

Ф. Ю. ЗИГЕЛЬ

ВАМ, ЗЕМЛЯНЕ



Ф. Ю. ЗИГЕЛЬ

ВАМ, ЗЕМЛЯНЕ



ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ



МОСКВА «НЕДРА» 1983

ББК 22.654.1
З 59
УДК 551.1(023)

Зигель Ф. Ю. Вам, земляне. Изд. 2-е, перераб. М.,
З 59 Недра, 1983. 161 с.

Рассказано о становлении Земли как космического тела и ее строении, богатствах земных недр, планетологии — науке, изучающей проблемы развития планет. Рассмотрены космические связи Земли, определяющие ее развитие, вопросы дрейфа континентов и расширение Земли.

Второе издание (1-е изд. — 1976 г.) дополнено материалами о новейших достижениях планетологии; роли вулканов в происхождении жизни, экологических проблемах.

Для широкого круга читателей.

З 1903010000—339
043(01)—83 347—84

ББК 22.654.1
526

Рецензент — д-р геол.-минер. наук *А. Г. Гайнанов (МГУ)*

ФЕЛИКС ЮРЬЕВИЧ ЗИГЕЛЬ

ВАМ, ЗЕМЛЯНЕ

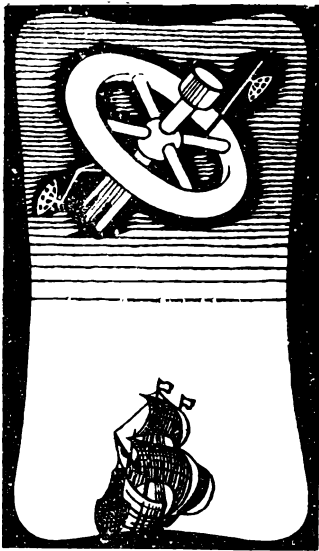
Редактор издательства *В. Н. Никитина*
Оформление художника *В. Митченко*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *Е. В. Воробьева*
Корректор *Н. Г. Гаспарян*
ИБ № 5495

Сдано в набор 20.06.83. Подписано в печать 29.08.83.
Т-18419. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2.
Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л.
8,4. Усл. кр.-отт. 8,61. Уч.-изд. л. 9,94. Тираж 150 000 экз.
Заказ 496/9336—3. Цена 30 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633,
Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

© Издательство
«Недра», 1983



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

К. Э. Циолковский

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 гететически тесно связана с космосом. Нельзя понять земное, не изучив небесное. В то же время для понимания явлений, наблюдаемых в космосе, нужны чисто «земные» науки, например геология. Особенно это ощущается в последние годы.

Уже первые шаги человечества в космос показали, что бóльшая часть тел Солнечной системы доступна 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 часть сокровищ нашей планеты. Мы живем на исполинской «шкатулке», таящей неисчислимые богатства. 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, в результате которой она разделилась на геосферы. Наиболее важная из геосфер — земная кора: на ней обитает человечество, и ее сокровища доступны непосредственному использованию. Но происхождение и

распределение этих сокровищ тесно связаны с эволюцией земной коры. Это вопрос сложный, и часто вместо окончательного ответа на него предлагаются гипотезы, нередко противоречивые. Однако четко сформулированная загадка дает пищу для размышлений, а научная мысль поистине всесильна — 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.

В вопросе о происхождении Земли как рядовой планеты Солнечной системы полной ясности еще нет, но 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. Загрязнение 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.

Наша планета изучается 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 теория земного магнетизма, объясняющая (вернее, 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 соприкоснуться с социологией, экономикой и другими науками о человеке.

В настоящее время предпринимаются успешные попытки создать общую теорию Земли, рассматривающую различные уровни организации геосистем. Такой раздел естествознания, названный геонимией и являющийся всеобщим землеведением, включает не только геологию, географию, геофизику и геохимию, но также планетологию, экологию и даже отдельные разделы астрономии. Подробный обзор этой рождающейся на наших глазах новой науки дан в интересной книге И. В. Круть «Введение в общую теорию Земли» (М. «Мысль», 1978).

Читатель, утомленный этим далеко не полным перечнем наук о Земле, вероятно, согласится, что писать книгу о Земле очень трудно. 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 расширению познаний о земных недрах. 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.

Предлагаемое вниманию читателей второе издание книги дополнено главами о кристаллической структуре Земли, о роли вулканов в эволюции живого вещества на нашей планете, об экологических проблемах, глубоко волнующих современное человечество. Просмотрена и исправлена остальная часть книги в соответствии с новыми достижениями наук о природе и происхождении нашей планеты.

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

2. При поднятии наблюдателя над земной поверхностью даль-

ность 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),

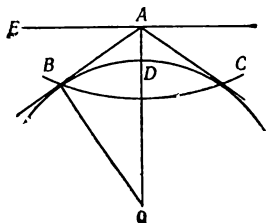


Рис. 1
Дальность видимого горизонта

а наблюдатель находится на высоте AD , равной H , то дальность горизонта $AB=d$ определяется по формуле $(R+H)^2=R^2+d^2$, откуда $d^2=2RH(1+H/2R)$. 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 $H=2$ м дальность горизонта равна 7,6 км, а при $H=1$ км она увеличивается до 120 км. 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 предмета 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 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, свою тень на Луну отбрасывает и атмосфера Земли — 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!

«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 данных астрономических наблюдений измеря-

ют широты этих пунктов, а затем длину дуги AB делят на разность широт 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 зави-

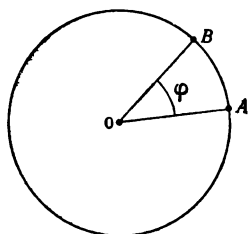


Рис. 2
Измерение радиуса земного шара

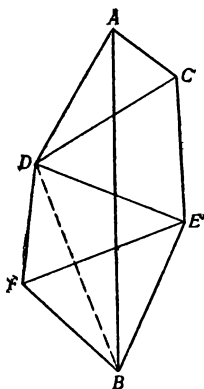


Рис. 3
Триангуляционная сеть

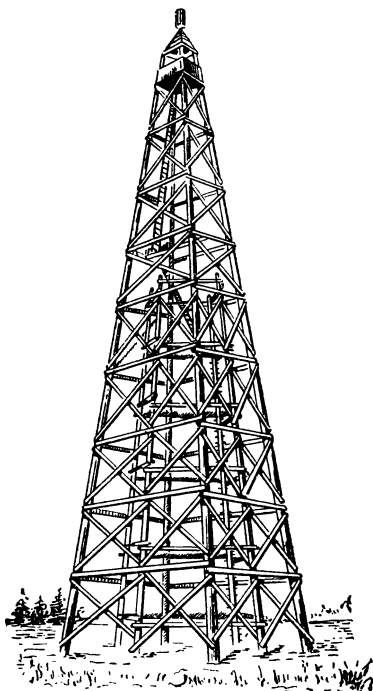


Рис. 4
Геодезический знак

сит от качества применяемых инструментов. Что касается дуги AB , то ее геодезисты измеряют методом триангуляции.

Пункт A обычно находится далеко от пункта B . 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). Размеры треугольни-

ков выбирают так, чтобы из каждой вершины каждого треугольника отчетливо были видны две другие его вершины. Сами вершины отмечают специальными пирамидоподобными сооружениями — геодезическими знаками или сигналами (рис. 4). В полученной таким образом триангуляционной сети измеряют углы треугольника, а затем 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 труда.

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) решили проверить, прав ли Ньютон. Но по их градусным измерениям (на участке от Барселоны до Дюнкерка) 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, перуанскую — Кондамин. Участники обеих экспедиций работали в исключительно сложной обстановке, подвергаясь всевозможным опасностям и лишениям. Их героический труд растянулся на десятилетия, 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 (1) он измерял 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 км, в более точном приближении Земля — сфероид. Большая полуось a земного сфероида (по Ф. Н. Красовскому) равна 6378,245 км, малая полуось b — 6356,863 км. Следовательно, полюсы Земли на 21,4 км 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 см полярный диаметр оказался бы короче экваториального всего на 1 мм, 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 15 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 свободного падения.

Раз часы стали отставать, т. е. период колебания их маятника увеличился, значит, или удлинился маятник, или ускорение свободного падения 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 показали, что для замеченного отставания часов надо, чтобы температура в Кайенне была на 200 °С выше, чем в Париже. Следовательно, причина происшествия, поразившего Ш. Рише, заключалась в другом — в ускорении свободного падения, 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, уменьшились бы при этом и сила тяжести, и ускорение свободного падения. Это одна из причин «парадокса Рише». Вторая причина — 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 свободного падения на северном полюсе равно $983,234 \text{ см/с}^2$, 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 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 (например, 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 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 высокоточными хронометрами.

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 значений, полученных в разных точках

земной поверхности. Для абсолютных измерений g (в $\text{см}/\text{с}^2$) использовали специальные так называемые оборотные маятники, для которых определялись и период, и длина.

Ныне маятниковый метод применяется лишь для решения немногих специальных задач, а абсолютные ускорения свободного падения измеряют методом свободного падения тел в вакууме. При этом ускорение падающего тела измеряют вполне современным способом: расстояния определяют с помощью лазерного интерферометра, а время «засекают» кварцевыми или молекулярными часами. Точность таких измерений очень высокая — средняя квадратическая погрешность не превышает 10^{-7} $\text{м}/\text{с}^2$.

Фигуры вращающихся тел

Точно неизвестно, какой была первичная Земля. Однако в любом случае она не была абсолютно твердым телом, а значит, сохраняла способность к деформации, изменению 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 обусловлена только игрой внутренних сил. Если бы «капля» не вращалась, то ее форма определялась бы только взаимным тяготением составляющих частиц, которые стремились бы подойти друг к другу как можно ближе. Это им удалось бы лишь при 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 сфероиды 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 центробежной

силы, 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 уравнивается силой их противодействия. Именно в этом смысле и надо понимать равновесие сил, определяющих форму жидкой «капли».

В 1834 г. немецкий математик Якоби доказал, что, кроме сфе-

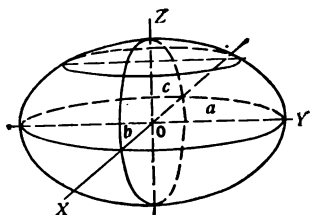


Рис. 5
Трехосный эллипсоид

роидов Маклорена, могут быть другие фигуры равновесия жидкой «капли». Оказывается, при достаточно большой угловой скорости вращения сфероиды Маклорена переходят в трехосные эллипсоиды Якоби. Экваториальное сечение эллипсоида (как и его меридиональные сечения) также представляет собой 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 причиной этого были не только погрешности измерений, но и то, что реальная Земля отличная 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 окружности. Но все-таки разница есть: наибольший экваториальный диаметр Земли отличается от наименьшего на 140 м. Самый длинный диаметр экватора направлен в точки с долготой 20° к западу и 160° к востоку от начального Гринвичского меридиана, а самый короткий — в точки с долготой

70° к востоку и 110° к западу. 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 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» — воображаемая поверхность, достаточно точно отображающая реальную поверхность нашей планеты и в то же время доступная для практического изучения.

