проседала на 5—10 сантиметров. По лабораторным данным, плотность лунного кристаллического вещества — около 3,1 грамма на кубический сантиметр (для Земли — 2,7 грамма на кубический сантиметр). Некоторые лунные образцы обладают небольшим остаточным магнетизмом.

Весьма интересны данные, полученные в 1971 г. советскими учеными с помощью «Лунохода-1», работавшего на поверхности Моря Дождей. Установлено, что процесс образования кратеров на поверхности Луны сильно растянут во времени, мелкие кратеры имеют ударно-взрывное, метеоритное происхождение. Эрозия постепенно приводит к сглаживанию форм рельефа и даже отдельных лунных камней (рис. 34). Кстати сказать, эти камни, разумеется, не метеориты, а вулканические бомбы или осколки лунных скал, образовавшиеся при лунных извержениях или падениях и взрывах настоящих метеоритов.

Поверхность Моря Дождей оказалась типичной для большей части лунных морей. Она сформировалась в результате мощного излияния базальтовых лав, и ныне покрыта сверху мягким грунтом — реголитом — продуктом дробления скальных пород. Толщина слоя этого грунта 6—8 сантиметров; на трассе «Лунохода-1» он представляет собой мелкозернистый материал, по механическим свойствам напоминающий пылеватый вулканический песок.

По химическому составу реголит схож с основными базальтовыми породами.

Аналогичные результаты были получены и «Луноходом-2», работавшим в 1973 г. на дне кратера Лемонье в Море Ясности.

Таким образом, есть все основания считать, что вулканическая активность Луны, столь мощная в прежние времена, не прекратилась и поныне. Правда, сегодня масштабы ее незначительны, и извержения лунных вулканов можно заметить лишь при постоянных тщательных наблюдениях.

Кора и недра Луны

О строении лунной коры, а тем более глубоких недр Луны нам пока известно очень мало.

Анализ движения искусственных спутников Луны позволил выявить гравитационные аномалии, вызванные концентрацией масс в близповерхностных слоях некоторых ее районов. Эти районы получили название масконов (от слов «масса» и «концентрация»).

Масконы совпадают, как правило, с большими круговыми морями (лунные Моря Дождей, Кризисов, Облаков и др.). Наоборот, под морями неправильной формы (Море Спокойствия, Океан Бурь) масконов нет. Большой маскон диаметром около 1000 километров расположен в центральной части невидимого полушария Луны.

Масса маскона под Морем Дождей составляет примерно 10^{16} тонн (10^{-4} массы Луны). В других случаях массы масконов на 1—2 порядка меньше.

Природа масконов пока не выяснена. Возможно, они сформировались из плотной лавы, извергнутой недрами Луны при ударах крупных космических тел о ее поверхность. Некоторые исследователи полагают, что масконы сформированы из толщ осадочных пород, образовавшихся на месте древних настоящих (в земном смысле) лунных морей. Сторонники этой, ставшей в последние годы популярной, гипотезы считают лунные борозды руслами бывших лунных рек. Однако могла ли Луна в прошлом хотя бы на короткое время обладать атмосферой и гидросферой, пока неясно.

Есть, правда, факты, твердо установленные и не вызывающие сомнений. Так, по данным сейсмографов, оставленных на Луне американскими космонавтами, толщина лунной коры в Океане Бурь равна 65 километрам. Любопытно, что в верхнем слое лунной коры (до глубины 25 километров) сейсмические волны распространяются со скоростью, характерной для вещества, тождественного базальту. Глубже лунная кора состоит, по-видимому, из габброидных и анортозитовых пород¹. Правда, некоторые исследователи считают, что нижний слой лунной коры сложен эклогитом — породой, в которую переходит базальт при высоких давлении и температуре.

¹ Габбро и анортозит — разновидности вулканических пород.

По гипотезе О. Ю. Шмидта, развитой его последователями, Луна образовалась при слипании частиц, близких по составу к хондритам — разновидностям каменных метеоритов. Разогрев Луны шел в дальнейшем за счет гравитационного сжатия и радиоактивного распада входящих в нее тяжелых элементов.

По расчетам сторонников «холодного» варианта рождения Луны, разогрев ее недр начался сравнительно поздно (менее чем 2 млрд. лет назад). Новые данные о Луне опровергают эту гипотезу. Во-первых, многие камни на лунной поверхности имеют возраст до 4 млрд. лет, а это означает, что лунная кора сформировалась в начальную эпоху становления Луны, т. е. около 4,6 млрд. лет назад. Во-вторых, толщина лунной коры такова, что для ее образования потребовалось бы расплавление всей Луны.

Иначе говоря, благодаря непосредственному изучению Луны ученые пришли к важному выводу: Луна в самом начале своего существования была горячей! Этот вывод, несомненно, заставит пересмотреть многие теории.

Хотя обработаны пока лишь немногие материалы программы «Аполлон», внутреннее строение Луны в самых общих чертах сегодня уже можно представить себе достаточно четко.

Лунная кора составляет примерно десятую долю массы Луны и по химическому составу более однородна, чем земная. Возможно, что на обратной, «материковой» стороне Луны кора несколько толще, чем на видимом с Земли лунном полушарии.

На материковой стороне Луны отношение алюминия к кремнию в породах значительно выше, чем в пределах морей. Вероятно, это вызвано тем, что материки — остатки первичной лунной коры, содержащей больше радиоактивных элементов, чем «морская» кора.

13 мая 1972 г. на поверхность Луны упал крупный метеорит. Сотрясения, им вызванные, были зарегистрированы лунными сейсмографами, и это позволило выявить строение Луны вплоть до ее центра. Ниже лунной коры до глубины 960 километров простирается мантия, окружающая ядро. Диаметр ядра оказался неожиданно большим — около 1500 километров. По-видимому, оно затвердело еще 3 млрд. лет назад.

В настоящее время Луна обладает общим магнитным полем, напряженность которого в 1000 раз меньше напряженности геомагнитного поля в районе экватора. В ту пору, когда лунное ядро было жидким, оно могло давать заметный динамо-эффект; следы его мы находим в остаточном магнетизме некоторых лунных пород.

Несомненно, что эти скудные данные о лунных недрах со временем дополнятся новой информацией. Настоящее знакомство с лунным миром только начинается.



Мы полагаем, что если будет построена новая теория Земли — с учетом как астрогеологических данных, так и достижений географии, то это даст возможность подойти к созданию **планетологии** — науки, изучающей закономерности развития не только одной Земли, но и других планет.

Б. Л. Личков

Бледные туманы Меркурия

С тех пор, как телескопы раскрыли перед астрономами некоторое, по крайней мере внешнее сходство планет и Земли, все усилия были направлены на то, чтобы выяснить, как далеко простирается это сходство и в какой мере планеты Солнечной системы можно называть «небесными землями». Это не простое любопытство: может быть, при изучении планеты удастся установить прошлое или будущее Земли, осмыслить общий ход планетной эволюции.

Впервые термин «планетология» был введен в обиход в начале текущего века знаменитым исследователем Марса — Персивалем Ловеллом. Под планетологией он понимал общую теорию планет — их возникновение, развитие и

РОЖДЕНИЕ ПЛАНЕТОЛОГИИ

смерть. Основываясь на фактических данных, которыми он располагал, Ловелл утверждал, что все планеты проходят в общем сходный жизненный цикл, и потому в Марсе он видел будущее Земли.

Дальнейшее более детальное телескопическое знакомство с планетами, казалось, подтверждало правильность концепции Ловелла. В рельефе Марса некоторые исследователи находили сходство с земными поверхностными структурами. Пытались (и не безуспешно) создать общую теорию развития Земли, опираясь на скудные данные планетной астрофизики. Ввели даже термин «астрогеология» — менее удачный, чем термин «планетология», но равнозначный по смыслу. Все эти работы астрогеологов были, безусловно, важным этапом в понимании общих закономерностей эволюции планет¹.

Однако первые непосредственные исследования Венеры и Марса средствами космонавтики доказали, что у планет с Землей, пожалуй, больше различий, чем сходства, и что во всяком случае об общем, одинаковом для всех планет цикле развития говорить не приходится. В прежние, подчас умозрительные схемы приходится вводить существенные коррективы. Мы переживаем сейчас бурную ломку прежних, иногда наивных представлений о планетах, и по существу только теперь на наших глазах рождается настоящая, основанная на достоверных фактах планетология.

Пока это еще, конечно, не теория развития планет и даже не комплекс правдоподобных гипотез на эту тему. Сейчас идет накопление и предварительное осмысливание фактов. Но и то, что нам уже стало известно о планетах, помогает по-новому оценить земные структуры и геологическую историю.

Наше знакомство с миром планет мы, естественно, начнем с Меркурия.

С Земли Меркурий наблюдать трудно. Причина общеизвестна: Меркурий близок к Солнцу. Только 58 млн. километров отделяют эту планету от центрального тела нашей Солнечной системы, что составляет около 0,4 расстояния от Земли до Солнца. Впрочем величина эта средняя. Благодаря сильной вытянутости орбиты Мерку-

¹ См. «Астрогеологию» (Географический сборник, т. XV, 1962), «Проблемы планетарной геологии» (М., «Наука», 1963).

рия расстояние между ним и Солнцем может уменьшаться до 46 млн. километров и возрастать до 70 млн. километров.

На небе Меркурий всегда находится в непосредственном соседстве с Солнцем, поэтому почти постоянно скрывается в его ослепительных лучах. Только при наиболее благоприятном стечении обстоятельств он удаляется от Солнца на 28 градусов, что составляет 56 видимых поперечников Луны. В такие периоды Меркурий иногда удается наблюдать в лучах утренней или вечерней зари как желтоватую, сравнительно яркую звездочку.

Кстати, если бы можно было перенести Меркурий на ночное небо, его блеск почти не уступал бы блеску Сириуса — ярчайшей из звезд.

При наблюдении в телескоп Меркурий (как и Венера) напоминает крошечную Луну. Есть, однако, существенное отличие фаз Меркурия и Венеры от фаз Луны. Видимые размеры Луны в любых ее фазах одинаковы. Иначе выглядят Меркурий и Венера. Наибольших видимых размеров эти планеты достигают при наименьших фазах. Наоборот, когда Меркурий и Венера становятся полными дисками и, следовательно, земному наблюдателю их поверхность раскрывается в наибольших размерах, обе планеты, находясь за Солнцем, практически невидимы; кроме того, их видимые поперечники становятся наименьшими. Вечером и утром Меркурий наблюдать тоже не вполне удобно, так как он виден низко над горизонтом сквозь запыленный и волнующийся от воздушных токов слой атмосферы.

Как это ни парадоксально, но лучше всего наблюдать Меркурий днем. Да, именно днем, при полном солнечном свете. Для этого необходимо направить телескоп на то место неба, где должен находиться Меркурий, и заслонить объектив от прямых солнечных лучей каким-нибудь экраном.

Так и поступил знаменитый французский исследователь планет Э. Антониади, когда летом 1927 г. занялся систематическими наблюдениями Меркурия. В распоряжении Антониади находился великолепный телескоп Медонской обсерватории с поперечником объектива 83 сантиметра. Атмосфера в районе Медона отличалась достаточным спокойствием и сравнительной прозрач-

ностью, а главное — сам наблюдатель к тому времени получил всемирную известность как один из наиболее искусных исследователей планет.

Карта дневного полушария Меркурия, составленная Антониади, изобилует разнообразными пятнами — светлыми и темными. Нарушая традицию, по которой темным пятнам Луны, а затем и Марса было присвоено название морей, Антониади решил сероватые пятна на поверхности Меркурия называть пустынями.

Как установил Антониади, видимость деталей на диске Меркурия значительно меняется. Иногда пятна на поверхности планеты заволакиваются какой-то дымкой, каким-либо легким туманом. Эти «бледные туманы», как назвал загадочные образования Антониади, белесоватые, большей частью весьма прозрачные, но иногда достигают такой густоты, что за ними полностью скрываются темные пустыни. Туманы наблюдаются преимущественно на краях диска Меркурия, причем часто они кажутся беловатыми полосами длиной иногда до 5 000 километров.

Снимки Меркурия, полученные французским астрономом Ф. Кенюэ в 1931 г., зафиксировали некоторые из загадочных туманов.

Белизна туманов Меркурия оказалась весьма далекой от белизны наиболее бледных земных облаков, но в реальности их Антониади не сомневался. Он был убежден, что Меркурий окружен атмосферой, хотя его туманы не имеют ничего общего с облаками и туманами Земли.

Выводы об атмосфере Меркурия, к которым пришел Антониади, долгие годы вызывали сомнения. Нужен был очень тренированный глаз, чтобы увидеть «бледные туманы» Меркурия, да, кроме того, размеры Меркурия, близкие к размерам Луны, исключали, казалось, всякую возможность существования вокруг него сколько-нибудь плотной воздушной оболочки. О каких же тогда ветрах могла идти речь? Правда, поперечник Меркурия на 1400 километров больше диаметра Луны, а по массе Меркурий превосходит Луну в три раза, так что вопрос об атмосфере Меркурия нельзя было считать решенным.

Летом 1942 г. систематические исследования Меркурия были продолжены соотечественником Антониади астрономом А. Дольфусом. Обстановка, в которой велись эти наблюдения, была необычной. Обсерватория Пик дю Миди, где наблюдал Дольфус, находится в Пиренеях

на высоте 2870 метров над уровнем моря. Чудесный горный воздух, исключительная прозрачность и спокойствие атмосферы содействовали успеху. Вначале Дольфус работал с телескопом, поперечник которого составлял 38 сантиметров, в 1944 г. с телескопом, у которого диаметр объектива был 60 сантиметров. Прекрасные атмосферные условия вполне компенсировали некоторое «инструментальное» преимущество Антониади.

После 10 лет непрерывных наблюдений Дольфус опубликовал (в 1953 г.) полученные им результаты. Ему и его сотрудникам удалось сделать много фотоснимков Меркурия и на их основе составить первую фотокарту этой планеты. Она сходна с картами других наблюдателей.

Однако в отличие от Антониади Дольфус никаких «бледных туманов» на Меркурии не наблюдал. Да и большинство других астрономов было убеждено, что Меркурий лишен атмосферы. К этой «азбучной истине», вошедшей во все учебники астрономии, добавлялась и другая — вращение Меркурия синхронно, т. е. он всегда обращен к Солнцу одной и той же стороной.

Как это нередко бывает в науке, обе «истины» оказались ошибочными. Для исследования планет была применена радиолокация. Радиолокатор посылает к исследуемому объекту радиоволны, а затем фиксирует вернувшуюся их отраженную часть. Измерив время прохождения радиоволн «туда и обратно» легко рассчитать расстояние до предмета. Современные радиолокаторы, используемые в астрономии, столь точны, что позволяют определить даже рельеф планеты. Если планета вращается вокруг оси, от разных точек ее поверхности радиоволны отражаются по-разному. Из-за этого отраженный радиосигнал как бы «размазывается» по сравнению с посланным радиолучом — диапазон длин радиоволн в отраженном луче расширяется (за счет так называемого эффекта Допплера). По величине этого расширения легко вычислить скорость осевого вращения планеты.

Радиолокационные наблюдения Меркурия неопровержимо доказали, что сутки на этой планете равны 58 земным суткам, что на целый земной месяц короче меркурианского года.

Что касается затянувшегося спора об атмосфере Меркурия, то он был окончательно решен лишь в конце

1973 г.: 10 ноября этого года произошло сравнительно редкое явление — прохождение Меркурия по диску Солнца. В Крымской астрофизической обсерватории его наблюдал Н. А. Козырев. Когда черный маленький диск Меркурия чуть-чуть заслонил край Солнца, вокруг Меркурия Н. А. Козырев заметил слабосветящийся ободок — освещенную солнечными лучами атмосферу Меркурия. Судя по величине ободка, толщина атмосферы Меркурия значительна — порядка 600 километров. Спектр ободка содержал широкие линии атомарного водорода.

Таким же методом, как известно, еще в 1761 г. М. В. Ломоносов открыл плотную атмосферу Венеры, но до Н. А. Козырева применение «метода Ломоносова» к Меркурию было безрезультатным.

Как известно, 29 марта 1974 г. американский аппарат «Маринер-10» пролетел на расстоянии около 700 километров от поверхности Меркурия. Приборы межпланетной станции уверенно зафиксировали присутствие вокруг Меркурия атмосферы, состоящей из аргона, неона и гелия с примесью водорода. По сравнению с земной атмосфера Меркурия очень разрежена. Хотя ни дымки, ни облаков пока не наблюдалось, сообщения Антониади о «бледных туманах» Меркурия сегодня уже не выглядят совсем фантастическими. Температурные контрасты на Меркурии рекордные — от плюс 510°C на дневной стороне, до минус 185°C на ночной! Зарегистрировано также слабое магнитное поле, по напряженности в 100 раз слабее земного.

Пейзажи Меркурия удивительно напоминают лунные. Если положить рядом фотоснимки серпа Луны и серпа Меркурия, испещренные кратерами, то неспециалист вряд ли их различит.

На снимках Меркурия, переданных на Землю «Маринером-10», видны кратеры, диаметром от 800 метров до 120 километров. От некоторых из них отходят длинные светлые лучи, как от лунного кратера Тихо. Различимы и центральные горки, возвышающиеся над дном ряда кратеров. Есть и долины, и бороздки, подобные лунным, и, конечно, темные области, подобные лунным морям. У южного края Меркурия виднеется впадина, создающая впечатление, что здесь от планеты отколот крупный кусок. Характерно, что на Меркурии нет заметных следов ветрового или водного разрушения, так как атмос-

фера Меркурия, вероятно, всегда была разреженной, а гидросферы на нем и вовсе никогда не было.

Высокая средняя плотность Меркурия ($5,5 \text{ г/см}^3$) и наличие вокруг него магнитного поля позволяют думать, что у этой планеты есть небольшое, но плотное центральное ядро.

Несмотря на присутствие атмосферы и «бледных туманов», Меркурий все же больше похож на Луну, чем на Марс, и тем более на Землю. Все-таки масса планеты во многом определяет и ее общий физический облик, и ход ее эволюции.

Наша мрачная соседка

Наша соседка в мировом пространстве — планета Венера — является после Солнца и Луны самым ярким небесным светилом. В те периоды, когда блеск Венеры достигает максимума, она становится в 13 раз ярче Сириуса, и тогда предметы, освещенные ею, отбрасывают заметную тень.

Венера окутана плотной облачной атмосферой. Ее облака, подобно земным, отражают значительную долю падающих на них солнечных лучей. Этим и объясняется как необычный блеск Венеры, так и ее ярко-белая окраска.

Наличие атмосферы вокруг Венеры вполне естественно. Ведь наша небесная соседка по размерам и массе лишь немного уступает Земле. Поперечник у Венеры равен 12 600 километрам (у Земли — 13670 километров), а ее масса составляет 0,82 массы земного шара. Из количества вещества, образующего Землю, можно было бы «слепить» планету, равную Венере, и еще около 17 шаров, по массе равных Луне.

Хорошо известно, чему равен год Венеры: эта планета обходит Солнце на расстоянии 108 млн километров за 225 земных дней. О скорости вращения Венеры вокруг ее оси долгое время ничего определенного не знали. Виновата в этом атмосфера Венеры. Сквозь нее не видно ни одной детали, относящейся к твердой поверхности планеты, по смещению которой можно было бы определить продолжительность суток на Венере.

Лишь недавно с помощью радиолокаторов установили, что сутки на Венере в 243 раза продолжительнее зем-

ных, по вращается она в противоположную сторону, чем остальные планеты.

Еще в 1643 г. современник Галилея астроном Риччиоли открыл пепельный свет Венеры — странное свечение неосвещенной части ее диска. В начале прошлого века астроном Грюйтхаузен дал этому эффекту объяснение совсем необычайное. По его мнению, в те годы, когда пепельный свет удастся увидеть, жители Венеры устраивают праздничные иллюминации «... в честь восшествия на престол нового властителя планеты» (!). В конце прошлого века другой известный романтик — астроном Камилл Фламмарин — утверждал с непреклонной категоричностью, что на Венере «...животный мир и человечество должны несколько отличаться от тех же представителей органического мира на Земле. Что касается представления о нем как о пустынном и бесплодном мире, то подобная гипотеза не могла бы появиться в уме ни у одного натуралиста».

Первый удар всем этим розовым иллюзиям нанесла астрофизика. Уже в начале текущего столетия средства астрофизических исследований достигли такого уровня, что кислород на Венере (будь он там таким же обильным, как на Земле) можно было бы обнаружить. Но этот живительный газ, неизменный спутник земных форм жизни, как раз и не оставлял никаких следов на спектрограммах Венеры. Зато еще в 1936 г. в спектре Венеры открыли мощные полосы углекислого газа. Уже тогда, более трех десятилетий назад, атмосфера Венеры казалась удушливой, исключаяющей земные формы жизни.

Ранним утром 18 октября 1967 г. советская межпланетная станция «Венера-4» достигла поверхности планеты и сообщила, что на Венере очень-очень жарко — 280°C выше нуля! Мало того, ужасающая жара сопровождается непривычным для нас давлением — не менее 15 атмосфер. Прибавьте к этому постоянно пасмурное небо, сквозь которое солнечный свет проходит, по-видимому, очень плохо, и вы получите картину, жуткую и непривычную для наших земных глаз.

У Венеры нет радиационных поясов, что также твердо установлено. Придется пересмотреть гипотезы о происхождении и природе магнитных полей планет. Теперь уже нельзя утверждать, что большая масса планеты неизбеж-

но свидетельствует о наличии вокруг нее магнитного поля. Масса Венеры лишь на 20% меньше массы Земли, а никаких следов венерианского магнетизма пока не обнаружено.

Видимо, образование магнитного поля планет связано не только с их массой, но и со скоростью осевого вра-

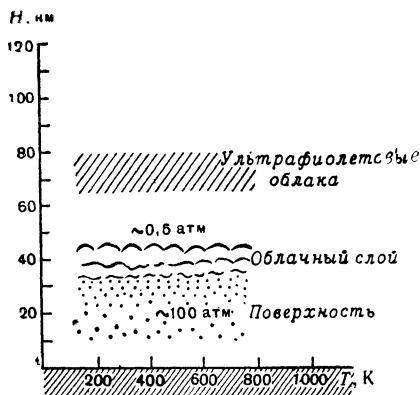


Рис. 35.
Строение атмосферы Венеры

щения (точнее говоря, с моментом вращения). Однако детали этой связи пока неясны.

Атмосфера Венеры оказалась, по нашим земным представлениям, просто удушливой: на 90—95% она состоит из углекислого газа без заметного присутствия азота (рис. 35). Что касается кислорода, то на Венере он есть, но, увы, в количестве, не превышающем 0,4% общей массы атмосферы (на земле — 21%). Есть и водяные пары, но вместе с кислородом их не больше 1,6%. В этой плотной, облачной углекислой атмосфере температура растет просто стремительно — на 10° через каждый километр!

Почему так жарко на Венере? Помимо Солнца, во многом тут повинен в этом «парниковый эффект». Действуя, как своеобразное одеяло, плотная облачная атмосфера не выпускает наружу инфракрасное, «тепловое» излучение поверхности.

Остались ли, однако, какие-нибудь шансы обнаружить на Венере жизнь? Радиоастрономия, столь блестяще проявившая себя в изучении Венеры, установила еще один важный факт. Земные радары пробили толщу венериан-

ской атмосферы и выявили на поверхности планеты две громадные горные цепи. Одна из них простирается с севера на юг почти на 4000 километров, другая, расположенная в широтном направлении, еще длиннее. Гористая суша — преобладающая форма венерианского рельефа. Радары (совместно с земными лабораторными исследованиями) установили еще одну важную деталь: на Венере возможны породы из кварца, карбонатов и силикатов, но там нет ни гранитов, ни магнетитов, ни каких бы то ни было углеводов.

Как уже говорилось, по данным радиолокации, Венера медленно обращается вокруг своей оси в обратном направлении (с востока на запад). Одни сутки на этой сумеречной планете — целых 243 земных! Между тем оптические наблюдения говорят о некоторых почти постоянных деталях облачного слоя, совершающих полный оборот всего за четверо суток. Примирить эти вопиющие противоречия можно лишь одним — гипотезой о своеобразной метеорологии Венеры. По-видимому, там дуют сильнейшие постоянные широтные ветры, оббегающие экватор планеты за четыре дня. Они-то и создают иллюзию быстрого вращения планеты.

Казалось, сильные ветры должны рано или поздно (совместно с дождями) сровнять рельеф Венеры. На самом деле этого не произошло: вероятно, потому, что там и сейчас весьма активна как тектоническая, так и вулканическая деятельность.

Дальнейшие (после 1967 г.) исследования Венеры советскими и американскими межпланетными автоматическими станциями уточнили детали (некоторые из них очень существенные), но не изменили общего представления о ней как, пожалуй, о самой мрачной и негостеприимной планете Солнечной системы.

Твердо установлено, что и на дневной, и на ночной сторонах Венеры условия (вблизи ее поверхности) практически одинаковы — давление около 100 атмосфер, температура около 500° С. В феврале 1974 г. «Маринер-10» обнаружил в атмосфере Венеры атомарный углерод, кислород и водород. Первые два из этих газов, по-видимому, продукты разложения углекислоты. Что касается водорода, то он или извергнут вулканами Венеры или появился в верхних слоях ее атмосферы в результате разложения молекул водяного пара солнечными лучами. Природа

облаков Венеры пока остается неясной, но, судя по ряду признаков, они могут состоять из мельчайших капелек серной кислоты!

Ось вращения Венеры, как и Юпитера, перпендикулярна к плоскости ее орбиты. Это означает, что на Венере нет смены времени года, а атмосферная циркуляция (как показывают наблюдения) весьма своеобразна: нагретый у экватора воздух по спиральям устремляется в высокие широты, а затем каким-то пока неясным способом снова возвращается к экватору. Благодаря этому облачные полосы на Венере отдаленно напоминают поваленную букву V. Эти отличительные черты атмосферной циркуляции на Венере обусловлены еще и тем, что на ней нет морей и океанов и поверхность представляет собой сплошную раскаленную сушу.

Земные радиолокаторы, пробив облачный покров Венеры, нашли на ее твердой поверхности сложный рельеф — горные цепи высотой до 3 километров, протяженностью многие сотни километров, и множество кратеров, иногда очень крупных, но с невысокими валами (до 1 километра). Судя по ряду признаков, ветровая эрозия на Венере сильно сглаживает ее рельеф, но этому противоборствует активная вулканическая и тектоническая деятельность.

По данным станции «Венера-8» (1972 г.) и радиолокационным наблюдениям с Земли, грунт Венеры рыхлый (плотность $1,5 \text{ г/см}^3$), а по содержанию радиоактивных элементов приближается к земным породам типа гранитов.

О внутреннем строении Венеры достоверных данных нет, а предложенные модели носят чисто умозрительный характер. Установка сейсмографов на поверхности Венеры и получение от них сведений сопряжено с огромными трудностями: ведь вся аппаратура, размещаемая на поверхности Венеры, должна сочетать прочность батискафов с высокой термоустойчивостью. Однако успешный опыт мягких посадок на поверхность Венеры советских автоматических станций показывает, что сейсмологические эксперименты на этой планете — дело недалекого будущего.

В октябре 1975 г. советские межпланетные станции «Венера-9» и «Венера-10» совершили мягкую посадку на Венеру и впервые передали на Землю изображение

ее поверхности. Оказалось, что эта поверхность усеяна многочисленными камнями, напоминающими вулканические бомбы. Их хорошая сохранность, отсутствие заметных следов эрозии заставляет думать, что активные вулканические процессы свойственны и современной Венере. На снимках видны также образования, напоминающие застывшие лавовые потоки.