Буквально «геоид» — это «земноподобный». Это поверхность, которая приближенно совпадает со спокойной поверхностью Мирового океана и перпендикулярами к которой в каждой ее точке служат отвесные линии. Продолжив эту поверхность под материками так,

Рис. 6
Поверхности
геоида
и эллипсоида



чтобы во всех точках она оставалась уровенной, т. е. перпендикулярной к отвесной линии, получим полную поверхность геоида.

Для наглядности приведем пример, предложенный еще Ньютоном. Вообразим, что материки 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 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).

Изучение формы геоида составляет главную задачу высшей геодезии. Эта задача состоит из двух частей: определения 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 гравиметри-

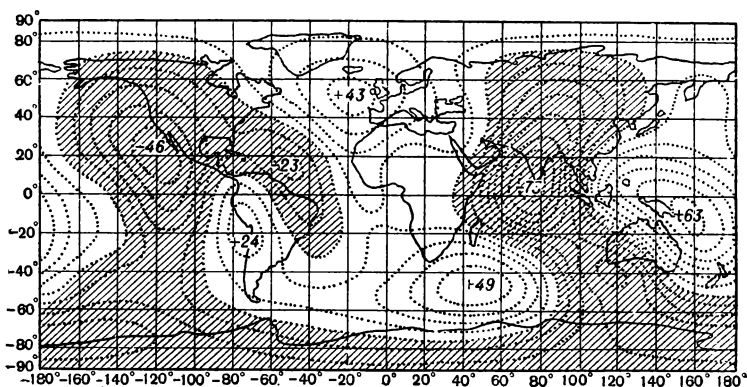


Рис. 7
Карта превышений (в метрах) геоида над сфероидом.
 Заштрихованные участки — области понижений геоида

ческих 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 определяет 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

¹ Первая гармоника отражает шарообразность Земли.

изменение расстояния перигея их орбит от центра Земли. Судя по данным спутников, Северный полюс поднят относительно эллипсоида примерно на 10 м, а Южный полюс опущен под эллипсоид на 30 м. В общей сложности «грушевидность» Земли характеризуется 40 метрами — величиной, конечно, небольшой, по тем не менее вполне ощутимой.

Как уже говорилось, земной экватор представляет собой (во втором приближении) слабосжатый эллипс. 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 рис. 7 показаны превышения геоида над сфероидом (со сжатием 1 : 298,3 и экваториальным радиусом 6378,165 км). Волнистость всхолмленного геоида здесь особенно наглядна. Обращают на себя внимание впадина глубиной 73 м в Южной Индии и возвышенность высотой 63 м вблизи Новой Гвинеи. Эта карта получена в 1965 г по 26 000 наблюдений искусственных спутников Земли — ведь именно эти наблюдения позволяют определять параметры различных гармоник. Аналогичные карты получены по другим наблюдениям спутников. Правда, они отличаются от рис. 7 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 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 применим 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 плоскости ABS_2 в пространстве. Очевидно, эти плоскости пересекаются по прямой AB . Положение BC определяют из пересечения плоскостей BCS_1 и BCS_3 . Прямые AB и BC фиксируют плоскость треугольника ABC , и их пересечение с ACS_1

определяет отрезок AC . Следовательно, по данным спутников можно найти стороны и углы треугольника ABC , т. е. решить первый главный треугольник в триангуляционной сети. Если в этом треугольнике положения точек A и B (а значит, базис AB) известны, то по спутникам находят положение третьей вершины — C . Примечательно, что при этом обязательно знать не точное положение спутников в про-

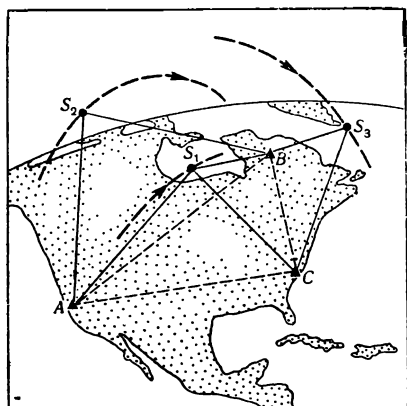


Рис. 8
Принцип спутниковой
триангуляции

странстве, а направление к ним от наземных станций. Чтобы наблюдения с разных станций были синхронными, 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 км. 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. С помощью спутников можно узнать, как изменяется наша планета во времени, как движутся материи, как медленно перераспределяются массы в твердом теле Земли, — словом, как «дышит» и «живет» наша планета. И часть этих задач успешно решается уже сегодня.

Многогранная Земля

После всего, что говорилось об относительной гладкости Земли, о большом сходстве ее с шаром, сфероидом, трехосным эллипсоидом и, наконец, геоидом, — фигурами гладкими, хотя, конечно, идеализированными, разговор об угловатости Земли может показаться странным.

Между тем, как и всякая верная идея, мысль о многогранности Земли высказывалась уже давно, еще Пифагором, Платоном и другими древними философами. Во Вьетнаме и других местах Земли найдены странные предметы, созданные за несколько веков до нашей эры. Они представляют собой многогранники, в вершинах которых укреплены маленькие шарики. Назначение этих находок неизвестно, но кое-кто из смело мыслящих ученых, склонен считать их стилизованными моделями нашей планеты.

Позже идеи о многогранности Земли высказывали многие. Среди них в новое время следует упомянуть геолога Бомона, математика Пуанкаре, кристаллографа Шафрановского. Известный советский геолог Б. Л. Личков полагал, что некоторая угловатость Земли есть результат ее длительной эволюции. Как считают большинство современных ученых, Земля и другие планеты когда-то сформировались из огромного газово-пылевого облака, окружавшего Солнце. Естественно, что первичная, только что сконденсировавшаяся Земля не могла быть абсолютно круглой и гладкой. Геоид формировался, «утрасяясь», на протяжении миллиардов лет. В этом процессе участвовали не только гравитационные силы самой Земли. На формирующуюся планету воздействовали Солнце, разрывные планеты, возможно даже общее гравитационное поле Галактики. А так как Земля складывалась из различных кристаллических пород, то и сама она постепенно приобретала форму исполинского сложного кристалла.

Разумеется, нашу планету в целом нельзя рассматривать как монокристалл — однородный кристаллический многогранник. Но поверхность Земли, как и поверхность кристаллического тела, по-видимому формировалась по принципу минимума поверхностей энергии. В итоге геоид и сегодня несет на себе некоторые черты сложного многогранника.

Эту постепенно складывающуюся в веках гипотезу особенно успешно развил в двадцатых годах текущего века советский геолог С. И. Кислицын. Стараясь подобрать такие многогранники, которые больше всего походили бы на геологические детали Земли, Кислицын изготовил сорок моделей. По его мнению, примерно 400—500 млн. лет назад геосфера, состоявшая в основном из базальтов и до этого имевшая форму додекаэдра (многогранник из двенадцати пятиугольников), приобрела также черты икосаэдра (многогранник из

двадцати треугольников). Совмещение этих двух многогранников наиболее полно отвечает важнейшим геологическим (да и не только геологическим) особенностям сегодняшней Земли.

Упомянутые выше сорок моделей Кислицына не только отражают постепенную эволюцию многогранной Земли. Современные ребра и вершины (узлы) земного многогранника, как заметил впервые С. И. Кислицын, указывают на местонахождение нефти, алмазов, угля, газов и многих других полезных ископаемых. Еще в 1928 г. он указал на территории СССР 12 алмазоносных центров, из которых многие открыты. Ребра и вершины земного многогранника оказались тем «силовым каркасом», в котором наиболее сильно проявляются энергетические возможности Земли. Исследования С. И. Кислицына в свое время были поддержаны В. И. Лениным, Ф. Э. Дзержинским, В. В. Куйбышевым и другими видными советскими деятелями. «Это был удивительный человек, — вспоминает о С. И. Кислицыне акад. Н. В. Белов¹. — Один из тех людей, которые ускоряют наше проникновение за границы неведомого, способствуют поиску новых путей в науке». Работы С. И. Кислицына были успешно продолжены советскими исследователями — действительными членами Географического общества СССР — Н. Ф. Гончаровым, В. С. Морозовым и В. А. Макаровым. То, что им удалось открыть, поистине поразительно и заслуживает самого пристального внимания читателя.

Почти все сколько-нибудь примечательные в геологическом отношении районы Земли приурочены к полигональной поверхностной земной сети. Так, с одним из узлов совпадают залежи тюменской нефти. В Западной Африке (Габон) недавно открыли естественный атомный реактор, который действовал 1,7 млрд. лет назад. В результате случайного сочетания обстоятельств концентрация урана-235 достигла здесь критического уровня, и началась (без всякого человеческого вмешательства) цепная ядерная реакция. В некоторых узлах находятся центры зарождения ураганов и мировые центры экстремального атмосферного давления. Кстати, преимущественные направления постоянных ветров совпадают с ребрами многогранной системы. Стоит ли говорить, что с той же системой связаны океанические хребты и линии разломов земной коры?

С космических высот хорошо видны глобальные геологические структуры. Не мудрено, что космонавт В. И. Севастьянов уточнил «сверху» расположение Уральской складчатой страны и гигантского разлома Марокко—Пакистан. В уточненном виде их расположение совпало с ребрами икосаэдра. В некоторых узлах системы из космо-

¹ Н. В. Белов. Земля — кристалл? — «Известия» от 8 марта 1982 г.

са замечены своеобразные кольцевые геологические структуры диаметром в сотни километров.

Так как в центрах некоторых граней земного многогранника располагаются геохимические и биохимические провинции, не удивительно, что «силовой каркас» Земли влияет и на биосферу. В одних местах в почвах не хватает тех или иных элементов, в других местах отмечается их изобилие, поэтому многие узлы системы стали центрами возникновения различных видов растений. В ряде узлов отмечаются аномалии не только растительного, но и животного мира. Таково, например, озеро Байкал, три четверти обитателей которого (растения и животные) не встречаются больше ни в одном районе планеты. Замечено, что главнейшие места зимовки птиц совпадают с другими узлами системы. Любопытно, что некоторые узлы системы лежат в Бермудском треугольнике и Море Дьявола (восточнее Японии).

Стоит особо отметить, что на протяжении истории Земли узлы ее «каркаса» и энергетически не остаются неизменными. Они то становятся активными, то временно «затухают».

Вся эта удивительная «жизнь» земного «кристалла» не может не сказываться на истории и развитии культуры человечества. Социально-экономические причины, движущие эволюцию человеческого общества, не исключают, конечно, влияния на людей географической среды и ее изменений. Изучая различные особенности многогранной Земли, советские исследователи пришли к выводу, что многие древние очаги культуры лежат в узлах системы. Таковы, например, Египет, Мохенджо-Даро, Северная Монголия, Ирландия, остров Пасхи, Перу и многие, многие другие районы Земли. Среди них и Киев — мать городов русских, — много веков украшающий нашу Родину.

Трудно, конечно, сегодня указать, какой именно природный механизм, какие физические поля и как именно стимулировали возникновение культур. Это — дело будущего, и здесь исследователям предстоит огромная работа¹. Невольно приходит на ум аналогия с биоактивными точками человека, животных и растений, которые используются в акупунктуре и которые, несомненно, служат энергетической информационной основой всякого организма.