Освещенность венерианской поверхности сравнительно велика, и, что особенно интересно, камни отбрасывают заметные тени. Это означает, что они освещены прямыми лучами Солнца, иначе говоря, в облачном покрове Венеры есть «просветы» и «окна» относительной прозрачности.

Марс сегодня и вчера

В 1965 г. американская автоматическая станция «Маринер-4» передала на Землю первые снимки поверхности Марса, и, когда один из них опубликовала «Комсомольская правда», в редакцию газеты позвонил известный ленинградский астроном и поинтересовался, не спутала ли редакция по неведению фотографии Луны и Марса. Но ошибки не было. Ко всеобщему изумлению астрономов, Марс, по крайней мере внешне, оказался удивительно похожим на Луну. Дальнейшие исследования лишь подтвердили это сходство (рис. 36).

Первый полет к Марсу в 1962 г. совершила советская межпланетная автоматическая станция «Марс-1», исследовавшая свойства межпланетной среды. В 1971 г. окрестностей Марса достигли «Марс-2» и «Марс-3». От станции «Марс-3» отделился спускаемый аппарат, совершивший мягкую посадку на планету. Свыше 8 месяцев исследовались атмосфера и поверхность Марса. Но фотографирование марсианского ландшафта было осложнено пылевой бурей. В 1973 г. в окрестностях Марса работали станции «Марс-4» — «Марс-7», сделавшие высококачественные фотографии Марса с близких расстояний. Спускаемый аппарат «Марса-6» передал новые сведения об атмосфере планеты.

Неожиданное сходство Луны и Марса поставило перед наукой ряд новых проблем. И прежде всего встали вопросы: чем вызвано это сходство, какую оценку в свете новейших данных о Марсе получают популярные гипотезы о марсианской растительности и марсианских кана-

лах, реальны ли эти каналы, или новейшая информация о Марсе свидетельствует о том, что эта планета столь же безжизненна, как Луна?

Постараемся разобраться во всех этих проблемах. Когда изображения Марса «очистили» от всевозможных помех (что оказалось весьма нелегким делом), то, как

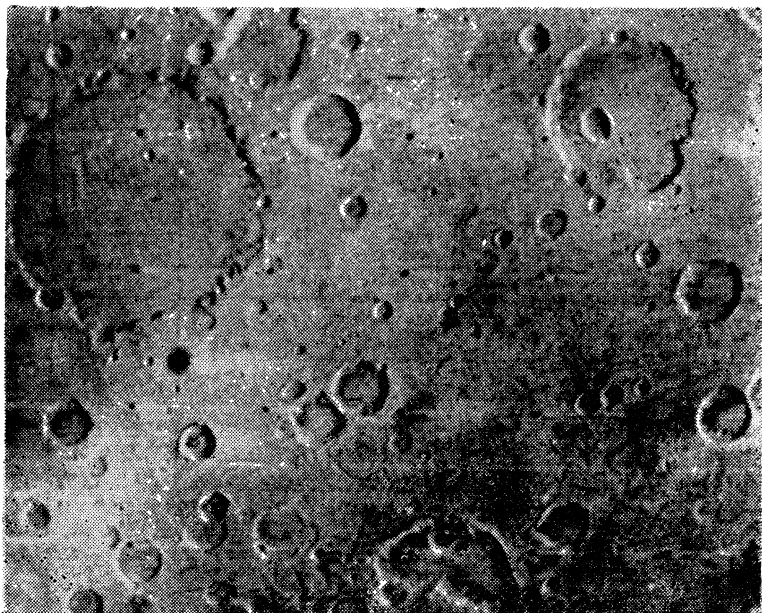


Рис. 36.

Фотография участка марсианской поверхности

из рассеивающегося тумана, выступили четкие марсианские ландшафты. Все, что на первоначальных снимках казалось неясным, теперь просматривалось вполне отчетливо. Выявились множество новых, ранее не замеченных деталей. Первое, что бросается в глаза, — изобилие кратеров, по форме, строению и размерам не отличающихся от лунных. На 22 сфотографированных участках зафиксировано 635 кратеров. Стало ясно, что если такая картина характерна для всего Марса, то на его поверхности должно насчитываться не менее 150 000 достаточно крупных кратеров. Поперечники их различны — от не-

скольких километров до нескольких сотен километров. У большей части кратеров окаймляющий вал невысок (не более 200—300 метров), а внешний его край весьма пологий (наклон 5—10 градусов).

Как и на Луне, кратеры — основная, но далеко не единственная форма рельефа Марса. На нем различимы также обширные протяженные горные цепи, поднимающиеся на несколько километров. Любопытны бороздки — прямолинейные образования длиной до 200—300 километров и шириной 3—5 километров. Некоторые из них напоминают исполинские прорезы. Скорее всего это следы тектонических разломов в марсианской коре.

Летом 1969 г. «Маринер-6» и «Маринер-7» сфотографировали экваториальную зону Марса и район южнее полярной шапки. Среди множества кратеров на этих снимках выделялся один, диаметром около 500 километров. Были зафиксированы небольшие пустынные, сравнительно ровные районы. Но это редкие исключения. В целом Марс оказался очень гористой планетой.

А ведь до 1965 г. Марс представлялся нам совсем иным! Все мы с детских лет были убеждены, что Марс — «живое» будущее Земли, что процессы эрозии сгладили на этой планете все формы рельефа, угасшие внутренние силы не способны образовать новые горы и большая часть поверхности Марса — почти идеально ровная, безбрежная пустыня, покрытая красновато-оранжевым порошком — лимонитом. Даже моря Марса и те представлялись нам весьма неглубокими обширными впадинами, покрытыми чахлой марсианской растительностью. Впрочем, последнее признавалось далеко не всеми. Еще совсем недавно акад. В. Г. Фесенков писал, что «... против какой бы то ни было растительности с ее разветвленными формами говорит совершенно гладкая поверхность марсианских морей, которые мало отличаются в этом отношении от совершенно ровных матовых пустынь, покрытых, очевидно, мелким песком».

Космонавтика еще не раз удивит астрономов, но наша задача состоит в том, чтобы от изумления перейти к объяснению. Все, что мы знаем сегодня о Луне (включая и последние анализы лунных камней в земных лабораториях), позволяет утверждать, что в формировании лунного рельефа главная роль принадлежит вулканизму. Разумеется, падение на Луну крупного метеорита неиз-

бежно породит небольшой метеоритный кратер. Но возникновение крупных кратеров и других форм рельефа метеоритная гипотеза объяснить не в состоянии.

Судя по всему, именно вулканизм и метеоритные удары определили внешний облик не только Луны и Марса, но и других внутренних планет Солнечной системы.

Еще на снимках, сделанных в 1965 г., видно, что некоторые марсианские горы покрыты каким-то белым веществом — то ли снегом, то ли инеем. На снимках 1969 г. зафиксированы облака. Кстати сказать, некоторые из них проплывали над упомянутым выше крупнейшим марсианским кратером. Южный полюс Марса и его окрестности — это исключительно гористая страна, испещренная кратерами, горами и ущельями. И на этом «лунном» фоне — мощные скопления белого вещества, напоминающего земные оползни и ледники.

Как своеобразен марсианский мир! В нем причудливо сочетается и лунное и земное. Луна лишена атмосферы, вокруг Марса она есть. И над типичным «лунным» ландшафтом вдруг появляются белые облака, а вершины лунных гор покрыты чем-то весьма напоминающим лед или снег. Что же это такое?

До лета 1969 г. большинство астрономов считало, что главная составляющая марсианской атмосферы — азот. Однако специальная аппаратура, установленная на космических аппаратах, не обнаружила в атмосфере Марса ни малейших следов азота. Выходит, что основой марсианской атмосферы служит открытый еще в 1947 г. наземными астрономическими средствами углекислый газ. Прибавьте к этому бесспорные, хотя и еле различимые, следы водяного пара, найденные в спектре Марса в 1963 г.

Долгое время оставалось неясным, есть ли в атмосфере Марса кислород. Недавно эта важная проблема получила, по-видимому, положительное решение. На американской обсерватории Кит-Пик с помощью солнечного телескопа за две ночи (18 и 19 января 1967 г.) ученые М. Белтон и Д. Хантен четырежды сфотографировали спектр Марса. Для сравнения были получены и две спектрограммы Солнца, причем в моменты, когда оно находилось на такой же высоте над горизонтом, как Марс.

Идея этой методики достаточно проста. Если в атмосфере Марса есть кислород, то спектр Марса не будет

простой копией солнечного спектра. Солнечные лучи соответствующей длины тогда поглощаются не только в земной, но и в марсианской атмосфере. Как раз такую картину и обнаружили М. Белтон и Д. Хантен. Чувствительность применявшейся аппаратуры была столь высокой, что возможность ошибки как будто исключена.

Итак, наконец, после многих десятилетий тщательных поисков в атмосфере Марса найден молекулярный кислород. Доля его в марсианской атмосфере невелика — всего около 0,3 процента (в земной атмосфере кислород составляет 21 процент). Что означает этот факт? Доказывает ли он реальность марсианской биосферы?

Если в атмосфере планеты есть кислород, то это еще не значит, что он выделен растениями, т. е. что на такой планете существует жизнь. Известен другой, «неорганический» источник свободного кислорода.

Представьте себе, что атмосфера планеты богата углекислым газом CO_2 . Может случиться так, что некоторые энергичные коротковолновые кванты солнечного света, столкнувшись с молекулой CO_2 , раздробят ее на два «осколка». В результате подобной «фотодиссоциации» (так астрофизики называют этот процесс) возникают молекулы угарного газа CO и атомарный кислород O . Если затем произойдет тройное столкновение (двух атомов кислорода и какой-нибудь третьей частицы), может образоваться молекула кислорода O_2 .

Расчеты, однако, показывают, что вероятность таких процессов невелика, а значит, количество молекулярного кислорода, образовавшегося в атмосфере планеты «неорганическим» путем, незначительно. В атмосфере Марса есть углекислый газ, и процессы разложения его солнечным светом на угарный газ и молекулярный кислород бесспорно происходят. Но столь же бесспорны данные расчетов, доказывающие, что такие процессы породили бы в атмосфере Марса в 1000 раз меньшее количество кислорода, чем то, которое обнаружили М. Белтон и Д. Хантен.

Молекулярный кислород в атмосфере Марса, возможно, имеет биогенное происхождение. Можно предположить, что он образуется так же, как на Земле, в процессе жизнедеятельности каких-то растений.

Скептики могут возразить: не действуют ли на Марсе неизвестные нам неорганические источники, пополняю-

шие его атмосферу куслородом? Таких источников ни геофизики, ни астрофизики не знают. Только растительный мир способен непрерывно и обильно пополнять атмосферу кислородом. Подсчитано, что, если бы земные растения вдруг перестали выполнять роль поставщиков атмосферного кислорода, то он исчез бы из атмосферы Земли. Кислород вошел бы в соединения с другими элементами всего за 2000 лет. Значит, если бы на Марсе при каких-либо неизвестных нам неорганических процессах кислород выделялся в атмосферу, он очень быстро вернулся бы из нее в связанное состояние как весьма активный окислитель поверхностных пород.

Следует отметить, что долгожданное открытие кислорода в атмосфере Марса отлично согласуется с сезонными изменениями его «морей».

На Земле основной поставщик атмосферного кислорода — океан, точнее планктон земной гидросферы. За год с 1 квадратного сантиметра поверхности океан выделяет в атмосферу 0,031 грамма кислорода. Леса и пашни соответственно дают в год 0,018 и 0,010 грамма кислорода. Гораздо менее продуктивны степи (0,0026 грамма) и пустыни (0,0003 грамма).

Марс лишен океанов, морей и, по-видимому, вообще сколько-нибудь значительных открытых водоемов. Если гемные области Марса по своей способности выделять кислород приближаются к земным степям или пустыням, то годичный выход кислорода в марсианскую атмосферу составляет десятки миллионов тонн. Только при самых оптимистических предположениях о жизнедеятельности марсианской биосферы в атмосфере Марса должны содержаться десятки миллиардов тонн кислорода. Но именно в таком количестве его и обнаружил спектральный анализ.

Если атмосфера Марса состоит в основном из углекислоты с небольшой примесью водяных паров и кислорода, то что представляют собой полярные шапки Марса? Можно ли считать замерзшей водой то белое вещество, которое покрывает марсианские горы? Или таинственное белое вещество — нечто иное, например затвердевшая углекислота, вроде того «сухого льда», с помощью которого сохраняют мороженое?

О природе полярных шапок Марса высказывались разные мнения. Предполагали, что это скопление обла-

ков, но относительное постоянство полярных шапок заставило отказаться от этой гипотезы. Не могут быть полярные шапки и белыми соляными покровами — эта надуманная гипотеза была отвергнута еще в начале века.

Сейчас некоторые астрономы склонны считать таинственное белое вещество замерзшей углекислотой, что как будто неплохо согласуется с избытком углекислого газа в марсианской атмосфере. Но, с одной стороны, «сухой лед» испаряется (точнее, возгоняется, минуя жидкую фазу) уже при температуре минус 78°C . Между тем, по данным космических аппаратов, температура на Марсе колеблется в разных районах от минус 73 до плюс 24°C . Что же касается полярных шапок Марса, то они сохраняются даже при температуре, близкой к нулю. С другой стороны, отражательная способность полярных шапок в инфракрасных лучах сходна с той, которая наблюдается у снега, и несравненно ниже, чем у твердой углекислоты. Наконец, вокруг тающих полярных шапок Марса всегда видна темная кайма, представляющая собой, по-видимому, увлажненные поверхностные породы. «Сухой лед» не тает и потому увлажнять почву не может.

Остается признать, что марсианское загадочное белое вещество скорее всего снег, лед или иней. Если это так, предстоит объяснить, почему при наличии мощных ледников и снеговых оползней, обнаруженных космическими аппаратами вокруг южного полюса Марса, его атмосфера так суха. Почему эта замерзшая вода не поступает в атмосферный сезонный круговорот, а каким-то образом распространяется от тающей полярной шапки почти на всю поверхность планеты? Ведь только распространением влаги, орошением удается пока объяснить ту темную волну, которая каждую весну бежит от полюса к экватору. Невольно создается впечатление, что вода от полярной шапки Марса распространяется над поверхностью планеты, но в атмосферу Марса почти не поступает ни непосредственно, ни через растения.

Впрочем, имеем ли мы право так уверенно говорить о растительности Марса? В споре о том, есть ли жизнь на Марсе, сломано немало копий, написано множество книг, и нет смысла повторять общеизвестные рассуждения. Постараемся лишь перечислить те аргументы в пользу обитаемости Марса, которые не потеряли силу и сегодня.

Открытие (правда, пока предварительное) значительного количества молекулярного кислорода в атмосфере Марса — один из таких аргументов. Сезонные изменения марсианских «морей» и «каналов» трудно объяснить иными причинами, чем ритмичным возрождением и увяданием растительности. По оптическим свойствам, «морья» Марса лучше всего удовлетворяют гипотезе о наличии растительного покрова. Наконец, найденные американцем В. Синтоном в 1956 г. в инфракрасном спектре марсианских «морей» три полосы поглощения с длинами волн, близкими к 3,6 микрона, сходны с полосами поглощения различных земных органических веществ. Делались попытки приписать эти линии ядовитым окислам азота или водяным парам, содержащим дейтерий, но доводы оказались неубедительными.

Если взятый в отдельности каждый из приведенных выше аргументов еще может вызывать сомнения, то в своей совокупности они представляются достаточно вескими. Их весомость сильно возросла после многочисленных лабораторных экспериментов, когда в искусственно создаваемых «марсианских» условиях существовали и активно действовали различные земные организмы.

После долгих усилий вокруг Марса, наконец, было обнаружено магнитное поле. Оно очень слабое: даже у магнитных полюсов напряженность его в 500 раз слабее напряженности земного магнитного поля. Но тот факт, что Марс все же обладает магнитосферой, заставляет думать, что в его центре есть небольшое железо-никелевое ядро, создающее динамо-эффект.

Есть на Марсе и ионосфера, состоящая из ряда слоев, из которых нижний находится на высоте 80—90 километров. Для будущих марсианских экспедиций этот факт небезразличен: марсианская ионосфера, подобно земной, поможет вести радиосвязь между радиостанциями на Марсе, находящимися вне зоны прямой видимости.

Разреженная, состоящая по крайней мере почти на 70% из углекислого газа и на 30% из аргона марсианская атмосфера все же несколько напоминает земную. В ней образуются облака (скорее всего из мелких ледяных кристалликов), наблюдается активная циркуляция воздушных масс, а иногда возникают мощные смерчи, поднимающие с поверхности Марса тучи мелкораздробленного вещества. Во время таких пылевых бурь атмос-

фера Марса становится очень мутной. Каков состав этой пыли? Возможно, что это лимонит, именуемый в обиходе охрой. Однако, судя по данным радионаблюдений, марсианская пыль может состоять из частиц базальта и других пород. По теплофизическим свойствам рыхлый поверхностный слой Марса напоминает кварцевый песок.

Раньше считали, что темные «моря» Марса представляют собой впадины, а его светлые «материки» — возвышенности. Оказалось, что во многих случаях марсианские моря — это области перепада высот (максимальный перепад на Марсе достигает 20 километров). Светлые области могут быть как возвышенностями, так и впадинами. Их «светлость» зависит от состава поверхностных пород в данном районе Марса.

На Марсе выделяют рельеф нескольких основных типов.

1. Изрытый рельеф представляет собой совокупность большого числа плоских круглых депрессий типа лунных кратеров с плоским дном и крутыми стенками высотой до 1,4 километра. Поперечники этих депрессий обычно измеряются десятками километров.

2. Изрезанный рельеф выражен низинами с шероховатой поверхностью и неправильными очертаниями.

3. Шероховатый рельеф представлен гладкими низинами, ограниченными сбросами.

4. Ложбинный рельеф особенно интересен. Это совокупность U-образных ложбин глубиной до 2—3 километров, по-видимому, ледникового происхождения.

5. Хаотический рельеф не имеет аналогов ни на Земле, ни на Луне и Меркурии. Это действительно хаотическое нагромождение угловатых блоков разной формы и размеров (до десятков километров в длину).

6. Котловинный рельеф, как показывает и само название, выражен огромными котловинами длиной в сотни километров и глубиной до 5 километров, на границах которых иногда различимы ветвящиеся овраги. Южное полушарие Марса занято сплошным океаном — это его характерная глобальная особенность. Марсианский «материк» усеян множеством кратеров, по-видимому, ударного, метеоритного происхождения. «Океаническое» полушарие Марса выглядит совсем иначе — здесь местность преимущественно равнинная, на ней видны следы отложений, может быть, частично осадочных. «Материк»

Марса в среднем на 3 километра выше его «океана» и вполне возможно, что поверхность «океана» залита застывшей базальтовой лавой, скрывшей под собой древний кратерный рельеф. Впрочем, и в южном полушарии есть обширная область Эллада почти круглой формы с поперечником 1600 километров, лишенная кратеров. Погребены здесь древние кратеры лавовыми излияниями или ветровыми наносами — пока неясно. Так как Эллада очень яркая область, то вторая гипотеза выглядит правдоподобнее.

Ни на одной из планет Солнечной системы мы не видим таких мощных следов вулканизма, как на Марсе. Там обнаружено множество конусообразных кратеров, несомненно, вулканического происхождения — на некоторых из них сохранились даже свежие лавовые натеки. Среди марсианских вулканов уникален вулкан Никс Олимпика, конус которого имеет в основании поперечник 500 километров. Анализ многих тысяч фотографий Марса показывает, что активный вулканизм характерен для всех этапов истории этой планеты.

Как показывают некоторые теоретические расчеты, толщина марсианской коры — от 15 до 33 километров. Она значительно тоньше лунной и, судя по снимкам Марса, способна к значительным вертикальным смещениям. Во всяком случае на Марсе наблюдается множество разломов, к которым, возможно, относятся и «каналы». Среди этих разломов уникален Большой Каньон, изрезанный по бокам оврагами. При средней глубине около 6 километров и ширине 120 километров он простирается в длину на многие сотни километров. Никаких следов горизонтальных смещений марсианской коры пока не обнаружено и ничего подобного движению земных материков на Марсе, по-видимому, нет.

Самое удивительное из того, что было открыто на Марсе за последние годы, это, конечно, следы бывшей когда-то на Марсе мощной гидросферы. О ее существовании свидетельствуют многочисленные очень хорошо сохранившиеся, но ныне сухие русла марсианских рек, ветвящиеся овраги, следы крупных оледенений. Когда-то, в сравнительно недавнем прошлом, Марс был богат водой, а затем она почему-то и куда-то исчезла. То, что это случилось недавно, доказывает отличная сохранность речных русел и оврагов, несмотря на действующую и

ныне ветровую и метеоритную эрозию. Сегодня на Марсе не может быть открытых водоемов: при весьма разреженной атмосфере они мгновенно испарились бы. Когда климат Марса радикально изменился, вода могла перейти в ископаемое состояние (вечная мерзлота) или сохраниться в полярных шапках в форме льдов.

Но что все-таки случилось с Марсом, с его климатом? Ответа на этот вопрос пока нет. Возможно, что на Марсе (как и на Земле) под действием солнечной активности многократно сменялись эпохи теплые и влажные эпохами сухими и холодными. Если это так, то Марс еще «оживет» и на нем снова потекут реки и зашумят водопады. Не исключено, однако, что климат Марса изменился необратимо вследствие какой-то космической катастрофы.

Во всяком случае в недавнем прошлом Марс был другим. И если на нем текли реки, если его атмосфера была плотнее, а климат мягче, то вполне возможно, что в эту эпоху на Марсе существовала жизнь. Вот почему предстоящие космические эксперименты по непосредственному обнаружению жизни на Марсе приобретают теперь новый смысл.

Кстати, по данным 1974 г., дно некоторых марсианских кратеров имеет интенсивную сине-зеленую окраску. Трудно отделаться от мысли, что это растительность, по крайней мере по цвету похожая на земную.

Марс — крайняя планета в ряду земноподобных планет. Далее в сторону звезд планеты по внешнему облику и по физической природе не имеют с Землей почти ничего общего.

Среди полувезд

За поясом малых планет, как бы подчеркивая великое разнообразие, на которое способна природа, следуют четыре гиганта солнечной системы — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Наибольшим из них является Юпитер, по объему превосходящий Землю в 1300 раз. За ним следует Сатурн, из веществ которого можно было бы вылепить 760 земных шаров. Замыкают группу этих удивительных планет два гиганта-близнеца Уран и Нептун. Поперечник Нептуна всего на 3827 километров больше диаметра Урана, а по объему любая из этих планет превосходит Землю в десятки раз.

Самым доступным для изучения и самым исследованным из этих гигантов является Юпитер. Это объясняется как его исполинскими размерами, так и сравнительной близостью к Земле. Но изученность эта характеризуется лишь наличием большого числа фактов, а не их объяснением.

В 1633 г. современник Галилея астроном Фонтана впервые заметил на поверхности Юпитера коричневатосерые полосы, тянущиеся параллельно экватору планеты. С тех пор поверхность Юпитера непрерывно наблюдалась, и в наши дни эта гигантская планета считается одним из наиболее интересных объектов для начинающих любителей астрономии.

Действительно, даже в небольшие современные телескопы поверхность Юпитера кажется испещренной полосами и пятнами. Эти детали на редкость непостоянны. Их окраска, интенсивность, размеры, расположение непрерывно меняются. И все же в этом хаосе явлений можно уловить некоторый порядок. Прежде всего, большие полосы всегда располагаются параллельно экватору Юпитера. Обычно различают две экваториальные и две умеренные полосы, которые в районе полюсов планеты граничат с сероватыми полярными шапками. Следует отметить, что такая классификация достаточно условна. Бывают периоды, когда некоторые из полос становятся невидимыми, тогда как другие приобретают максимальную интенсивность. В иные годы полосы разделяются, дробятся, их границы почти никогда не бывают ровными.

Полосы на Юпитере имеют сложное строение. В них наблюдаются различные неоднородности. Иногда полосы соединяются друг с другом перемычками, а края их испещрены мелкими деталями — углублениями и выступами. Вся эта картина очень меняется не только от дня ко дню, но и от часа к часу. Во внешнем облачном покрове Юпитера наблюдается зональное вращение — с удалением от экватора периоды вращения отдельных деталей увеличиваются.

Казалось бы в этом вечно изменяющемся океане облаков не может быть ничего постоянного. Однако еще в XVII веке в тропической зоне южного полушария Юпитера было обнаружено загадочное образование, получившее наименование Красного Пятна. С тех пор раз-

меры и форма этого эллиптического красноватого пятна заметно не менялись (его длина равна 40 000 километров, ширина 13 000 километров). Зато интенсивность Красного Пятна и его окраска изменяются в значительных пределах.

В 1870 г. Красное Пятно сделалось особенно ярким. Начиная с 1882 г. его интенсивность начала постепенно уменьшаться, и в настоящее время оно поблекло настолько, что стало трудно различимым, хотя наибольший поперечник этого загадочного образования в четыре раза превышает поперечник Земли.

Многие наблюдатели свидетельствуют о том, что Красное Пятно оказывает какое-то отталкивающее действие на другие образования в атмосфере Юпитера. Облака, составляющие южную умеренную и южную экваториальную полосы, перемещаются с несколько иной скоростью, чем Красное Пятно. Облачные потоки всегда огибают его с севера и с юга, но никогда не проходят прямо над ним. Обойдя таким образом пятно, облачные потоки снова сближаются, подобно струям воды, обтекающим огромный камень.

Замечено, что, чем ярче окраска Красного Пятна, тем больше его отталкивающее воздействие. При уменьшении яркости оно начинает затягиваться какой-то белесоватой пеленой, которая ныне почти полностью скрыла от нас этот таинственный объект.

Не менее странно так называемое Большое Тропическое Возмущение, наблюдавшееся на Юпитере с 1900 по 1940 год. Оно, обладая, как и Красное Пятно, редким для Юпитера постоянством, наблюдалось в виде сероватой вуали, соединяющей южную экваториальную и умеренную полосы. Возмущение занимало почти 90 градусов по долготе, что в земных единицах длины близко к 100 000 километров. Эта сероватая вуаль, двигаясь значительно быстрее Красного Пятна, примерно каждые два года приходила с ним в соприкосновение. Но темное вещество вуали никогда не проходило над Красным Пятном; оно разделялось на два потока, охватывающих пятно с севера и юга.

Есть в атмосфере Юпитера и другие аналогичные, хотя и менее заметные, образования.

Природа Красного Пятна пока неясна. Возможно, это какой-то легкий твердый объект (например, затвердев-

ший «океан» из углеводородов), плавающий в атмосфере Юпитера. Не исключено, что под Красным Пятном на твердой поверхности Юпитера есть какой-то объект, обуславливающий необычную циркуляцию атмосферы в этом районе. Решение этой проблемы принадлежит будущему.

Атмосфера Юпитера состоит в основном из молекулярного водорода H_2 , гелия He , метана CH_4 и аммиака NH_3 . В верхних слоях атмосферы Юпитера температура, по данным радиометрических измерений, минус $140^\circ C$. Так как температура замерзания аммиака минус $77^\circ C$, то, по всей вероятности, облака Юпитера состоят из его ледяных кристалликов. Правда, некоторая доля аммиака всегда находится в газообразном состоянии — ведь и на Земле при самых сильных морозах воздух не абсолютно сух.

Облачные полосы на Юпитере имеют различные окраску, оттенки и интенсивность. Вероятно, объясняется это наличием примесей натрия или других «окрашивающих» веществ.

В 1955 г. было обнаружено радиоизлучение Юпитера (на метровом диапазоне). Позже удалось установить, что, кроме теплового радиоизлучения, обусловленного «нагретостью» Юпитера, эта планета интенсивно излучает радиоволны, происхождение которых пока неясно. Возможно, что отчасти это «нетепловое» радиоизлучение порождается мощными грозowymi разрядами в атмосфере Юпитера. Другую долю составляют радиоволны, порожденные плазменными колебаниями в ионосфере Юпитера и электронами, захваченными его магнитосферой.