Авторы указанной в сноске статьи предположили, что внутреннее ядро нашей планеты — растущий кристалл в форме додекаэдра, своим ростом наводящий ту же симметрию в оболочках Земли, в том числе и в земной коре. По гипотезе советского физика С. И. Брагинского между ядром Земли и внешними ее оболочками существуют конвективные токи, которые обуславливают возникновение магнит-

Гончаров Н., Макаров В., Морозов В. В лучах кристалла Земли. — «Техника молодежи», 1981, № 1, с. 40—45.

ного поля Земли. Эти токи расходятся от растущего центрального геокристалла по радиусам и в конечном счете выходят на поверхность в виде узлов «силового каркаса». Внедряясь в земную кору по ребрам додекаэдра, вещество глубин способствует преобразованию вертикальных давлений в горизонтальные перемещения блоков коры.

Следует добавить, что следы поверхностной полигональной структуры замечены на Луне, Марсе и некоторых других небесных телах. Не исключено, что «многогранность» проявляется и в звездном мире — судя по недавним данным (1979 г.), Метагалактика имеет ячеечное строение, а по ребрам «ячеек» концентрируется до 70 % массы всех галактик. Может быть, каждый объект Вселенной представляет собой энергетический узел, а соединяющие их линии — энергетические каналы? Как ни относиться к таким головокружительным идеям, ясно одно, что мы, дети Земли, еще очень плохо знаем свою планету, ее влияние на нас и на историческую жизнь всего человечества.

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 Фламмарин



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 тонн, одновременно участвует в самых разнообразных движениях. 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. 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 основа-

ния башни. Брошенный камень стремится по инерции сохранить свою прежнюю скорость, поэтому обгоняет движущиеся медленнее точки земной поверхности.

Вращением Земли обусловлены сплюснутость ее, размывание правых берегов рек в Северном полушарии Земли и левых — в Южном, отклонение ветров при приближении их к экватору 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, делаю его слегка порывистым, неравномерным.

Все движения в природе в той или иной степени неравномерны. Например, движение Земли вокруг Солнца. Оно совершается по эллипсу. Когда Земля проходит через перигелий — ближайшую к Солнцу точку своей орбиты, нас отделяют 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 км 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 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 в космическом пространстве.

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.

Рис. 9
Прецессионное движение
земной оси PP'

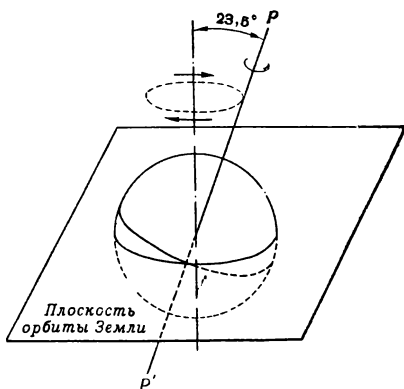
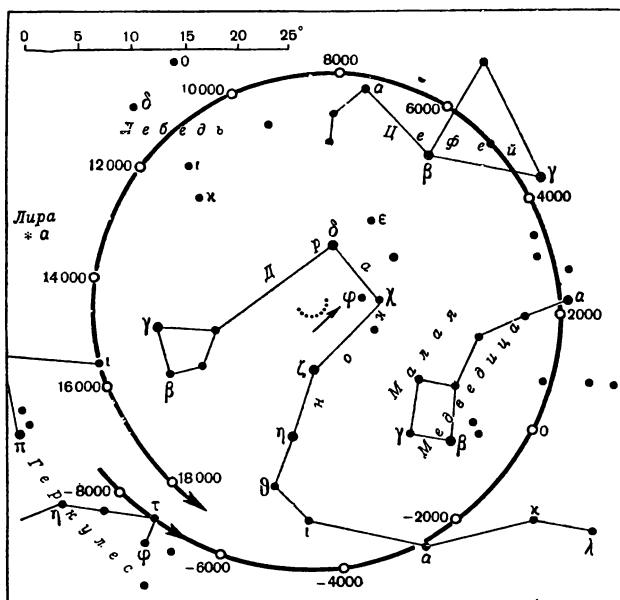


Рис. 10
Прецессионное движение
небесного полюса (Северного полюса мира).

Отрицательные числа относятся к прошлым эпохам, положительные — к будущим



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.

Свою роль указателя севера современная Полярная звезда сохранит примерно до 3500-го года. В 10 000-м году полюс мира подойдет к звезде Денеб — главной в созвездии Лебедя, а в 13 600-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, наоборот, 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 и вид созвездий станет немного иным. Спустя несколько десятков оборотов небесный полюс встретит 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 составляет 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. Это не совсем точно. Земля, хотя и крайне медленно, все же «покачивается», и наклон земной оси слегка изменяется. 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 отдаленную от Солнца точки орбиты Земли, называется линией асид. В ее медленном повороте выражается седьмое движение Земли. Из-за этого сроки прохождения Земли через перигелий неодинаковы. 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 17 000 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 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 км от центра Земли в сторону Луны, т. е. находится внутри Земли почти в 1700 км от ее поверхности. Вот вокруг этой точки и происходит восьмое движение Земли. Благодаря ему 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 Земли, 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 других планет Солнечной системы. Их общее воздействие отклоняет Землю от 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 км 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 принадлежит и наше Солнце как одна из 100 млрд. ее звезд, то 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.

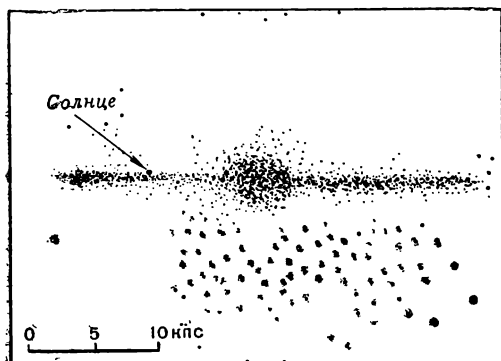


Рис. 11
Схема строения Галактики.

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

Долг 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

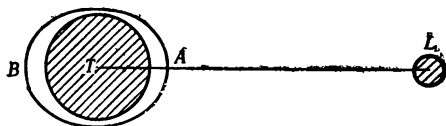
Тем, кто живет на побережье морей и океанов, хорошо знакомо явление приливов. Дважды в сутки, движимая какой-то силой, вода наступает на берег. Она заливают отмели и заставляет отступать сушу. Но успех водной стихии носит временный характер. За каждым приливом неизменно следует отлив, и то, что стало на короткий срок морским дном, снова превращается в сушу. День за днем, год за годом совершается это периодическое движение воды. При-

чины его следует искать далеко за пределами нашей планеты. Виновниками приливов являются Луна и Солнце¹.

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 оболоч-

Рис. 12

Схема лунных приливов



ки. 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). Возникли два приливных горба, постоянно направленных к Луне, будто какая-то невидимая сила растянута 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 катятся 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. 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, обладает заметной податливостью, способностью к деформациям. Это

¹ Альтшулер В. М., Гурвич В. М. Лунные ритмы. Л., Гидрометеоздат, 1981.

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, 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. Изменяется (хотя и еле уловимо) и направление отвеса. Вот по этим ничтожным колебаниям отвесной линии и удастся 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 прибора, называемого горизонтальным маятником. Этот маятник весьма чувствителен к колебаниям температуры, поэтому его устанавливают в глубоких погребах и шахтах, где температурный режим сравнительно постоянный.

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 «покатывается» под вами два раза в сутки со скоростью всего около 1 мм в минуту?

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

Несмотря на скромные масштабы, приливы в твердом теле Земли вызывают к себе больший 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. Сутки содержат 24 часа. В чем же тогда проблема? Простота здесь только кажущаяся. Сложность поставленного вопроса 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 противоречило 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, кото-

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

рые 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 длинее 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 летом, 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 в разных полушариях. 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.

Причины, вызывающие неравномерности третьей группы, пока неизвестны. Эти неравномерности носят характер неправильных «рывков», т. е. неожиданных ускорений или замедлений вращения Земли. 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 ценомверных 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. Истерсом. Ему удалось обнаружить очень медленные и незначительные изменения широты Пулковской обсерватории. 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 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 одной средней точки (центр рисунка), удаляясь от нее не более чем на 13 м. 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 иногда они полностью не повторяются, хотя непрерывные странствования полюсов происходят на площади всего 676 м², что составляет лишь 1/7 часть обычного футбольного поля.

Не следует думать, что движение полюсов Земли вызвано изменением 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

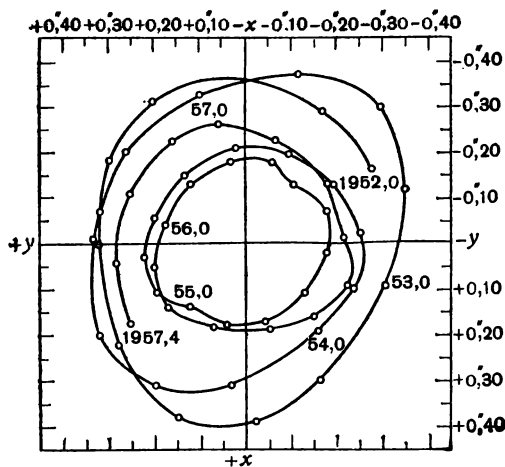


Рис. 13
Движение Северного полюса Земли с начала 1952 г. (1952,0) по апрель 1957 г. (1957,4)

Земле «сбоку», где-нибудь между экватором и полюсами, прикрепил 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 «пудобнее», 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 поверхности 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 астрономов и очень высокая точность измерений позволяют разобраться 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 почитаю описать кратко... самый верхний слой, как покрышку всех протчих, 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, второе — 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 отражаются на измеряемой силе тяжести, и это позволяет вести, в частности, гравиметрическую разведку полезных ископаемых.

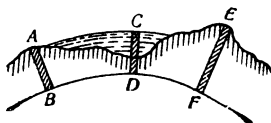
В результате гравиметрической разведки получают сведения не только о самых верхних частях земной коры, но подчас о строении Земли на значительных глубинах (до 1000 км) в пределах обширных районов (регионов). Гравиметрическая разведка основана на отклонениях от средней нормы (аномалиях) силы тяжести. Между тем во всеземном, глобальном масштабе отклонения силы тяжести от нормы имеют некоторую закономерность, связанную, несомненно, со строением глубокозалегающих 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 свободного падения. Еще в 1932 г. в Советском Союзе началась общая гравиметрическая съемка, при которой среднее расстояние между гравиметрическими пунктами

составляло примерно 30 км. Ныне сеть гравиметрических пунктов на значительной части территории СССР и других стран давно уже намного гуще, чем один пункт на 1000 км².

Ускорение свободного падения 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 ускоре-

Рис. 14
Изостатическая поверхность



ние свободного падения в среднем почти одинаково и на океанах, и на материках, хотя, судя по различным данным, толщина континентальной земной коры (в среднем 35—40 км) значительно больше толщины океанической коры (около 5 км). 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 материки, 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 км существует особая урovenная 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 свободного падения 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, то, во-первых, геоид имел бы гораздо более неровную, чем на самом деле, поверхность и, во-вторых, неровности соответствовали бы распределению океанов и материков. Значит, действительно внутри Земли действует какой-то компенсационный механизм, создающий наблюдаемую картину.