В декабре 1973 г. американский космический аппарат «Пионер-10» пролетел в 130 000 километров от поверхности Юпитера, а затем удалился в сторону Сатурна. Год спустя, вблизи Юпитера пролетел американский космический аппарат «Пионер-11». Сведения, сообщенные «Пионерами» на Землю, очень интересны. Напряженность магнитного поля Юпитера (у поверхности планеты) в 40 раз интенсивнее земного. Следы магнитного поля заметны уже на подлете к Юпитеру, в 8 млн. километрах от него. Строение поля необычно. Оно состоит из двух полей — дипольного (как у Земли), простирающегося на 1,4 млн. километров от Юпитера, и недипольно-

го, занимающего остальную часть магнитосферы.

Радиационные пояса Юпитера в 10 000 раз интенсивнее земных. Они, как и земные, состоят из солнечных корпускул, захваченных мощным магнитным полем Юпитера.

Температура на дневном и ночном полушариях планеты оказалась примерно одинаковой — еще одно доказательство интенсивного перемешивания газов в атмосфере величайшей из планет.

Юпитер излучает вдвое больше тепла, чем получает от Солнца. Значит, внутри него есть какие-то свои излучатели энергии. Таким образом, гипотеза о некотором сходстве Юпитера и других планет-гигантов со звездами как будто получила непосредственное подтверждение.

Небольшая средняя плотность Юпитера показывает, что он, как и звезды, состоит в основном из водорода и гелия. Однако вопрос о недрах этой планеты не может быть пока решен однозначно, поскольку одним и тем же внешним параметрам могут соответствовать разные «внутренние» модели.

Прежде полагали, что планеты-гиганты представляют собой неостывшие тела. Трудно было иначе понять, почему в их атмосферах происходят необычайно бурные процессы. Когда непосредственные измерения температуры атмосферы Юпитера показали что она близка к минус 140° С, представление о планетах-гигантах как об «огнедышащих» планетах перешло в область истории.

С тех пор предпринимались неоднократные попытки построить теоретические схемы или модели больших планет. Долгие годы большой популярностью пользовалась гипотеза Вильдта. По мнению этого исследователя, планеты-гиганты имеют сравнительно небольшие твердые ядра, покрытые сплошными слоями затвердевших газов, над которыми простирается газообразная атмосфера.

Как показали дальнейшие исследования, модели Вильдта ошибочны. При расчетах Вильдт не учитывал колоссальных давлений в недрах больших планет, которые неизбежно должны сказаться на состоянии заключенных в них веществ. Картина получится совсем иной, если учесть эти давления, достигающие в центре Юпитера 70 млн. атмосфер.

Модель внутреннего строения Юпитера можно построить, исходя из внешних, доступных непосредственному наблюдению параметров — скорости вращения планеты, ее сплюснутости, средней плотности, молекулярного состава атмосферы.

По расчетам В. Г. Фесенкова и А. Г. Масевич, Юпитер и Сатурн будут обладать наблюдаемой средней плотностью только в том случае, если они примерно на 85% по массе состоят из водорода и лишь на 15% из более тяжелых элементов. Основываясь на этом, советские ученые предложили наиболее вероятную модель внутреннего строения Юпитера.

По этой модели внешняя оболочка Юпитера толщиной в 0,14 его радиуса состоит в основном из молекулярного водорода, смешанного с метаном и аммиаком. На глубине около 1000 километров давление вышележащих слоев достигает 700 000 атмосфер, что приводит к полной ионизации атомов. Беспорядочное смещение протонов и электронов образует то, что астрофизики называют «металлической» фазой водорода. Такой «металлический» водород вдвое плотнее обычного.

Дальше в глубь планеты плотность газов продолжает возрастать. На глубине около 50 000 километров наступает второй скачок плотности. Здесь проходит внешняя граница центрального ядра Юпитера, которое должно состоять из смеси водорода и тяжелых элементов.

В центре Юпитера плотность вещества в 17 раз превышает плотность воды, а температура близка к 150 000 градусов. И все-таки это газ, сверхплотный газ, вроде того, который находится в центре Солнца и звезд.

Если бы масса Юпитера была всего в 5 раз больше, температура в его центре составляла бы многие миллионы градусов. Неизбежные в этом случае ядерные реакции превратили бы Юпитер в звезду. На самом деле гипотетическая температура в центре Юпитера (150 000 градусов) недостаточна для ядерных реакций. Что служит источником внутреннего тепла Юпитера, пока неясно. Вряд ли это радиоактивные вещества — ведь Юпитер состоит в основном из водорода и гелия.

Планеты-гиганты Сатурн, Уран и Нептун представляют собой уменьшенное подобие Юпитера.

В атмосфере Сатурна обнаружены водород и метан. Следов аммиака в спектре Сатурна пока не замечено.

Возможно, это связано с очень низкой температурой верхних слоев его атмосферы (минус 183° С). На диске Сатурна иногда различимы слабые полосы и пятна, подобные тем, которые видны в атмосфере Юпитера. Однако эти изменчивые атмосферные образования с Земли видны плохо.

На сантиметровом диапазоне наблюдается спокойное радиоизлучение Сатурна. Радиовсплесков, характерных для Юпитера, не отмечено. Вполне возможно, что Сатурн окружен радиационными поясами.

Есть основания полагать, что внутреннее строение Юпитера и Сатурна однотипно. Что касается Урана и Нептуна, то примесь тяжелых элементов в этих планетах должна быть более значительной.

По некоторым достаточно обоснованным современным моделям, Уран по массе на 84% состоит из «металлического» аммония, на 2% из водорода и на 14% из тяжелых элементов. Примерно такой же состав, возможно, имеет и Нептун.

Как мог убедиться читатель, планеты-гиганты мало чем напоминают Землю, и их, судя по физической природе, можно назвать полужвездами. Посадка на эти планеты пилотируемых космических кораблей даже не обсуждается. Еще на долгое время человечество ограничится лишь посылкой в окрестности этих планет (и быть может, в их атмосферы) автоматических зондов.

Была ли планета Фазтон!

Знакомство с Луной и планетами должно было убедить читателя в том, что вулканизм в истории Солнечной системы играл немалую роль. Представление о планетах как совершенно инертных телах, лишенных внутренней энергии, должно быть признано ошибочным. Остается спорным другое — масштабы вулканизма Солнечной системы в прошлом и настоящем. Можно ли считать, что именно внутренние силы планет и спутников были и остаются главными факторами планетной эволюции?

Убедительный положительный ответ на этот вопрос дан в многолетних работах известного советского астронома С. К. Всехсвятского. По его мнению, «... вещество

планет — это звездное вещество, еще сохраняющее запасы или источники звездной энергии», и «...фаза планет может оказаться дальнейшей фазой распада и дезынтеграции звездного вещества»¹.

По «теории извержения», разработанной С. К. Всехсвятским, ядра комет представляют собой вулканические бомбы, выброшенные в межпланетное пространство планетами и их спутниками. Эта теория, еще недавно казавшаяся многим фантастической, в последнее время нашла себе многочисленные подтверждения.

Но если масштабы вулканизма столь велики, то не могли ли они для некоторых планет стать катастрофическими? Говоря яснее, не могло ли освобождение из недр какой-нибудь планеты «звездной» энергии привести планету к распаду, к гибели?

Задав эти вопросы, мы вторгаемся в дискуссию, ведущуюся уже около 170 лет вокруг проблемы планеты Фаетон.

Как уже говорилось, между метеоритами и астероидами нет принципиального различия. В сущности, метеоритами мы называем те из карликовых планет, которые благодаря вытянутости своих орбит сталкиваются с Землей и падают на ее поверхность.

То, что метеориты есть осколки или обломки каких-то несравненно более крупных тел, — бесспорно. Об этом свидетельствуют осколочная форма метеоритов и многочисленные особенности их внутреннего строения.

Недавно советский исследователь А. А. Явнель, изучая физические свойства и состав метеоритов, установил наличие пяти групп метеоритов. По его мнению, метеориты каждой группы сформировались внутри отдельной небольшой планеты, следовательно, когда-то между Марсом и Юпитером обращалось вокруг Солнца несколько небольших планет. Однако этот вывод противоречит фактам. Во-первых, если в зоне астероидов когда-то образовалось несколько небольших планет, то они не могли за счет множества столкновений породить многочисленный современный рой астероидов. По расчетам известного американского астронома Койпера, вероятность таких столкновений крайне мала: не более одного

¹ См. сборник «Проблемы современной космогонии» (М., «Наука», 1972, с. 409).

столкновения за 30 млрд. лет — срок, превышающий возраст Солнечной системы!

Во-вторых, среднее расстояние астероидов от Солнца равно 2,76 астрономической единицы¹ — как раз тому, на котором по закону планетных расстояний должна была образоваться вокруг Солнца на месте астероидов еще одна планета.

В-третьих, судя по некоторым особенностям внутреннего строения метеоритов, они сформировались когда-то внутри очень большого тела — планеты, сравнимой с Марсом или даже с Землей. Действительно, если отполировать поверхность какого-нибудь железного метеорита и затем протравить ее кислотой, появится сетка правильных линий, несколько напоминающая изморозь на окнах. Это так называемые видманштеттеновы фигуры, характерные только для метеоритов. Доказано, что такая структура могла образоваться лишь под очень большим давлением и в результате весьма медленного охлаждения, т. е. в условиях, характерных для недр крупных планет.

Исследования минералов когенита и алмаза, содержащихся в метеоритах, показали, что они могли получить современную структуру только под давлением 30 000 атмосфер, т. е. внутри тела, по размерам и массе не уступающего Луне. Но Луна почти в 100 раз превосходит по массе Цереру — самую крупную из карликовых планет, поэтому тело, породившее метеориты, по своим размерам походило на крупные спутники планет или даже планеты земного типа.

Что же касается фактов, открытых А. А. Явнелем, то их, вероятно, можно объяснить тем, что формирование метеоритов всех пяти групп происходило в разных частях одной крупной планеты, а следовательно, в различных условиях, которые и отразились на химических характеристиках метеоритов каждой группы.

Наблюдая астероиды, можно заметить их характерную особенность. Все они, включая даже самые крупные, непрерывно и неправильным образом меняют свой видимый блеск. Исследования показали, что так менять свой блеск могут только вращающиеся осколки, освещаемые

¹ Астрономическая единица (а. е.) равна расстоянию от Земли до Солнца (149,5 млн. километров).

Солнцем. Значит, все без исключения астероиды есть осколки какой-то одной достаточно крупной планеты. Гипотеза о ее существовании была выдвинута Ольберсом еще в начале прошлого века, а позже погибшую планету назвали Фазтоном — по имени мифического сына бога Солнца.

Массу Фазтона можно оценить, если учесть влияние кольца астероидов на движение Марса. Такой метод хо-

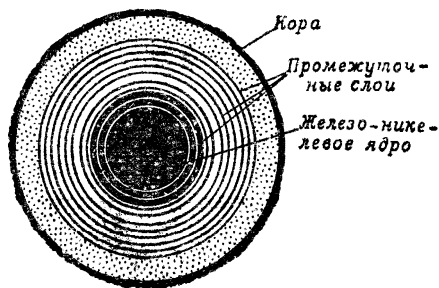


Рис. 37.

Строение Фазтона по
А. Н. Заварицкому

рош тем, что он охватывает почти все астероиды, как открытые, так и неоткрытые. В среднем получается, что масса Фазтона была не меньше 0,1 массы Земли. На самом деле Фазтон был, возможно, еще массивнее, так как при его распаде часть осколков могла навсегда покинуть Солнечную систему или выпасть на Солнце и планеты.

Короче говоря, Фазтон был крупной планетой. По мнению академика А. Н. Заварицкого, железные метеориты в основном составляли ядро Фазтона, а каменные метеориты — его поверхностные слои (рис. 37). По оценке А. Н. Заварицкого, Фазтон по размерам не уступал Марсу. Не исключено, что он был еще крупнее, т. е. сравним с нашей Землей. Но тогда вполне возможно, что вокруг Фазтона существовала атмосфера — его масса была для этого вполне достаточной.

О реальном существовании Фазтона и его крупных размерах особенно убедительно свидетельствуют тектиты. Ведь эти стеклянные метеориты, по составу сходные с земными осадочными породами, могли образоваться только на такой планете, где были атмосфера и вода. Очевидно, что в космическом пространстве, или на звездах, или на телах астероидных размеров осадочные по-

роды возникнуть не могут. По этим причинам несостоятельны и все «лунные» гипотезы об образовании тектитов, рассматривающие тектиты как осколки лунных пород. Единственное место, где могли возникнуть тектиты, это поверхностные слои планеты типа нашей Земли.

Что же произошло с Фазтоном? О характере и причинах катастрофы можно судить по структуре метеоритов. Причиной катастрофы не могло быть столкновение Фазтона с какой-нибудь другой планетой, поскольку при столкновении планет их осколки приобрели бы сильно вытянутые орбиты. На самом же деле основная масса астероидов движется густым роем по почти круговым орбитам. Многие из орбит астероидов пересекаются почти в одной точке. Но такие семейства астероидов возникли уже после распада Фазтона в результате столкновений его отдельных кусков. Подобный процесс непрерывного дробления, по всем данным, продолжается и в настоящее время.

Академик В. Г. Фесенков высказал гипотезу, что Фазтон когда-то приблизился к Юпитеру и под действием его тяготения разорвался, «как бомба». Однако формы орбит астероидов свидетельствуют о том, что Фазтон погиб не вблизи Юпитера. Кроме того, сам механизм взрыва остается физически необоснованным.