Ученые прошлого века Пратт и Эри представляли себе компенсационный механизм по-разному. Пратт (1854 г.) полагал, что возвышенные части земной коры оказались приподнятыми благодаря своей малой плотности. Иначе говоря, здесь имеет место явление, хо-

рошо нам знакомое из житейской практики: чем больше нагрузить лодку, тем глубже она осядет в воду. Эри (1855 г.) представлял себе механизм компенсации несколько иначе. Отдельные части земной коры он уподоблял исполинским чурбачкам одинаковой плотности, плавающим в воде. Чурбак, выступающий из воды больше, чем остальные, должен быть погружен на наибольшую глубину. Кто же оказался прав — Эри или Пратт?

Хейсканен и другие ученые, подробно изучив этот вопрос (1958 г.), 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 обладают струна гитары, стальная пружина и ряд других твердых тел. Кусок мягкой глины или замазки может, наоборот, служить типичным примером неупругого тела.

Процесс распространения колебаний 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, отделяющую 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 волны двух типов — продольные и поперечные. В первом случае колебания отдельных частиц происходят в направлении распространения волны. В поперечных волнах частицы колеблются в плоскостях, перпендикулярных к направлению волны. В сущности, продольная волна — это чередование сгущений и разре-

жений 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 краткого 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 характеризует глубину сейсмического очага. Глубина очага тектонических землетрясений чаще всего 50—100 км, хотя бывали случаи, когда такого рода землетрясения зарождались на огромной глубине — до 800 км!

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, пронизывающие почти всю Землю объемные волны, к которым относятся продольные, или Р-волны (от латинского «прима», что значит первые), и поперечные, или S-волны (от латинского «секунда» — 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 исплинского 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 толь-

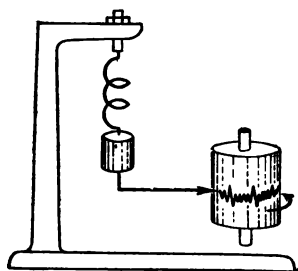


Рис. 15
Схема сейсмографа

ко при одном токийском землетрясении в 1923 г. людские потери составили 140 000.

Разумеется, не все землетрясения катастрофичны. Ежегодно на 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). 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. Сейсмограммы обрабатываются и анализируются с помощью электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Сначала сейсмограф фиксирует продольные волны — Р-волны. Через несколько секунд на сейсмограмме появляется запись поперечных волн — 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 (10^3 Дж). Зато энергия, выделяемая при катастрофических сотрясениях Земли (до 10^{19} Дж), 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 побережье 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 землетрясение происходит под толщиной 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 м, но при сильных моретрясениях достигает 30 м 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 громкие раскаты, и город на глазах обезумевших от ужаса людей начал разрушаться. Люди гибли под обломками рухнувших зданий, в огне 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 м, которая хлынула на берег, углубилась на 15 км 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 км были разрушены многие города и деревни. Участок берега длиной 200 км опустился на 2 м, а города Анкуд и Маулин частично погрузились под воду. В годах образовались трещины длиной в сотни метров при ширине около полуметра и тысячи обвалов. Возникшие при моретрясении цунами высотой около 30 м 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.

Факт существования поверхностных поперечных волн свидетельствует о том, что в верхней части Земли имеется по крайней мере

один слой (земная кора), отличающийся по плотности от нижележащих слоев. Детальное исследование поверхностных волн показало, что есть две разновидности, два типа земной коры. Первый тип — континентальный характеризуется большой толщиной верхнего слоя и малыми скоростями распространения поверхностных волн. Второй тип — океанический отличается от первого мень-

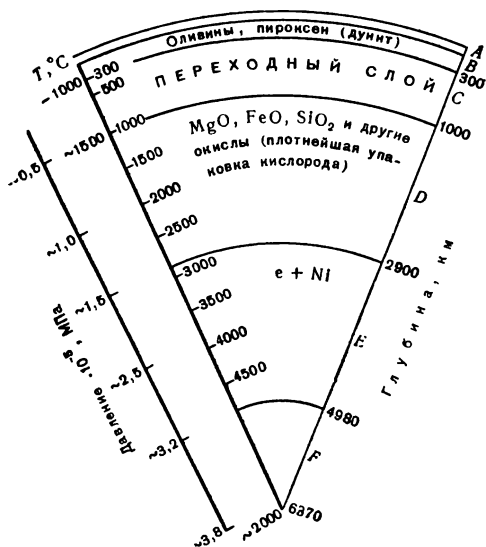


Рис. 16
Разрез земного шара (по А. П. Виноградову).

A — земная кора, B, C, D — верхняя, средняя и нижняя мантии, E, F — внешнее и внутреннее ядра

шей толщиной и соответственно большей скоростью распространения тех же волн.

В начале текущего века удалось доказать, что, начиная с глубины 3000 км, 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 выполняют сейсмические волны. Прежде всего бросается в глаза слонность 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 37—47 км, океанической 7—10 км. 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, она 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 1900 км и разделяется на верхнюю и нижнюю мантию (последняя начинается с глубины 1000 км). Поверхность раздела между мантией и земной корой получила наименование поверхности Мохоровичича (по имени исследовавшего ее югославского ученого). Средняя глубина залегания зоны Мохоровичича — около 33 км. 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 °С. Если бы такой прирост температуры продолжался до центра Земли, температура там превысила бы 100 000 °С. 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 грамма на кубический сантиметр (г/см³). Соответственно повышается и температура мантии — от 500 °С на граничном слое Мохоровичича до 3800 °С 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 км есть слой пониженной плотности, где скорость распространения сейсмических волн понижается с 8,1 до 7,8 километра в секунду (км/с). Этот слой, играющий роль волновода, был назван астеносферой. Под океанами астеносфера простирается до глубины 400 км, под материками — до 250 км.

Центральная часть Земли, лежащая под мантией, называется ядром. На границе ядра плотность резко возрастает до 3,4 г/см³, а давление — до 0,13 млн. МПа. 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 360 000 МПа, и этому давлению соответствует температура 5000 °С. 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 км. Внешнее ядро жидкое, расплавленное, плотность его около 10 г/см³. Плотность внутреннего твердого ядра достигает почти 14,5 г/см³.

«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 м, наибольшая — 11 022 м. 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 — океаническое. Есть и другие закономерности во внешнем облике Земли, объясняющиеся, как будет показано ниже, ее планетарной биографией. В гидросферу Земли входят также 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 покинувшим 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 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 Средиземного 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

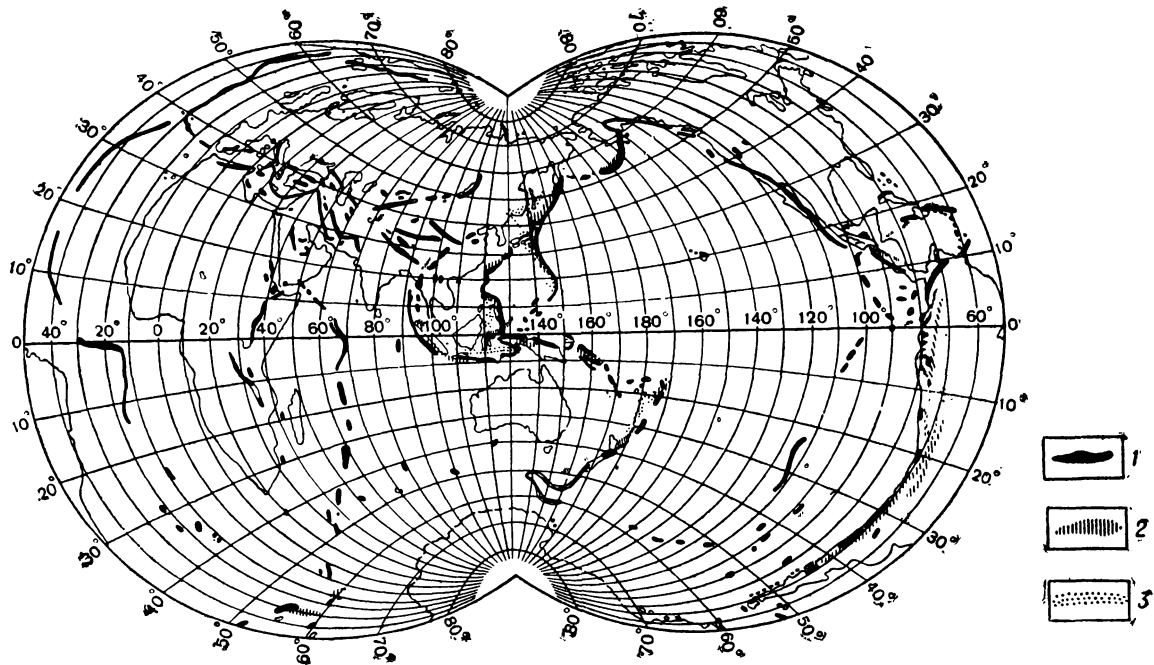


Рис. 17

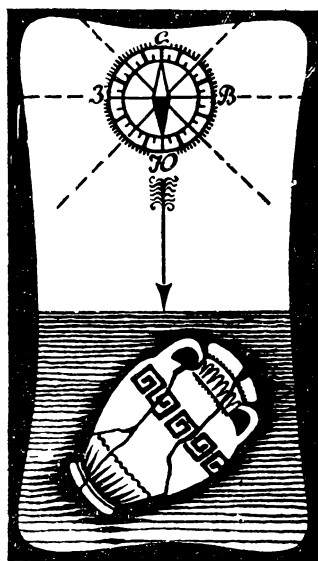
Схема размещения сейсмически активных зон земного шара.

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

землетрясением наклон земной поверхности, измеряемый специальными приборами (наклономерами), начинает быстро изменяться, причем 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.

В РОЛИ МАГНИТА



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 4000 лет назад император Хуанг-Ти пользовался повозкой, на которой была установлена фигурка китайца с вытянутой вперед рукой. Эта фигурка с запрятанным внутри магнитом была одним из древнейших компасов: свободно вращаясь вокруг вертикальной оси, она указывала направление на север.

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

Магнетит содержит около 70 % железа. Если к магнетиту прикоснуться чистым железом, то он 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. Одну половину магнита, ту, где находят-

ся северный полюс, окрашивают в синий цвет, другую половину — в красный. Если такой магнит покрыть бумагой, а на бумагу посыпать мелкие железные опилки, они намагнитятся, 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 км (в сторону Тихого океана). Точки, в которых магнитная ось пересекает земную поверхность, называются геомагнитными полюсами.

Не следует путать идеализированные магнитные полюса Земли с 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 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 $0,8 \cdot 10^{-3}$ А/м) магнитное поле. Хотя магнитное поле Земли имеет значительно большую напряженность (около 40 А/м), под воздействием «солнечного ветра» оно заметно 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 ($0,8 \cdot 10^{-7}$ А/м), 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 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 $0,8 \cdot 10^{-3}$ А/м), чем «солнечный ветер». Когда

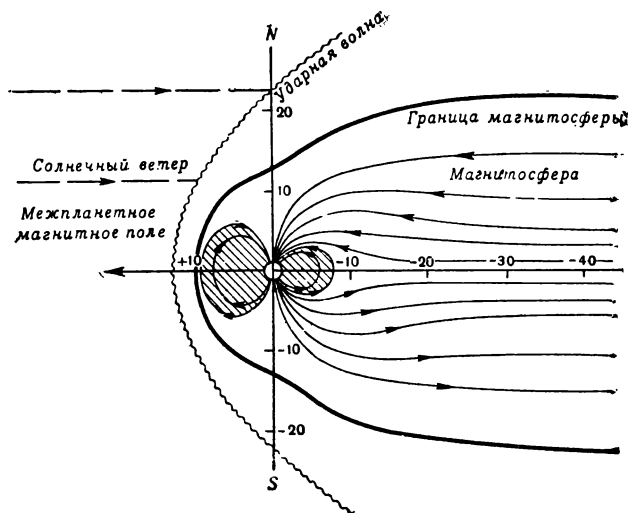


Рис. 18
Магнитосфера Земли.

Числа указывают расстояния в радиусах Земли. Заштрихованы радиационные пояса

да 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. По действием солнечных и лунных приливов ионосферные слои непрерывно движутся в магнитном поле Земли, и в них индуцируются, как в роторе динамо-машины, свои ионосферные токи, изменяющие магнитное поле Земли и заставляющие стрелки компасов хотя и незначительно, но непрерывно колебаться. Наконец, существуют очень медленные, но тем не менее

непрерывно продолжающиеся в к о в ы е 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 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 прошла более 11 км, тогда как при детальном изучении земного магнетизма можно узнать о свойствах вещества, находящегося на гораздо больших глубинах. Лишь на глубине 40—100 км 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. 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 мировые аномалии — одна в Канаде, вторая в Антарктиде, третья в нашей стране, между Енисеем и Леной. Происхождение их пока не совсем ясно, но зато в других случаях «холмы» магнитной карты при-

вели 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 км и тянется к югу на 400 км, другой на 5 км шире и на 200 км длинее. 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 помощью искусственных спутников Земли. Организуются международные исследования, позволяющие в глобальных масштабах выявлять все особенности земного магнетизма и его изменчивости. 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.

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

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 его «магнитной памятью».

Магнитологи неожиданно обнаружили, что обыкновенные кирпичи и древние керамические изделия также обладают остаточным магнетизмом, следами воздействия земного магнитного поля. Этот факт сначала 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 образца 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

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 вековые колебания магнитного поля Земли вызываются наряду с процессами, происходящими в земном ядре, и внешними космическими причинами, например колебаниями солнечной активности.

Как бы там ни было, точно установлено, что геомагнитное поле

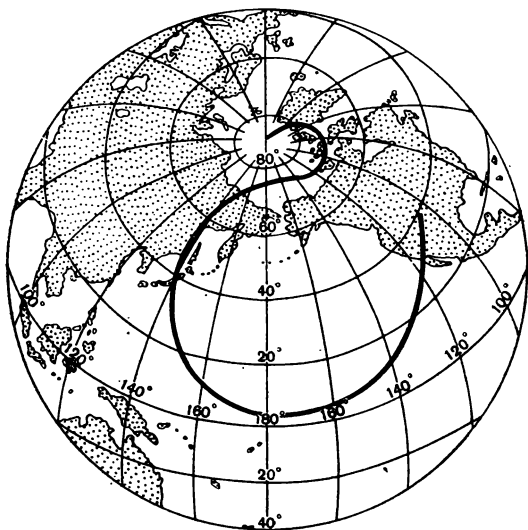


Рис. 19
Смещение геомагнитного полюса (по палеомагнитным данным)

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 остаткам ископаемых животных и растений, происходили резкие скачки в эволюции биосферы — исчезали одни виды животных, уступая место другим. Возможно, что эти скачки были вызваны временным ослаб-

лением 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 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 времени 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 °С, а такую температуру Земля имеет на глубине 200 км. 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 нет.

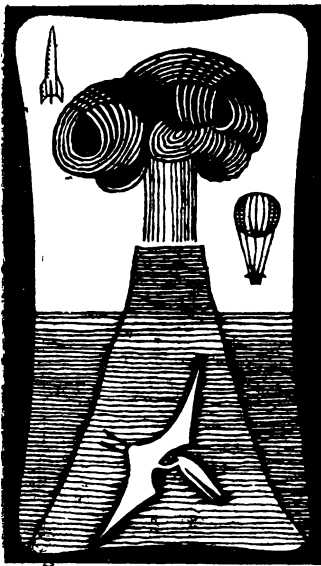
Были предложены и другие гипотезы, также противоречащие твердо установленным фактам. В конце концов утвердилась так называемая динамо-гипотеза, в которой наша планета сравнивается с гигантской динамо-машиной.

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 возбудятся 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 электроток в ядре. Далеко не очевидно, что земное ядро обладает высокой электропроводностью и имеет железо-никелевый 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 вещества Земли, т.е. при перемещении тяжелых масс к ее центру с «выдавливанием» легких масс наружу. Все это, однако, лишь предположения, пока что мало обоснованные. Таким образом, тайна земного магнетизма остается пока неоткрытой.

ЗЕМНАЯ КОРА



Изучая биосферу, геолог в своих выводах выходит за ее пределы в земную кору, которую он ошибочно представлял себе столетиями как кору застывания некогда расплавленной нашей планеты. Земля и тщетно искал в течение нескольких поколений доказательства этого представления.

В. И. Вернадский

Геологическая деятельность атмосферы

Земная кора — объект непосредственных исследований. Она состоит из минералов и горных пород. Минералы — это природные химические соединения, обладающие определенными физическими и химическими свойствами. Что касается горных пород, то они представляют собой минеральные агрегаты, занимающие значительные объемы в земной коре.

Под земной корой находится астеносфера, сверху — воздушный океан нашей планеты — атмосфера. Напомним, что атмосфера — это смесь газов, называемая воздухом, в котором во взвешенном состоянии находятся мелкие жидкие и твердые частицы (аэрозоли). Основа воздуха — азот (около 78 %) и кислород (около 21 %). Примесь углекислого газа незначительна (0,03 %), более заметная доля (около 1 %) принадлежит аргону.

Такой состав имеют нижние слои атмосферы. Выше 1000 км земная атмосфера состоит в основном из гелия, а выше 2000 км — 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 неодинакова. У полюсов Земли она равна 6—8 км, на экваторе 16—17 км. В тропосфере температура быстро падает с высотой (а в среднем 6°C на километр). Так как в различных своих частях и на разных широтах тро-

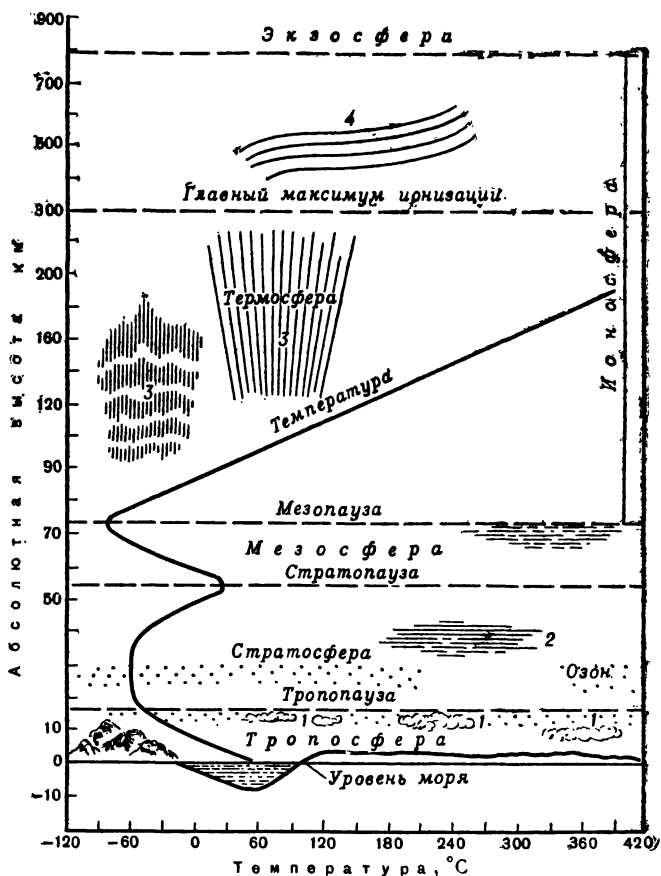


Рис. 20
Схема строения атмосферы.

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

посфера нагрета неодинаково, в ней постоянно происходит конвективное перемешивание воздуха — причина всех ветров и бурь.

Выше тропосферы (до высоты примерно 55 км) простирается стратосфера, включающая слой озона (на высоте 25—30 км).

Температура нижних слоев стратосферы минус 60—70 °С, но с высоты 25 км она начинает повышаться и у верхнего предела стратосферы достигает плюс 30 °С.

Еще выше находится мезосфера, где температура снова падает и где преобладает вертикальное движение воздуха. Область атмосферы выше 80 км 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 км так разрежен, что, несмотря на высокие скорости отдельных молекул, он 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 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 км, состоит из протонов большой энергии, средняя (от 12 000 до 20 000 км) — из протонов и электронов меньшей энергии. Наконец, на высоте 50—60 тыс. километров находится третья зона пояса радиации, состоящая из электронов малых энергий, 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 (м/с) ветер переносит песок и гравий. Продолжающийся тысячелетия, этот казался бы ничтожный по масштабам, процесс «полирует» земную поверхность, действуя подобно наждачной бумаге. Сильные ветры (скорость порядка 30 м/с) переносят мелкие камни, а иногда вырывают из земли с корнями деревья. Что же касается ураганов и смерчей (скорость 60—80 м/с 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, «содрывшая» 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 на поверхности 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, огромные пространства которых покрыты 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 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 их растрескиванию. 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 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 $2 \cdot 10^{26}$ граммов воды, что примерно в десять раз больше массы всей земной коры. Скорее всего гидросфера «подпитывается» водой мантии. Когда действует вулкан или гейзер, этот процесс становится очевидным, но происходит он, наверное, 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 пока много неясного, но уже обсуждаются конкретные гипотетические механизмы этого процесса².

Что касается водообмена между внешними водными бассейнами и атмосферой, то здесь все достаточно ясно. Испаряясь под дей-

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).

ствием 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 $448\,000\text{ км}^3$ воды. В виде осадков возвращается $412\,000\text{ км}^3$, в виде речного стока — $36\,000\text{ км}^3$ (рис. 21).

Воды, стекающие в моря и океаны с суши, называются теку-

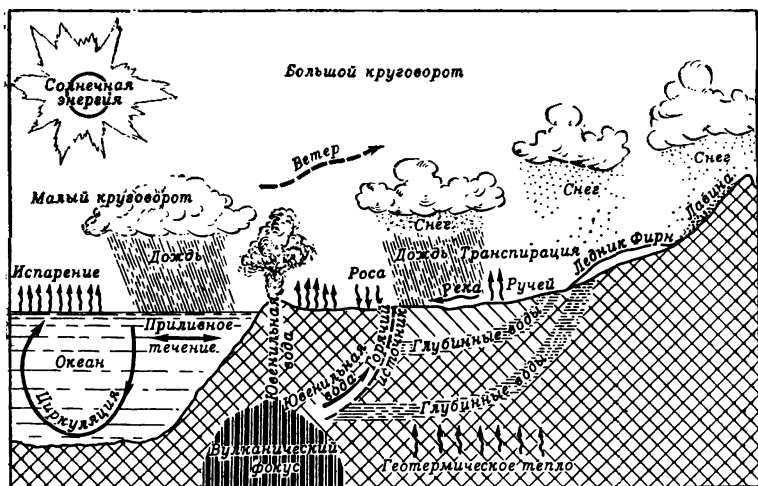


Рис. 21
Круговорот воды на Земле

чими водами. При своем движении они размывают горные породы. Этот процесс получил название эрозии. Следы эрозии видны повсюду. Небольшой водный поток образует рывтвину, 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 р. Обь, имеющая площадь водосбора около $3,35$ млн. квадратных километров. За год реки выносят в моря и океаны огромное количество воды (например, река Амазонка — 3160 км^3). 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 создают. Точнее, человечество сумело использовать даже силы разрушения.