Тем не менее взрыв, по-видимому, все-таки был. В каменных метеоритах встречаются хондры — мелкие стекловидные шарики поперечником от сотых долей миллиметра до 1—2 миллиметров. В момент катастрофы они были расплавленными капельками силикатов. Затем, судя по их структуре, хондры застыли почти мгновенно — не более чем за несколько минут. Значит, катастрофа была кратковременной и носила взрывной характер. По утверждению академика А. Н. Заварицкого, температура взрыва была очень высокой — тысячи градусов. Распылившееся при взрыве вещество, из которого почти мгновенно образовались хондры, не разлетелось в пространстве, а образовало густой туман. Значит, взрыв охватил только поверхность Фазтона, а его основная масса, распавшаяся позднее, в первые минуты еще удерживала около себя газообразные облака.

В железных метеоритах есть особые структурные детали, называемые неймановыми линиями. Они могли образоваться только под действием ударных волн, по-види-

мому, тех, которые от поверхности планеты дошли до ее недр. Среди каменных метеоритов обращают на себя внимание так называемые углистые хондриты. Судя по составу и структуре, они испытывали гидротермальный метаморфизм, т. е. формировались под действием высокой температуры с участием паров воды. Значит, взрыв или взрывы, охватившие поверхностные слои Фазтона, происходили, возможно, с участием воды.

Все эти факты воссоздают, правда в самых общих чертах, обстановку катастрофы, хотя и не объясняют ее причин. В одной из статей академик А. Н. Заварицкий писал, что «... в дальнейшем развитии предположений об образовании метеоритов нельзя обойтись без значительной доли научной фантазии».

Причины гибели планеты Фазтон пока неизвестны. Многочисленные попытки объяснить эту катастрофу какими-либо известными нам физическими процессами окончились пока безрезультатно. Это заставило некоторых астрономов усомниться в реальности существования Фазтона. Однако факты, как уже говорилось, убедительно свидетельствуют о катастрофе, которая постигла одну из близких к Земле планет.

Единственный путь к научному решению проблемы — новые исследования метеоритов. Надо сознаться, что объем материала, который может быть подвергнут изучению, очень мал; ведь в руки астрономов попала пока лишь ничтожнейшая по массе доля погибшей планеты. И все же новые исследования метеоритов могут привести к решению загадки.

Как уже отмечалось, тектиты отличаются большой обезвоженностью. Американский исследователь тектитов И. Фридман подчеркивает, что в земных условиях тектиты могли бы образоваться только при исключительных катастрофических процессах, подобных взрывам атомных и термоядерных бомб. Не является ли эта особенность тектитов указанием на атомный или ядерный характер процессов, приведших к гибели Фазтона, на выделение из его недр остаточной «звездной» энергии?

Человечество только приступило к изучению и использованию колоссальных энергетических ресурсов, открытых в недрах вещества. Наши познания в этой области слишком еще малы, и было бы неоправданной сме-

лостью утверждать, что выделение энергии из недр вещества может совершаться только в тех формах, которые нам известны.

Вещество таит в себе неисчерпаемые энергетические возможности. Об этом свидетельствуют, в частности, те грандиозные взрывные процессы, которые сейчас обнаружены в галактиках — далеких звездных системах. Подобные процессы, судя по всему, неизбежно сопровождают рождение звезд и галактик.

В пределах Солнечной системы также известны процессы огромных энергетических масштабов, но неизученной природы. Таковы, например, мощные явления, наблюдаемые в холодных атмосферах планет-гигантов Юпитера и Сатурна. Требуется объяснения и такой факт, как необычное расположение оси вращения Урана, которая лежит почти в плоскости его орбиты. Не была ли «повернута» эта ось каким-нибудь взрывным процессом колоссальной мощи?

Короче говоря, вполне возможно, что в ходе эволюции Солнечной системы иногда вступают в действие неизвестные нам естественные процессы выделения из недр вещества таящихся там огромных запасов энергии, и следы этих взрывных «вулканических» процессов можно видеть, в частности, в современном кольце астероидов.

Нам представляется, что причину гибели планеты Фэтон следует искать в этом направлении. Возможно, что когда-то на поверхности одной из планет Солнечной системы начались неизвестные нам атомные или ядерные процессы. Невообразимые по мощности взрывы потрясли поверхность планеты. Эти взрывы сплавляли в стекло песчаные пляжи и отмели морей, превратив их в стеклообразную массу (вспомните сходство тектитов со стеклом). Другие поверхностные породы обратились в газообразные облака — те самые, в которых сгустились хондры. В раскаленных парах воды — остатках фэтонских морей — возникли углистые хондриты.

Взрывы, охватившие всю поверхность Фэтона, уничтожили его органический мир. Под их действием Фэтон распался на части. Крупные осколки при дальнейших столкновениях дробились, постепенно умножая число осколков и обломков. Так на протяжении миллионов лет формировался пояс астероидов.

Тектиты, образовавшиеся из поверхностных осадочных пород Фазтона, были выброшены в пространство с большими скоростями. Их орбиты поэтому обладали значительной вытянутостью, что облегчало встречи тектитов с Землей. Именно тогда, десятки миллионов лет назад, тектиты попадали густым стеклянным градом на Землю. Со временем их рой постепенно исчерпался, и теперь падение тектитов стало исключительной редкостью. Но следы драмы, когда-то разыгравшейся в Солнечной системе, остались. Мы их видим в поясе астероидов и в тех многочисленных осколках Фазтона, которые ежедневно падают на нашу планету.

В нарисованной выше полуфантастической картине происхождение тектитов и гибель планеты Фазтон связаны воедино. Возможно, что именно такое сочетание послужит ключом к разгадке удивительных процессов, происходивших когда-то в Солнечной системе. Само собой разумеется, что высказанные предположения о причинах гибели планеты Фазтон нуждаются в дальнейшем обосновании, и окончательное решение всех рассмотренных проблем принадлежит будущему.

Если когда-то планета Фазтон на самом деле существовала, это может стать ключом к пониманию того, что произошло с Марсом, почему Марс, а может быть, и Луна, растеряли свои былые гидросферы.

Представьте себе, что когда-то в том месте Солнечной системы, где ныне мы видим пояс астероидов, вокруг Солнца на расстоянии 2,7 астрономической единицы от него двигались по одной орбите три планеты — Фазтон, Марс и Луна. Вместе с Солнцем они постоянно образовывали вершины двух равносторонних треугольников. Иначе говоря, Луна и Марс размещались в двух тригональных точках либрации (по отношению к системе Солнце — Фазтон). Такое расположение Луны и Марса, как доказывается небесной механикой, было устойчивым. Подобные устойчивые движения есть и в современной Солнечной системе (астероиды «трояницы» в системе Солнце — Юпитер и «облака Кордылевского» в системе Земля — Луна).

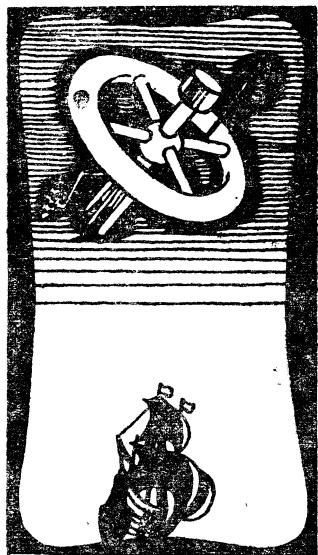
В какой-то момент планета Фазтон по каким-то причинам распалась на рой астероидов. Когда она исчезла, положения Луны и Марса перестали быть устойчивыми. Марс перешел на современную орбиту с радиусом 1,6

астрономических единиц. Он нагрелся Солнцем, легкие газы (водород, кислород и др.) покинули его атмосферу, в которой остались лишь тяжелые углекислый газ и аргон. Разреженная атмосфера не смогла удержать жидкую воду, которая испарилась, оставив на марсианской поверхности следы водной эрозии, сохранившиеся до сих пор.

Судьба Луны была несколько иной. Обладая меньшей массой, чем Марс, а значит, подверженная большим воздействием со стороны других планет, Луна была захвачена Землей и постепенно вынесена на современную орбиту. Это вызвало, возможно, приливы огромной силы в гидросфере и твердом теле Земли, что послужило причиной разнообразных катаклизмов (грандиозных наводнений, опусканий в океан больших территорий суши и т. п.). Не исключено, что все это происходило около 13 000 лет назад — дата, которой отмечена возможная гибель Атлантиды и многие другие катастрофические события на нашей планете. Может быть, не лишены основания дошедшие до нас древние легенды о том, что в «допотопные» времена Луны на земном небе не было. Нет ничего невозможного в том, что, будучи тригональной планетой, Луна имела атмосферу, потерянную ею с приближением к Солнцу — ведь четыре галилеевских спутника Юпитера, по размерам сравнимые с Луной, имеют атмосферы.

Все сказанное требует, конечно, обоснований, но нам представляется, что гипотеза о тригональных планетах, объясняющая ряд непонятных фактов, заслуживает внимания и обсуждения.

Пытаясь осознать роль вулканизма в эволюции Солнечной системы, мы вторглись в область весьма спорных догадок и предположений. Нам предстоит теперь снова вернуться на Землю и обсудить, какими ресурсами обладают Земля и планеты.



Исходными материалами для цивилизации, так же как и для самой жизни, служат вещество и энергия, которые, как известно, являются двумя сторонами одной медали.

АРТУР КЛАРК

Станет ли человечество космической цивилизацией?

Как появление первых живых существ на Земле означало великий переворот в ее истории, так и выделение из мира животных разумного существа и зарождение человеческого общества стало началом нового этапа в жизни планеты. Первое событие — зарождение земной биосферы. Второе — рождение «разумной» оболочки Земли — ноосферы (термин, введенный в науку В. И. Вернадским). Когда именно Разум вошел в историю Земли, сказать трудно. По мнению В. И. Вернадского, это случилось 15—20 млн. лет назад. Другая крайность — утверждение, что первые разумные обитатели Земли выделились из биосферы 20 000—30 000 лет назад¹. Вероятно,

¹ Поршнева Б. Ф. О начале человеческой истории. М., «Наука», 1974.

О СОКРОВИЩАХ ЗЕМЛИ И КОСМОСА

истина находится где-то между этими экстремальными оценками. Для нас сейчас важно другое: биосфера имеет ряд общих черт с ноосферой, и эта последняя, сохраняя преемственность от животных и растений, вносит в историю Земли нечто небывалое.

На протяжении всей истории человечества численность народонаселения Земли неуклонно возрастала. Демографы утверждают, что за 7 000 лет до нашей эры на всей планете обитало не более 20 млн. человек. В начале нашей эры во всей огромной, раскинувшейся на трех континентах Римской империи было всего 54 млн. жителей.

К началу текущего века человечество насчитывало 1,6 млрд. человек, а в 1966 г. — 3,3 млрд. Изучая динамику роста народонаселения Земли, легко обнаружить, что общее число землян растет не пропорционально времени, а несравненно быстрее. Если до начала нашей эры число людей на Земле удваивалось каждую 1000 лет, то после 1850 г. это произошло за 100 лет. Удвоение населения Земли ожидается к 2000 г. Если темпы прироста не сократятся, человечество будет удваиваться за 2—3 десятилетия, а затем и за несколько лет! В 1974 г. прирост населения Земли составил 85 млн. человек! Это означает, что каждую секунду общество землян увеличивалось на 2—3 человека, а к исходу каждых суток на 200 000 человек.

Численный рост человечества можно изобразить графически, откладывая по горизонтальной оси графика годы, а по вертикальной — число землян. Если бы общее число людей увеличивалось пропорционально времени, рост человечества изобразился бы некоторой идущей вверх прямой. На самом же деле график роста — стремительно взмывающая вверх кривая, называемая в математике экспонентой. Она представляет собой так называемый закон нормального роста, при котором годовой прирост пропорционален численности населения.

Допустим, что и впредь человечество будет увеличиваться по закону нормального роста. Тогда вырисовываются перспективы несколько неожиданные и с первого взгляда устрашающие. В самом деле, легко подсчитать, что лет через 200 на всем земном шаре плотность населения станет такой же, как сегодня в Москве. Через пять столетий жизненное пространство каждого челове-

ка ограничится одним квадратным метром суши! А через полторы тысячи лет?

Надо заметить, что авторы этих оценок исходили из предположения, что годовой прирост останется неизменным и равным 2 процентам. Но так ли это на самом деле, можно ли доверять постоянству этой цифры?

За первые 1900 лет нашей эры годовой прирост населения Земли не превышал 0,1 процента. Сейчас во многих странах он больше 2 и даже 3 процентов. Вот примеры (в процентах): Китай — 2,3; Турция — 3,0; Мексика — 3,4; Никарагуа — 3,6; Венесуэла — 3,8. Что касается развитых стран, то прирост там, как правило, не достигает 2 процентов (США — 1,3; Англия — 0,6; ФРГ — 0,7; Франция — 0,7). В Советском Союзе годовой прирост равен 1,7 процента.

За последнее десятилетие население Земли увеличилось на 480 млн. человек, а к 2000 г. оно, по-видимому, превысит 6—7 млрд. человек.

Самое, пожалуй, удивительное в этих прогнозах то, что катастрофическое перенаселение Земли должно наступить в обозримом будущем, т. е. через какие-нибудь несколько столетий.

Грозит ли человечеству этот «демографический взрыв», это чудовищное перенаселение нашей планеты? Как и всякие прогнозы, предположение об «астрономической» численности будущего человечества не обладает абсолютной достоверностью и может стать реальностью, если закон роста по экспоненте сохранится и на все последующие века.

Можно, однако, представить себе и другую картину: через некоторое время (сейчас трудно сказать — какое) темпы роста населения Земли замедлятся, будет достигнуто «регулирование рождаемости», и в конце концов на земном шаре установится постоянное число жителей. Сторонники таких взглядов называют даже числа для этого «стационарного» человечества: одни — 65 млрд. человек, другие в несколько раз больше. Предполагается, что человечество навсегда останется на Земле и наша планета на все последующие времена будет единственным домом людей.

Эта кажущаяся соблазнительной для многих перспектива при ближайшем рассмотрении представляется нам малореальной. Дело в том, что закону роста по экс-

полюс подчиняются не только численность населения Земли, но и другие величины. В частности, технологическое развитие земной цивилизации также происходит по экспоненциальному закону. И хотя научно-технический прогресс не связан прямо с ростом численности населения, именно он, научно-технический прогресс, в первую очередь стимулирует превращение человечества в космическую цивилизацию.