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 толщина льда иногда бывает очень большой. Например, ледяной щит Антарктиды, содержащий 90 % всего земного льда, имеет среднюю толщину около 2 км. Ледники Антарктиды медленно (100—150 м в год) сползают в океан и, обрушиваясь с берегов в воду, становятся плавающими ледяными 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 или 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 — 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 промышленные 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 создалось неверного представления, 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.

Таким образом, роль гидросферы как разрушающая, так 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 процессы, 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 прорезали 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 К. Брюллов запечатлел древнюю трагедию на полотне «Гибель Помпеи».

Извержения вулканов — самое наглядное и грозное проявление внутренних сил нашей планеты. В настоящее время на материках насчитывается около 2000 вулканов, из которых 616 — действующие,

т. е. проявившие свою активность на памяти человечества. Лишь 76 из активных вулканов находятся на дне морей и океанов, остальные расположены на суше. Всего же на дне Мирового океана насчитывается около 10 000 вулканов.

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 м) 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 м, извергается он примерно 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. кубических метров пепла. В Центральной Америке вулкан Исалько действует практически непрерывно.

Каковы же причины земного вулканизма?

На глубине примерно 100 км при давлении 50—55 килобар и температуре около 1500 °С базальты и другие породы мантии находятся в твердом состоянии. Но при уменьшении внешнего давления (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 м 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 десятков километров.

Конус вулкана состоит из продуктов его предыдущих извержений. На склоне конуса нередко действуют побочные вулканы. Котловина в центре вулкана называется кратером, иногда дости-

гающим в поперечнике 25—30 км. Если под конусом вулкана образуются значительные пустоты, центральная часть вулкана проваливается и образуется кальдера — гигантская воронка, в центре которой находится жерло вулкана. В поперечнике кальдеры могут иметь десятки километров. В редких случаях при зарождении нового вулкана извержение происходит из трещин в земной коре, а вулка-

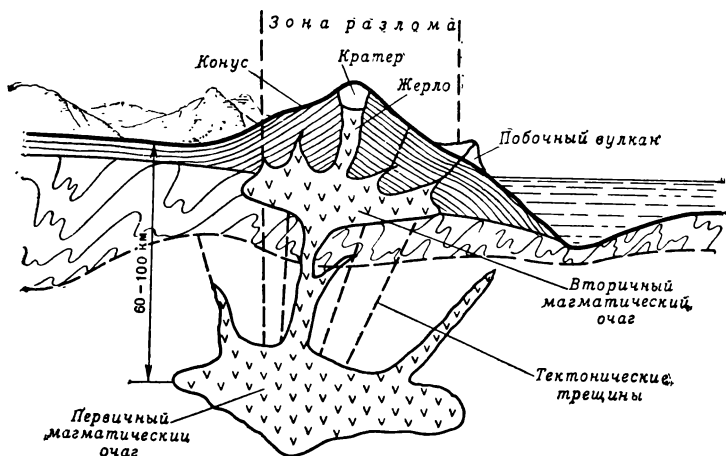


Рис. 22
Строение вулкана

нический 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 в вулканической местности называют гейзерами. Самый большой из них выбрасывает струю кипятка на высоту 50 м.

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 связаны месторождения полезных ископаемых (например, меди, платины, алмазов и пр.).

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 с усилением солнечной активности вулканическая деятельность повышается. 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 натяжения в земной коре, способствует образованию трещин, а следовательно, «стимулирует» вулканическую активность. 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 — излившиеся 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. Наконец, термальные воды используют для обогрева 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 киноплёнку поверхность нашей планеты за всю ее долгую историю, а затем «прокрутить» этот фильм в быстром темпе, мы поразились бы подвижностью земной коры. Одни ее части поднимаются, другие опускаются. Происходят 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 ра-

диуса. Если участок коры поднимается, оттесняя море, происходит регрессия. Наступление моря на сушу — трансгрессия. Скорость поднятий и опусканий — от долей миллиметра до 2 см 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 изгибания 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 первичной огненно-жидкой Земли. С этой точки зрения образование гор так же 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 вертикальные движения коры нарушением изостатического равновесия (за счет колебания мощности осадков, ледников и т. п.). Но тангенциальные смещения земной коры в гипотезе изостазии остаются необъяснимыми.

Некоторые советские геологи (например, В. В. Белоусов) считают, что основная причина тектонических движений 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 сосредоточиваться в глубинах. Все эти процессы заставляют двигаться (в основном по вертикали) соответствующие участки земной коры. При истощении расплава в волноводе тектоническая активность в данном районе Земли, наоборот, понижается.

Тем, кто никогда не видел извержения вулканов, просто трудно представить себе, какое громадное количество скрытых в земных недрах веществ поступает на земную поверхность. В прекрасной монографии известного советского вулканолога Е. К. Мархинина¹ доказано, что за время существования Земли как планеты все недра извергли массу вещества, которая сравнима с общей массой земной коры. Иначе говоря, современная кора, покрывающая земной шар, есть результат сложных геофизических и геохимических процессов, в которых самым активным образом участвовали недра нашей планеты.

Среди всего того, что было выброшено и продолжает выбрасываться наружу, значительная доля органических веществ. Речь идет не о простейших веществах, а о таких сложных химических соединениях, как различные аминокислоты, основания нуклеиновых кислот, аминсахара, порфирины и многие другие, список которых оказывается достаточно длинным. Их находят в вулканическом пепле и других продуктах вулканических извержений. А таких продуктов, повторяем, выбрасывается очень много. Достаточно упомянуть, что, например, во время извержения вулкана Толбачик в 1975—1976 гг. органических веществ было извержено более миллиона тонн!

Какова же судьба этих веществ в настоящем и особенно в прошлом? И Е. К. Мархинин, и другие ученые считают, что изверженные вулканами органические материалы послужили полуфабрикатами при формировании жизни. Они положили начало химической эволюции, приведшей в конце концов к появлению живых организмов. Доля органического вещества, поступающего на Землю из Космоса, ничтожно мала по сравнению с тем, что поставляли земные вулканы. «Именно с образования этих вулканогенных молекул жизни на Земле, — пишет Е. К. Мархинин (с. 156), — началось молекулярная эволюция по пути преобразования неживой материи в живую, приведшую впоследствии к возникновению жизни».

Аналогичных взглядов придерживается доктор физико-математических наук Л. М. Мухин, но в отличие от Е. К. Мархинина он главную роль отводит многочисленным подводным вулканам. По его мнению, окружающая вулкан водная среда, перепад давлений и температур не только способствуют интенсивному синтезу органических соединений, но и обеспечивают (водная среда) относительную стабильность того, что возникло. Неизбежные твердые частицы,

¹ Мархинин Е. К. Вулканы и жизнь. М., «Мысль», 1980. В этой книге читатель найдет подробные сведения и о землетрясениях.

сопровождающие извержение, способствуют, по мнению Л. М. Мухина, концентрации и полимеризации органики. Таким образом, любые вулканы могут стать и, вероятно, когда-то были интенсивными источниками предбиологической эволюции. Но любое как угодно сложное органическое вещество — это еще не жизнь. Для того чтобы неживое стало живым, оно должно пройти еще четыре стадии эволюции: 1) самосборку молекул; 2) возникновение мембран и доклеточную организацию; 3) возникновение механизма наследственности; 4) возникновение клетки.

Как и когда все это произошло на Земле, сегодня никто не знает. По этому поводу высказываются самые разнообразные догадки, вплоть до гипотез о случайном возникновении клетки, что, конечно, равносильно невероятнейшему чуду¹. Неопределенность ситуации дает нам право кратко познакомить читателя еще с одной гипотезой, с полной четкостью высказанной великим русским естествоиспытателем Владимиром Ивановичем Вернадским².

По Вернадскому жизнь ниоткуда не происходила. Она вечна, как вечна материя и ее неотъемлемые атрибуты — пространство и время. В биологии еще с XVII века итальянским ученым Франческо Реди выдвинут известный принцип «все живое происходит из живого», который в полной мере разделял В. И. Вернадский. Серия неудачных опытов с пресловутым «самозарождением» лишь укрепила его в этом мнении, и ничто при его жизни, да и позже, не было похоже на возникновение (вне живых организмов) живого из неживого.

Вернадский полагал, что семена жизни вечно разносятся по вечной Вселенной через бездны мирового пространства, «осеменяя» одну планету за другой. Но эта широко известная гипотеза панспермии (в том числе и «искусственная» панспермия с помощью инопланетян) предполагает длительное сохранение жизненной активности семян и др., поэтому взгляды В. И. Вернадского на вечность жизни в значительной мере были умозрительными. Правда, он обращал внимание биологов на то, что в самых древнейших слоях, где по физическим причинам могла быть жизнь, ее следы неизбежно обнаруживаются.

«Жизнь вечна постольку, — писал В. И. Вернадский (с. 137), — поскольку вечен Космос, и передавалась всегда биогенезом. То, что верно для десятков и сотен миллионов лет, протекших от архаической эры до наших дней, верно и для всего бесчисленного хода времени космических периодов истории Земли. Верно и для всей Все-

¹ Фолсом К. Происхождение жизни. М., «Мир», 1982.

² Вернадский В. И. Начало и вечность жизни. Избр. сочинения. Т. V. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 120.

ленной». Он догадывался, что в живом организме, кроме вещества и энергии, есть и еще нечто вполне материальное, объективное, связанное с жизненными процессами. Эта догадка нашла себе подтверждение в работах многих ученых, в том числе и известного советского психолога проф. В. Н. Пушкина.

Сейчас уже мало осталось ученых, кто отвергал бы реальность биополя — той материальной сущности, которая ответственна не только за все психологические, но и парапсихологические процессы¹. Биополе особенно ярко проявляет себя в явлениях акупунктуры, образуя нечто вроде энергетического каркаса организма, несущего о нем полную информацию. В серии недавних работ² В. Н. Пушкин и его сотрудники доказали, что биополе может существовать в виде отдельных материальных сущностей — так называемых «форм», с помощью которых естественно и просто объясняется «теория отражения» — марксистско-ленинская теория познания. Покидая иногда живое тело, его «форма» сохраняет информацию о теле, что и дает возможность проводить по «формам» диагностику тех, кому они принадлежат.

Как отмечал журнал «Химия и жизнь» (№ 3 за 1982 г.), новые работы советских ученых по биополю представляют собой «концепцию устройства природы, отличную от общепринятой. Первооснова этой концепции — выдвинутая В. Н. Пушкиным гипотеза о форме, как одной из фундаментальных составляющих природы. Под формой здесь понимается особого рода голограмма, соответствующая пространственной контуре предмета и несущая информацию о его свойствах. Форма-голограмма живого существа — уже об организме в целом. А мыслящее существо образует еще и мысленные образы — формы-голограммы, адекватно отражающие окружающий мир, в том числе и мысленные образы, генерируемые другими людьми.

Согласно концепции В. Н. Пушкина, все эти формы-голограммы взаимодействуют между собой и образуют информационное поле Вселенной, подобно тому, как массы физических тел образуют ее гравитационное поле».

По мнению В. Н. Пушкина, жизнь была занесена на Землю не в виде молекулярных структур, а в виде информационных форм-голограмм, действовавших в определенном направлении на эволюцию земного вещества. Оба эти фактора в отдельности бессильны, что можно пояснить простым примером.

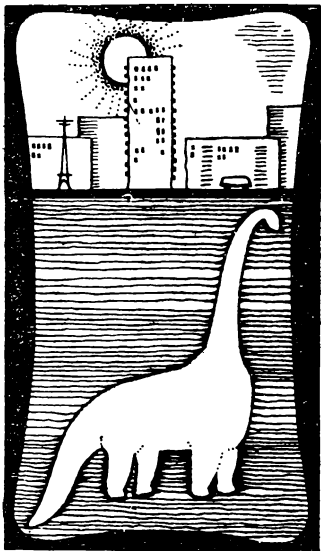
Нас пронизывают всевозможные радиоволны, но приемник молчит, потому что не включен или неисправен. Тут нужны и энергия,

¹ См. «Парапсихология» в «Философской энциклопедии», т. 5, 1967, с. 212.

² См. сб. «Вопросы психогигиены, психофизиологии, социологии труда в угольной промышленности и психоэнергетики». М., 1980.

и вещество, и организация. Вещество и энергию для жизни в свое время на Земле в изобилии поставляли вулканы, но не хватало организации. Ее-то на должном уровне физико-химической предбиологической эволюции и внесло общее вечное биологическое поле Вселенной. Точнее, даже не просто поле, а формы-голограммы, насыщенные информацией и жизнеспособностью биополя Вселенной. Они и «построили» жизнь, когда было из чего строить. Груда радиодеталей передачу не примет. Так же зазвучал, как исправный приемник биополя, тот полуфабрикат жизни, который был заранее подготовлен предбиологической эволюцией. Огонь жизни воссиял и на нашей планете. И «виновата» во всем этом материя — как в виде возникших сложнейших органических веществ, так и в форме вечного биополя Вселенной. Ибо материя и есть все то, что существует помимо нашей воли и наших чувств, что есть объективно.

СКОЛЬКО ЛЕТ ЗЕМЛЕ!



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

Д. Койпер

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 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 12 000 лет назад. Еще уважительнее относились к Земле древнеавилонские 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.

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 остатки 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, установленный им, 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 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 $T = \ln 2/k$, 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 самая разнообразная 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. Земная кора расчленена по возрасту на слои, толщи, горизонты, ярусы, отделы, системы. Этим занимается одна из отраслей геологии — стратиграфия. Каждый слой, каждый горизонт земной коры имеет «радиоактивные часы», фиксирующие его возраст. Составлены геохронологические шкалы, или точнее разнообразные шкалы, изменявшиеся с развитием этой отрасли науки. Длительная история

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Эры	Периоды и их индексы	Основные геологические события. Облик земной поверхности	Сформировавшиеся полезные ископаемые
Кайнозойская, 57 млн. лет	Четвертичный или антропогеновый Q	Неоднократные оледенения. Формирование современного рельефа, растительности и мира животных. Развитие человека	Строительные материалы (глины, песок), торф, россыпные месторождения золота, алмазов
	Неогеновый N	Поднятие гор: Карпат, Кавказа, Тянь-Шаня, Памира, Камчатки. Интенсивная вулканическая деятельность. Обосабливание 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 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, 165 млн. лет	Меловой 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 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
	Триасовый T	Поднятие материков и отступление морей. Разрушение Герцинских гор (Уральских, Алтайских,	Каменная соль, нефть, уголь

Эры	Периоды и их индексы	Основные геологические события. Облик земной поверхности	Сформировавшиеся полезные ископаемые
Мезозойская, 165 млн. лет		Мезозойское горообразование Тянь-Шаньских) и образование равнинного рельефа. Вымирание древних и возникновение мезозойских пресмыкающихся	
	Пермский Р		Каменные и калийные соли, гипс, уголь, нефть и горючий газ
Палеозойская, 330 млн. лет	Каменноугольный (карбон) С	Герцинское горообразование Разрыв каледонских горных цепей. Начало герцинского горообразования. Увеличение заболоченных низменностей. Жаркий, влажный климат. Развитие пышной флоры: плаунов, хвощей и древовидных папоротников. Появление пресмыкающихся. Расцвет земноводных	Обилие угля и нефти. Медные, оловяно-вольфрамовые, полиметаллические руды
	Девонский D	Каледонское горообразование Уменьшение площади морей, Жаркий климат, первые пустыни. Выход позвоночных из воды на сушу — возникновение земноводных. Широкое распространение наземных растений, возникновение папоротников	Нефть, горючий газ, соли, рассолы и минеральные лечебные воды
	Силурийский S		Руды железные, медные и другие, золото, фосфориты, горючие сланцы
Ордовикский O	Уменьшение морских бассейнов. Мощный вулканизм. Появление первых наземных беспозвоночных животных	То же	

Эры	Периоды и их индексы	Основные геологические события. Облик земной поверхности		Сформировавшиеся полезные ископаемые
Палеозойская, 330 млн. лет	Кембрийский Э	Байкальское горообразование	Понижение материков и затопление обширных пространств морями. Завершение байкальского горообразования. Расцвет морских беспозвоночных животных	Бокситы, фосфориты, осадочные руды марганца и железа, каменная соль, гипс
Протерозойская РК, 2100 млн. лет			Главная фаза байкальской складчатости и образование горных хребтов Прибайкалья и Забайкалья. Сильный вулканизм. Время бактерий и водорослей	Огромные запасы железных руд, полиметаллические руды, графит, строительные материалы
Архейская АР, более 1800 млн. лет			Древнейшие новообразования. Напряженная вулканическая деятельность и метаморфизм горных пород. Время примитивных одноклеточных и некоторых бактерий	Железные и полиметаллические руды, строительные материалы (гранит, мрамор и другие)

Земли подразделена на эпохи и периоды. Одну из новейших геохронологических таблиц мы здесь приводим.

История Земли складывается из двух частей — истории неорганического тела нашей планеты и истории ее органического мира, прослеживаемой до протерозоя. Разумеется, эти «две истории» тесно связаны, и в дальнейшем речь пойдет о единой истории нашей планеты, ставшей обиталищем множества живых существ — от микроорганизмов до человека. Остатки организмов прошлого позволяют определить относительный возраст слоев земной коры и тем самым датировать геологические события (см. таблицу).

Становление планеты

В длительной истории нашей планеты принято выделять две стадии — догеологическую и геологическую. Первая 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, гипотезы другой группы — «горячий» вариант. Последние предполагают, что Земля отделилась от Солнца или его звездopodobного 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 разрушало (через метеорологические процессы) 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 многими учеными, особенно Б. Л. Личковым (1931 г.) и М. В. Стюартом (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 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 натяжения 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.

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

Плавающие материка

Странная с первого взгляда идея о материках, плавающих по морю, 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 как будто зашла в тупик, и ее надолго забыли. Второе рождение гипотезы Вегенера произошло в 50-х годах текущего века, когда идею дрейфа материков попытались (и безуспешно) применить к объяснению некоторых загадок палеомагнетизма. В чем же суть гипотезы Вегенера?

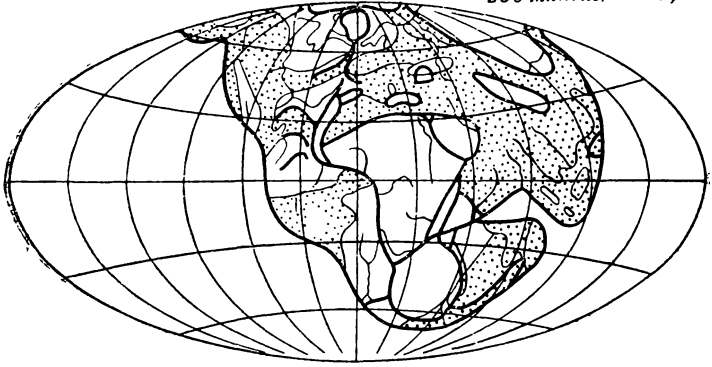
А. Вегенер обратил внимание на, казалось, случайные особенности береговых линий некоторых материков: восточный (бразильский) выступ южноамериканского материка плотно укладывается во впадину Гвинейского залива. «Стыковка» получается особенно плотной, если вместо береговой линии брать очертание шельфа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

В 1970 г. американские исследователи с помощью электронно-вычислительных машин изучили «совмещение» некоторых материков на протяжении десятков тысяч километров. Результат получился поразительный: в целом хорошо совпало 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 Антарктида.

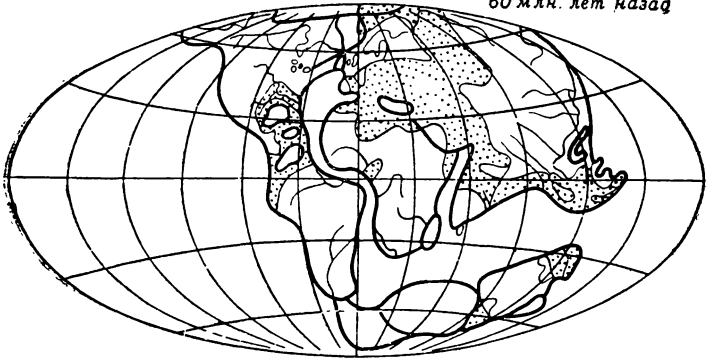
И все-таки создавалось впечатление, что когда-то Африка и Америка составляли одно целое. Затем по каким-то неясным причинам первичный материк раскололся на две части, и эти части, разойдясь в стороны, образовали современные Африку и Южную Америку, а также разделивший их Атлантический океан.

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 Панталассом. 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 материка — разошлись в разные стороны, и начался их продолжающийся донныне крайне медленный дрейф. Дрейфуя на запад,

200 млн. лет назад



60 млн. лет назад



1 млн. лет назад

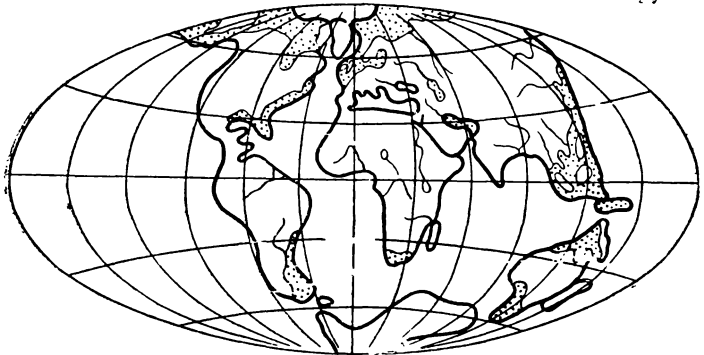


Рис. 23

Эволюция материков по А. Вегенеру.