За последние два века ежесекундное количество энергии, вырабатываемое различными техническими устройствами, удваивается каждые 20 лет и ныне составляет 4×10^{19} эрг. Если так будет и впредь, через 200 лет человечество станет производить энергии в 1000 раз больше, чем теперь, что заметно изменит тепловой режим Земли.

Потепление приведет в конце концов к таянию антарктического ледяного панциря и других ледников со всеми неприятными последствиями (повышением уровня океана и затоплением больших пространств суши). Значит, через два века, а может быть, и быстрее, надо позаботиться о выносе энергетических установок за пределы Земли, в космос.

Стремительно расширяются и наши знания. В настоящее время объем информации, черпаемый человечеством в процессе познания окружающего мира, удваивается примерно каждые 10 лет. В дальнейшем и эти темпы должны увеличиться, так как и объем информации растет по тому же экспоненциальному закону.

Так нужно ли слишком уж усердно тормозить численный рост человечества? Не распространится ли эта «консервация» на остальные виды деятельности человечества, не придется ли ограничить и научно-технический прогресс?

В конце концов, идея стабильности человеческого рода слишком плохо увязывается с безудержно рвущейся вперед человеческой натурой, с реальной, стремительно прогрессирующей на наших глазах земной цивилизацией. Скорее всего человечество ждет другая возможность — дальнейшее развитие по законам нормального роста, по экспоненте.

Устранимы ли в этом случае грядущие «кошмары экспоненты», колоссальные, с первого взгляда непреодолимые трудности, ждущие наших потомков уже в близком будущем?

На бурный характер роста населения Земли обратили внимание уже некоторые социологи прошлого, в частности печально знаменитый английский священник Т. Мальтус. Анализируя (с позиций своего времени и своего класса) развитие человечества, Т. Мальтус в конце позапрошлого века сформулировал такой «закон»: если нет сдерживающих факторов, народонаселение Земли увеличивается в геометрической прогрессии, тогда как средства к существованию возрастают лишь в арифметической прогрессии. С позиций мальтузианства пытались и пытаются оправдать даже войны, как средство, уменьшающее прирост населения.

Порочность «закона» Мальтуса, однако, не в утверждении того, что численность населения Земли растет в геометрической прогрессии, — это исторический факт. И нельзя считать мальтузианцами тех, кто, распространяя этот закон роста в будущее, обращает внимание на возможное перенаселение земного шара. Ложно другое — утверждение Мальтуса, будто средства существования, или (что равноценно) энергетическая и техническая вооруженность человечества, растут в арифметической прогрессии.

Факты опровергают основной тезис Мальтуса. Несложные математические расчеты показывают, что производство энергии на душу населения земного шара со времен Т. Мальтуса непрерывно растет. Энерговооруженность человечества — основа материального благополучия — увеличивается не в арифметической, а в геометрической прогрессии. Следовательно, пресловутый «закон Мальтуса» противоречит реальному ходу человеческой истории.

Не должен он иметь силу и в будущем, потому что в нормально развивающейся цивилизации (а именно такой мы представляем себе коммунистическое общество будущего) экспонента роста производства энергии будет всегда идти выше экспоненты роста народонаселения. Иначе говоря, такое соотношение параметров этих экспонент обеспечит непрерывный рост материального благосостояния каждого члена общества.

Нет, не обнищание ждет человеческий род, а, наоборот. Говоря словами К. Э. Циолковского, человечество в конце концов приобретет «бездну могущества». Однако это вовсе не значит, что наша планета сможет всегда

удовлетворить веществом и энергией запросы земной цивилизации.

Как уже говорилось, через несколько веков на Земле, станет, по-видимому, так тесно, что расселение человечества в космосе — сначала на телах Солнечной системы, а потом и за ее пределами — окажется процессом совершенно неизбежным. (Вариант «консервации» человечества мы рассматривать не будем).

К расселению в космосе толкают человечество ограниченные (хотя пока во многом еще не использованные) энергетические и вещественные ресурсы нашей планеты. Сегодня земные ресурсы еще очень велики и возможности их использования далеко не исчерпаны. Нет сомнений, что даже при современном уровне техники, рационально используя земные богатства суши и океанов, можно прокормить гораздо большее количество людей, чем то, которое сегодня населяет земной шар.

Однако непрерывный научно-технический прогресс человечества и рост его численности могут быть обеспечены чисто земными ресурсами скорее всего только на ближайшие столетия. В грядущие века прогрессирующая земная цивилизация должна неизбежно расселиться на просторах космоса. Вот как представлял себе К. Э. Циолковский будущее рода людского в своем грандиозном «Плане работ, начиная с ближайшего времени».

Приведем лишь некоторые пункты этого плана:

10. Вокруг Земли устраиваются обширные поселения.

11. Используют солнечную энергию не только для питания и удобств жизни (комфорта), но и для перемещения по всей Солнечной системе.

12. Основывают колонии в поясе астероидов и других местах Солнечной системы, где только находят небольшие небесные тела.

13. Развивается промышленность и увеличивается число колоний.

14. Достигается индивидуальное (личности, отдельного человека) и общественное (социалистическое) совершенство.

15. Население Солнечной системы делается в сто тысяч миллионов раз больше теперешнего. Достигается предел, после которого неизбежно расселение по всему Млечному пути».

Если принять этот головокружительный план, то нельзя ли указать примерно сроки его полной реализации?

В настоящее время человечество ежесекундно расходует энергию, равную 4×10^{19} эрг. За последние полвека ежегодное увеличение расхода энергии (или энергооборуженность) составляло 3—4 процента. Допустим, что в будущем этот прирост снизится до 1 процента. Тогда несложные расчеты показывают, что через 3200 лет человечество будет ежесекундно потреблять (а следовательно, и производить) такое же количество энергии, как Солнце (4×10^{33} эрг), а через 5800 лет — столько же, сколько все 150 млрд. звезд нашей Галактики! Совершенно очевидно, что в рамках Земли такое сверхмощное производство осуществить нельзя. Следовательно, человечество должно будет вырваться за пределы Земли и организовать жизнь и производство в космосе.

Ко всему сказанному следует добавить одно важное замечание. Все расчеты, основанные «на экспоненте», показывают, что человечество в принципе обладает колоссальными возможностями численного роста и технического прогресса. Но это вовсе не означает, что будущее развитие человечества всегда будет происходить по экспоненциальному закону.

Экспонента таит в себе очевидные нелепости. Сегодня человечество использует для жизни и производства ежегодно 10^{17} грамм вещества. При годовом приросте вещества 4% всего через 200 лет оно должно будет использовать 10^{51} грамм вещества, что равно массе 10 млн. галактик! Ясно, что это абсурд. Но отсюда следует, что развитие человечества «по экспоненте» — явление временное. Не знаем, когда и как, но оно непременно будет ограничено естественными причинами, и темп прогресса земной цивилизации замедлится.

Это — в будущем. А пока «экспонента» действует в полную силу, и это заставляет человечество искать ресурсы вещества и энергии как на Земле, так и в ближайшем космосе.

Богатства Земли и ближнего космоса

Когда по старинке некоторые рассуждают о «неисчерпаемости» земных ресурсов, эти «бодрые» слова можно в лучшем случае понимать в условном смысле. Ресур-

сы Земли при конечной величине ее массы несомненно исчерпаемы. Самую верхнюю оценку земных ресурсов можно получить, если подсчитать по уравнению Эйнштейна, сколько энергии выделится при полной аннигиляции (превращение в излучение) нашей планеты. Количество этой энергии (10^{48} эрг) хотя и очень велико, но конечно, и при развитии человечества «по экспоненте» даже ее когда-нибудь не хватит. Говоря серьезно, человечество должно оценить, надолго ли хватит ему тех вещественных богатств Земли, которые оно подчас безрассудно тратит сегодня. Такие подсчеты делались неоднократно, и мы ограничимся лишь некоторыми примерами.

Вот таблица, составленная в 1968 г. американскими прогнозистами¹.

ПРОГНОЗНЫЕ ДАННЫЕ АМЕРИКАНСКИХ УЧЕНЫХ

Виды минеральных ресурсов	Число лет (начиная с 1950 г. до полного истощения)
Нефть (общие разведанные запасы) .	32
Уголь (все виды)	2200
Железная руда (достоверные и потенциальные запасы)	625
Медь	45
Свинец	33
Цинк	39
Олово	38
Бокситы	200

Все эти подсчеты были сделаны при допущении, что уровень потребления 1948 г. сохранится (на самом деле он резко поднялся).

В книге академика К. И. Лукашева² весьма детально рассматриваются перспективы использования минеральных богатств Земли. Автор, однако, воздерживается от каких-либо «точных» прогностических оценок, и это разумно, так как мы еще очень плохо знаем и Землю, и ее богатства. Лишь немногие буровые скважины достигли

¹ См. сборник «Будущее человеческого общества», М., «Наука», 1971, с. 304.

² Лукашев К. И. Кладовая планеты. М., «Знание», 1974.

глубины 6—7 километров, а в большинстве случаев при разведке полезных ископаемых приходится ограничиваться скважинами глубиной 200—300 метров. Ясно, что наши знания о богатствах земной коры крайне ограничены.

Тем не менее, используя земные ресурсы, надо твердо помнить, что многие из них (например, залежи нефти и ценных металлов) невозобновляемы. Во всяком случае мы пока не знаем, как их получать из других, менее ценных веществ, если даже такой процесс технически возможен. Лишь атмосфера, гидросфера и биосфера демонстрируют нам постоянное самовозобновление в тех природных циклах, которые совершаются с самого начала геологической истории.

Но и возможности «возобновимых» ресурсов мы не должны переоценивать. Засорение среды, все еще пока продолжающееся в громадных масштабах, ведет к истреблению биосферы и даже угрожает дальнейшему существованию человечества. Биосфера до появления человека также создавала свои «отбросы», но эти «отходы» жизни снова вовлекались ею в, казалось бы, вечный круговорот. То, что нам теперь кажется идеалом (отходы одного производства — сырье для другого), давно уже осуществлялось в природе. Но «синтетика», новые искусственные минералы, которые создает человек, не усваиваются биосферой и не вовлекаются ею в вихрь жизни. Вот почему в сегодняшней ситуации говорить о «невозобновимых» ресурсах трудно.

Разработка недр Земли должна сочетаться с интенсивной борьбой с загрязнением среды. В нашей стране достигнуты серьезные успехи в бурении. Используются новые машины для проходки тоннелей и выработки угольных пластов. В будущем «сверлении» земной коры предполагается использовать и ультразвук, и высокочастотные токи. Существуют разработки совершенных подземных ходов, этих технических «кротов», которые сообщат с помощью автоматики тем, кто управляет ими с поверхности, о богатствах подземного мира.

Трудно сказать, как скоро мы «разработаем» всю земную кору и «примемся» за мантию или даже ядро — технические трудности на этом пути колоссальны. Но не видно принципиальных причин, мешающих глубинному освоению Земли.

Когда истощатся рудные запасы нашей планеты, человечество, вероятно, перейдет к использованию обычных горных пород. Это логично — ведь в 100 тоннах магматической горной породы, например, гранита, содержится в среднем 8 тонн алюминия, 5 тонн железа, 0,5 тонны титана и многие другие ценные вещества.

А богатства океана, в каждом кубическом километре которого находится 38 тонн твердого вещества! Из них 30 тонн составляет поваренная соль, а остальные 8 тонн приходятся на ценные элементы (на магний — 4,5 тонны). Земные океаны содержат 10^{17} тонн водорода и 10^{13} тонн дейтерия — сырьё для атомных и термоядерных установок.

Термоядерная энергия кажется нам панацеей от всех бед. И в самом деле, солнечную энергию мы использовать эффективно пока не умеем, а остальные виды энергии (включая энергию воды, ветра и вулканов) явно не обеспечат энергетических нужд человечества. Использование нефти и угля в качестве топлива заставляет вспомнить знаменитое замечание Д. И. Менделеева: «Можно топить печь и ассигнациями!»

Но так ли хороша термоядерная энергия, как иногда об этом пишут?

Да, энергии при термоядерном синтезе можно получить много, во всяком случае достаточно для человечества «на первое время». Но производство этой энергии грязное и опасное. Оно и останется таковым, пока не будут найдены (если это возможно!) способы обезвреживания ядерных «отходов». Предложение об атомных «свалках» на Луне вряд ли подходяще — ведь космос мы все-таки собираемся осваивать, т. е. заселять.

Таким образом, проблемы вещественных и энергетических ресурсов человечества очень сложны. Безответственным оптимистическим заявлениям на этот счет надо противопоставить серьезную работу по созданию безотходного производства, обеспечению прогрессивного развития земной биосферы и поискам новых, «чистых» способов получения большого количества энергии.

Чем богат ближний космос? Насколько реально его освоение и использование на благо человечеству?

Пожалуй, нигде в другой области так не ощущается взрывообразный характер развития земной цивилизации,

как в космонавтике. Ее успехи поистине изумительны. Всего за какие-то два десятилетия — срок, ничтожный в истории Земли, наша планета оказалась окруженной свитой из тысяч спутников, земные автоматические станции успешно исследуют Луну, Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и межпланетное пространство. Окрестности Земли ежегодно бороздят пилотируемые космические корабли, и, наконец, состоялись первые экспедиции на Луну.

Калейдоскоп достижений современной космонавтики несколько притупил у большинства землян способность удивляться новому: к запуску очередного спутника многие из нас относятся столь же равнодушно, как к заурядному полету самолета. В этой адаптации человеческого сознания к успехам космонавтики можно усмотреть и положительную черту. Люди начали привыкать к космосу, а космонавтика постепенно становится таким же повседневным человеческим делом, как авиация. Но именно это и отражает важнейшее событие в эволюции Земли — переход человечества в космическую фазу своего существования.

Попробуем представить себе дальнейший ход событий. Попытаемся набросать близкие и далекие перспективы в освоении Солнечной системы.

Жидкостные ракетные двигатели — основа современных ракет-носителей. В качестве горючего в них используются, например, керосин, спирт, гидрозин, жидкий водород, окислителем служат жидкий кислород, азотная кислота или перекись водорода. Эти двигатели очень шумны, прожорливы, но зато они развивают огромную тягу, способную придать космическим аппаратам требуемые космические скорости. Максимальные скорости истечения газов из сопла жидкостных ракетных двигателей не превышают 5 километров в секунду, а оптимальное число ступеней в стартовых комплексах обычно заключено в пределах 2—4. По мере проникновения все в более и более отдаленные районы Солнечной системы размеры и масса ракет-носителей значительно увеличиваются. Необходимость в таких исполинах отпадает, если межпланетный комплекс собирать на околоземной орбите. Но для доставки отдельных блоков на эту орбиту опять же потребуются достаточно мощные стартовые ракетные системы.

Существуют несколько вариантов ядерных ракетных двигателей. В них рабочее тело нагревается не за счет собственной химической энергии, как в жидкостных ракетных двигателях, а за счет тепла, выделяющегося при ядерной реакции. В качестве рабочего тела можно использовать водород или даже обычную воду. В двигателях с твердофазным ядерным реактором удавалось достичь (при наземных испытаниях) скоростей истечения до 8 километров в секунду. В двигателях с жидкофазным ядерным реактором эта скорость может быть доведена до 20 километров в секунду. Если же удастся в космических двигателях использовать газофазный ядерный реактор, скорость истечения можно повысить до 70 километров в секунду.

Когда человечество научится управлять термоядерной реакцией, оно, несомненно, использует термоядерные реакторы и для космических полетов. В этом случае станут реальными скорости истечения до 100 километров в секунду.

Следует заметить, что высокие скорости истечения газов из сопла космических двигателей сами по себе еще не решают всех проблем космической тяговой энергетики. Даже если эти скорости будут огромными, а тяга ничтожно мала, двигатель не сможет сообщить космическому аппарату нужное ускорение. По-видимому, космические ядерные двигатели придется использовать главным образом как двигатели малой тяги, пригодные для коррекции, маневрирования, но не для старта с Земли и других крупных небесных тел. Возможно, что через несколько лет ядерные двигатели с твердофазными реакторами удастся использовать на верхних ступенях ракет-носителей (верхних потому, что на нижней ступени эти двигатели вызвали бы радиоактивное заражение). Во всяком случае жидкостные ракетные двигатели будут служить еще долго.

Освоение космоса человечеству пока обходится чрезвычайно дорого. За программу «Аполлон» американцам пришлось заплатить 25 млрд. долларов. Ясно, что рассматривать планеты как объекты, с которых ценные вещества будут доставляться на Землю, пока не приходится. Другое дело — «разработка на месте», т. е. организация космического производства прежде всего для жизнеобеспечения, скажем, постоянных лунных или пла-

нетных поселений. Этот этап освоения космоса, собственно, начался на наших глазах.

Надо признать, что пока мы еще очень мало знаем о минеральных богатствах Луны, тем более планет. Вполне возможно, что на Луне и земноподобных планетах есть минеральные ресурсы, аналогичные земным. Наиболее ценные из них в небольшом количестве будут, вероятно, доставлены на Землю, остальные пойдут на организацию индустрии в космосе. По-видимому, начинать надо с Луны и Марса, где создание сначала временных станций, а затем и постоянных поселений вполне реально. Труднее (из-за близости к Солнцу) освоить Меркурий. Сегодня даже представить себе невозможно освоение Венеры — слишком негостеприимен ее мир. Планеты-гиганты в далеких планах освоения Солнечной системы рассматриваются главным образом как источники термоядерного топлива. Более перспективны в смысле освоения крупные спутники, хотя конкретных проектов на этот счет пока не существует.

Заманчиво поймать какой-нибудь железный астероид и перевести его (с помощью ракетных двигателей) для разработки в окрестности Земли — при диаметре астероида 720 м его хватило бы для удовлетворения годовой потребности человечества в железе. Однако сегодня на полеты к астероидам, тем более на их «буксировку» потребуются колоссальные затраты.

Освоение ближнего космоса не следует сводить к поискам и использованию вещественных богатств космических тел. Задачу можно сформулировать шире. Есть два пути приспособления человека к враждебным ему условиям космической среды. Первый из них состоит в том, что в кабинах космических кораблей системы жизнеобеспечения создают миниатюрный «филиал Земли», земной комфорт. В микромасштабе ту же функцию выполняют скафандры. На первых стадиях освоения Луны и других небесных тел придется довольствоваться этим. Но, «закрепившись» на Луне, построив первые лунные жилища, по характеру системы жизнеобеспечения напоминающие кабины космических кораблей, человечество, возможно, приступит к реорганизации самой Луны, к искусственному созданию на ней в глобальном масштабе обстановки, пригодной для обитания. Иначе говоря, не пассивное приспособление к враждебной внешней космической сре-

де, а изменение ее в благоприятную для человека сторону, активная переделка внешней среды в «земноподобном» духе — вот второй путь, обеспечивающий возможность расселения человечества в космосе.

Конечно, второй путь труднее первого. В некоторых случаях он неосуществим или кажется неосуществимым. Так, создание вокруг Луны постоянной атмосферы за счет газов, полученных искусственно из лунных пород, представляется нереальным, фантастическим главным образом из-за слабой лунной гравитации. Тяжесть на лунной поверхности в 6 раз меньше земной, и искусственная лунная атмосфера должна быстро улечься. Но тот же проект для Марса принципиально вполне осуществим, и возможно, что когда-нибудь усилия человечества превратят Марс в маленькую Землю. Впрочем, и для Луны могут быть открыты способы, обеспечивающие стабильность ее искусственной атмосферы. А тогда на Луне, быть может, удастся создать и гидросферу и биосферу. Мертвый мир Луны оживит человеческий Разум.

Из всех планет Солнечной системы Марс, несомненно, первым подвергнется «колонизации». Пилотируемые полеты к Марсу проектируются на 80-е годы текущего века, а высадка первой экспедиции на Марс — до 2000 года.

Однако уже сейчас Марс обзавелся искусственными спутниками, и на его поверхность опустились советские автоматические станции. Это случилось всего через 5 лет после посадки таких станций на Луну, несмотря на то что даже при наибольшем сближении с Землей Марс почти в 150 раз дальше Луны — факт многозначительный, иллюстрирующий необычно бурный прогресс космонавтики.

Если бы мы располагали двигателем, который на протяжении всего полета к Марсу придавал бы космическому кораблю ускорение, равное 9,8 метров в секунду, то до Марса можно было бы добраться всего за неделю. Сейчас пока невозможно представить, как подойти к техническому решению такой задачи, но и утверждать, что средства межпланетных сообщений останутся такими же, как и сегодня, тоже нельзя.

Впрочем, если речь идет о Марсе, то и при современном уровне техники его освоение вполне возможно. Вероятно, стадии заселения Марса и Луны будут одинаковые.

Освоение Солнечной системы — это не только полеты на планеты, их спутники и заселение некоторых из них людьми и автоматами. Это прежде всего и раньше всего переделка нашей Земли по вкусу и требованиям человечества. Не все нравится нам в нашей космической колыбели. Пока человечество находилось в младенческом состоянии, с этим приходилось мириться. Но сейчас оно настолько повзрослело, что не только вышло из своей колыбели, но и почувствовало в себе силы заняться коренной переделкой собственной планеты.

Нет недостатка в проектах искусственного изменения климата. Например, предлагается перегородить плотной Берингов пролив и перекачивать атомными насосами теплую воду Тихого океана в Ледовитый океан. Есть немало проектов изменения направления теплого течения Гольфстрим, в частности использование его для отопления североамериканского побережья. Большую популярность приобрели проекты поворота вспять крупнейших рек Сибири и обводнения с их помощью засушливых районов Средней Азии. Есть аналогичные проекты «оживления» Сахары и других пустынных районов Земли. Все эти проекты объединяет один недостаток — в них не учитываются последствия их реализации, которые могут оказаться катастрофическими (например, поворот Гольфстрима к побережью Северной Америки вызовет оледенение Европы). Теми же пороками страдают и проекты обширных водохранилищ, новых каналов и вообще всяких крупных искусственных изменений в физической природе Земли, в том числе искусственного уменьшения облачности или обильного дождения.

Следовательно, переделке Земли должно предшествовать тщательное научно обоснованное прогнозирование последствий вмешательства человечества в установившееся равновесие природных явлений.

Не умея пока переделать собственную планету, человечество, тем не менее, обсуждает радикальные проекты переделки всей Солнечной системы. Нашу самоуверенность можно, пожалуй, оправдать тем, что реализация этих проектов — дело далекого будущего, дело невероятно трудное, к которому надо готовиться загодя.

В астрономии по традиции принято называть планеты «небесными землями». Условность этого термина ны-

не очевидна — даже в нашей Солнечной системе, строго говоря, ни одна планета не похожа на Землю. При переделке Солнечной системы главной целью, очевидно, будет исправление этого «недостатка природы». Говоря яснее, человечество, вероятно, построит вокруг Солнца годные для жизни искусственные сооружения, максимально использующие запасы вещества планет и животворящую энергию Солнца.

Истоки этой идеи мы находим у К. Э. Циолковского в его проекте искусственных планет земного типа или гораздо меньших «космических оранжерей». С точки зрения чисто количественной, запаса вещества в одних планетах-гигантах вполне хватило бы на изготовление нескольких сотен «искусственных земель» или нескольких сотен тысяч «космических оранжерей». В принципе можно было бы перевести все их на более близкие к Солнцу орбиты. Беда в том, что качественно планеты-гиганты для этой цели неподходящи — нельзя же строить «искусственные земли» из водорода или других газов (если, конечно, не предварить это строительство термоядерным синтезом тяжелых элементов).

Некоторые исследователи (И. Б. Бестужев-Лада и независимо от него Ф. Дайсон) предложили окружить Солнце исполинской искусственной сферой, на внутренней поверхности которой разместить все, почти неисчислимое к тому времени человечество. Такая сфера полностью улавливала бы излучение Солнца, и эта энергия стала бы одной из основных энергетических баз «бывших» землян («бывших» потому, что на постройку такой сферы придется израсходовать вещество всех планет, в том числе Земли).

Несколько лет назад было, однако, показано, что такая сфера динамически неустойчива, а значит, и непригодна для обитания.

В некоторых проектах предлагается, не покидая нашу колыбель и не «стирая ее в порошок», наращивать Землю извне за счет вещества других планет. Очевидно, при таком наращивании все новых и новых этажей прогрессивно будет возрастать сила тяжести, что сильно затруднит не только строительство «новой Земли», но и обитание на ней чрезмерно «отяжелевших» людей.

В проектах профессора Г. И. Покровского¹ взамен «Сферы Дайсона» предлагается создание вокруг Солнца

из вещества планет различных устойчивых твердых динамических конструкций.

Во всех этих кажущихся фантастическими проектах, безусловно, верна основная идея: освоение Солнечной системы человечеством завершится лишь тогда, когда оно полностью и наиболее удобным для себя образом использует вещество и энергию этой системы, в первую очередь Земли.

Путь к звездам лежит через недра Земли.

¹ См. сборник «Населенный космос» (М., «Наука», 1972).

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Земля и космос	5
Изящная фигура Земли	
Открытие земного шара	9
Что такое геодезия?	12
Земля и маятник	15
Фигуры вращающихся тел	17
Слово о геоиде	20
Спутниковая триангуляция	23
Наша подвижная планета	
Тринадцать движений Земли	25
Земля пульсирует	32
Равны ли сутки между собой?	34
Путешествия земных полюсов	37
Что там внутри?	
Принцип изостазии	41
Об упругости и волнах	44
Когда содрогается Земля	46
Сейсмическая модель планеты	49
Можно ли предсказать землетрясение?	53
В роли магнита	
Магнитное поле Земли	56
Земные недра и магнитные аномалии	59
Загадки палеомагнетизма	62
Динамо-гипотеза и ее конкуренты	65
Земная кора	
Геологическая деятельность атмосферы	67
Гидросфера и полезные ископаемые	72
Вулканизм Земли	76
О движениях земной коры	79

	Стр.	
Сколько лет Земле?	Немного геохронологии	82
	Становление планеты	89
	Плавающие материки	91
	Расширяется ли Земля?	98
	Геологические ритмы	100
	Эволюция биосферы	106
	Рождение человека	115
	Человечество как геологическая сила	121
Откуда взялась Земля?	Солнечная система	127
	«Холодный» вариант земной био- графии	139
	Совместно с Солнцем	145
	«Горячее» рождение Земли	148
Геология и селенология	Из истории селенологии	154
	Прогулка по лунной карте	158
	Луна глазами геолога	165
	О современном лунном вулканиз- ме	173
	Кора и недра Луны	178
Рождение планетологии	Бледные туманы Меркурия	182
	Наша мрачная соседка	188
	Марс сегодня и вчера	193
	Среди полузвезд	203
	Была ли планета Фэтон?	209
О сокровищах Земли и космоса	Станет ли человечество космиче- ской цивилизацией?	218
	Богатства Земли и ближнего космоса	224

Феликс Юрьевич Зигель

ВАМ, ЗЕМЛЯНЕ!

Редактор издательства

В. Н. Никитина

Художник

В. Митченко

Художественный редактор

В. В. Шутько

Технический редактор

Е. С. Сычева

Корректор

Т. Ю. Шульц

Сдано в набор 13/II 1976 г. Подписано
в печать 17/V 1976 г. Т—07098. Формат
84×108¹/₃₂. Печ. л. 7,5. Усл. печ. л. 12,6.
Уч.-изд. л. 12,14. Бумага № 2+№ 1. Заказ
494/5180—3. Тираж 87 000 экз. Цена 38 коп.

Издательство «Недра».
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд,
д. 1/19.

Владимирская типография
Союзполиграфпрома
при Государственном комитете
Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли
600610, г. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.