Выделены участки, которые были покрыты мелкими морями

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 отделились, отставая, небольшие куски — например, Антильские острова. Некоторые осколки Пангеи плавали, поворачиваясь, как льдины в бурном потоке, — так, по-видимому, вела себя нынешняя Япония.

Некоторые последователи А. Вегенера (Дю Тойт, 1937 г.) полагают, 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, будто подтверждающих реальность Лавразии и Гондваны¹. В частности, они ссылаются на сходство геологических структур разных материков, удивительную 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 погрешностями. 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 Земли очень отличался от современного. Когда-то Гренландия, Шпицберген и даже Антарктида были жаркими странами с богатым растительным и животным миром, а 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 исследователей сделали вывод о непрерывном странствии географических полюсов — идея не менее удивительная, чем пресловутый дрейф континентов. Если в этом случае А. Вегенер прав, значит земная ось непрерывно и радикально

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

меняет положение в твердом теле Земли — вывод явно абсурдный с точки зрения привычных представлений небесной механики.

Правдоподобнее предположение, что дрейфуют материка, 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 недавнем геологическом прошлом 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 км, что некоторым ученым кажется невозможным. Как полагает известный советский геолог В. В. Белоусов, тектоносфера не образует изолированных глыб. Она окутывает непрерывной оболочкой весь земной шар, и тогда материковой тектоносфере просто некуда смещаться. В. В. Белоусов приходит к выводу, «что материка 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 подробный 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 концепции 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.

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

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

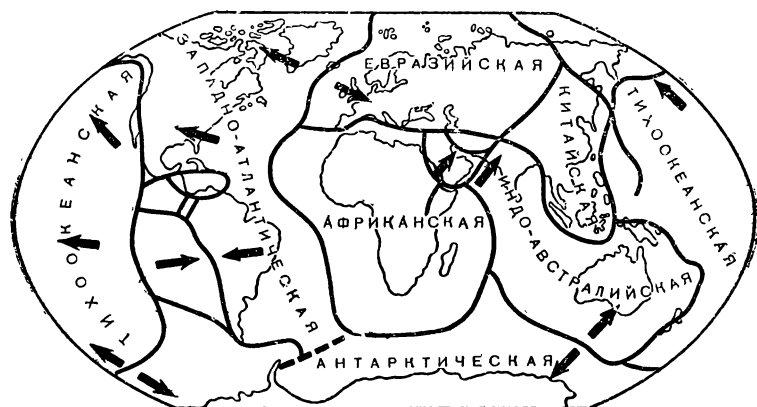


Рис. 24
Плиты земной коры.
Стрелками показано движение плит

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 по 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 см 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.

А. Вегенер не мог ответить на вопрос, куда и под действием какой силы плывут материка. 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 материка, объединенные в один блок, покрывали ее всю. Расширение глубоких зон Земли разорвало этот единый материк и отодвинуло его куски далеко друг от друга. 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 не постоянна, 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 км, представляет собой остаток сверхплотного звездного вещества. Насыщенное энергией и стремящееся расшириться, 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 км). 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, материка должны нагреваться сильнее океанического дна. На самом деле тепловой поток, идущий из недр Земли, всюду одинаков.

Советский исследователь И. В. Кириллов построил любопытную модель «материковой» Земли. После многих попыток ему удалось «сомкнуть» все материка 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 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 назад расширении 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 гео-

логические 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 продолжительности 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 периодах далекого прошлого). Неясна и причина, побуждающая Землю расширяться.

Подводя итоги современным дискуссиям о расширении Земли, М. Ботт¹ пишет, что быстрое расширение Земли (со скоростью примерно 0,05 см в год) «...противоречит фактам, которыми мы располагаем, но расширение с меньшей скоростью (порядка 0,002 см 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 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 органогенных 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.

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

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

«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. Лунгерсгаузен) пытались объяснить наиболее крупные из геологических циклов (продолжительностью порядка 200 млн. лет) влиянием ядра нашей звездной системы Галактики на земные процессы. С одной стороны, они предполагали, 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, а это порождает ледниковые периоды и эпохи.

Все это выглядит, однако, крайне неубедительно. Галактическая орбита Земли близка к окружности, поэтому колебания приливных сил со стороны галактического 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-миллионный 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 активности². 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

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

² Эйгенсон М. С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Львов, изд. Львовского гос. ун-та, 1957.

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 приближе-

На самом деле непрерывно изменяются и электромагнитное, 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, энерговыделение 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 $0,8 \cdot 10^{-3}$ А/м), 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 для простого их перечисления потребовалось 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

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

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.

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, отраженных как и 11-летний цикл, 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 объяснимо — 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 коротких, 11-летних, до наиболее продолжительных, измеряемых миллионами и десятками миллионов лет.

Если искать образное сравнение, то каждый цикл — это как бы рябь на волне следующего, более продолжительного цикла. И еще

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

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 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 этой сложной системы внутренних преобразований».

Если это так, то объяснение имеют и циклы Солнца, и порожденные ими циклы Земли. Основной «тон» Солнца — это энергетическое колебание, растянувшееся примерно на 200 млн. лет. Все остальные, меньшие циклы — солнечные «обертон», 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 замешена «рука Солнца», колебания его активности. А механизм во всех случаях по существу

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

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 невозможно 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, которые типичны для той или иной эпохи и по которым определяется 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 такой отпечаток.

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 3,5 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 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

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

слабости, 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, предшествовавший кембрийскому периоду, называют докембрием и определяют (правда, очень неуверенно) его продолжительность примерно 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 терминологии устоявшейся и вошедшей в учебники.

Уже в древнейшую, архейскую эру, длившуюся около 1 млрд. 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 изобилии инертные газы, прежде всего гелий и неон. Но они диссипировали, т. е. улетучились в мировое пространство, и к моменту появления жизни «вторичная» атмосфера Земли содержала, кроме того, углекислый газ и сероводород, выделившиеся из земных недр. Первичные микроорганизмы постепенно сокращали исходные запасы водорода, аммиака, метана, сероводорода. Так, серные бактерии окислили 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 начались 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 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Он стимулируется солнечной 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 остатками. Связь с неорганической природой, естественно, сохранилась: подавляющая часть растений автотрофны. 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 м.

Остатки животных в отложениях протерозоя встречаются редко. И все же по этим следам давным-давно угасшей жизни видно, что в протерозое уже существовали радиолярии, кремневые губки, простейшие черви. Найдены отпечатки медуз и членистоногого животного «ксенусона» — 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 веществ-

ва» 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 м и в толщину более 2 м. 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 м. 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 были защищены чешуей. Эти «панцирники» больше ползали по дну, чем плавали. Во многом они уступали акулородным рыбам, 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 сравнительно недавно несколько экземпляров целаканта было выловлено у берегов Африки.

Потомки кистеперых рыб еще в палеозойскую эру дали начало паземным 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. Одни из них были травоядными, другие хищными. Особенно любопытны зверозубые 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 м. Жизнь прорвалась в атмосферу.

Примерно 240 млн. лет назад началась мезозойская эра, которая продолжалась около 165 млн. лет. Она характерна прежде всего безраздельным господством пресмыкающихся. Какие только причудливые формы они ни принимали! Жутко было бы очутиться в обществе этих подчас исполинских чудовищ, отлично описанных в научно-фантастической литературе и живо воспроизведенных средствами кино. Пресмыкающиеся завладели 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 завоевывая 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.

«Древо эволюции» корнями уходит в неорганический мир. Его вершина отмечена приматами и человеком. Но какое многообразие ветвей! Перед нами действительно огромное «дерево», выросшее из ничтожного «семени». 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?

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

Секреты эволюционного прогресса были, как хорошо известно, раскрыты в основном Чарльзом Дарвином. «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 лет ¹.

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.

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 поставляют 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 ², — 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 «сложные» (млекопитающих), предоставляя 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?»

¹ См. «Хрестоматию по общей биологии» (М., «Просвещение», 1970).

² Баландин Р. Планета обретает разум. Минск, «Наука и техника», 1969, с. 35.

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 усложнение и усовершенствование стросния 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 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 Ч. Дарвин и другие эволюционисты посвятили немало красноречивых страниц.

Эволюция земной биосферы никогда не была процессом, изолированным от внешней космической среды. Наоборот, множество фактов доказывает, 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 био-

сфере возникли первые мыслящие существа. Этот момент пока что ускользает от нашей пытливей 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 предшествовавшую 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, т. е. изменение одного тела, вызванное другим.

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 инфузорий 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 эле-

менты 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 развитие 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 Ч. 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.

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 толсто-

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

го «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 г, 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 кг.

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 динозавра, невзирая на его 1,5-метровые бивни. Орудием охоты служили, по-видимому, камни и болá — 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 см³) превышает мозг австралопитеков, а морфологически они совершеннее всех предшественников человека. Но главное доказательство — множество примитивных орудий труда, которые служат верным признаком первых проблесков сознания.

Причина, заставляющая наших обезьяноподобных предков грудиться, — изменившиеся около 2,5 млн. лет назад климатические условия. Уменьшение количества лесов заставило древних обезьян спуститься 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 ей 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 тяжелой 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 только два важных обстоятельства.

Эволюция человека подчиняется принципу Дана. И на ветви «древа эволюции» прогресс выражается в развитии центральной нервной системы, что, в частности, сказывается в непрерывном росте объема головного мозга. У австралопитека он близок к 500 см³, у питекантропа — до 900, у синантропа — около 1200, у неандертальца — до 1400, у кроманьонца — примерно 1600 см³. 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 пи-

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

гекантропов истекло около 1,5 млн. лет. Переход от питекантропа неандертальцу занял всего несколько сотен тысяч лет. Прошло еще 200 000 лет, и на Земле появился «человек разумный».

Надо заметить, что описанная 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 лишённые 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, подчиняющаяся особым социальным законам.

Человечество как геологическая сила

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

В 1957 г. была опубликована работа 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 вместилище 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 непомерно развитым шарообразным черепом.

Сейчас обо всем этом можно вспомнить лишь как о курьезе. Да и сам А. П. Быстров подчеркивает, что у человека при отсутствии борьбы за существование и естественного отбора никакая эволюция невозможна, 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

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

«никакая эволюция невозможна». Труд, очеловечивший обезьяну, стал важнейшим фактором, определившим 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 растительного и животного мира, 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.

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 вездесущим. 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

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

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, вуализуемых 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, человечество уже извлекло из Земли не менее 50 млрд. т углерода, 2 млрд. т железа, 20 млн. т меди, 20 тыс. т золота. Тем самым началась искусственная миграция химических элементов. Этот «вихрь», создаваемый жизнью, становится все сильнее и сильнее.

Лишь за последние 100 лет промышленные предприятия выбросили в атмосферу около 360 млрд. т углекислого газа. Ныне ежегодно сжигается 2,5 млрд. т каменного угля, 1,5 млрд. т нефти (наряду с другими горючими материалами). Это означает, что каждый год в земную атмосферу добавляется 8—10 млрд. т 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. т пыли и в Нью-Йорке на каждую квадратную милю ежемесячно выпадает 112 т сажи.

На Земле имеется более 1000 искусственных водоемов, общей площадью около 500 000 км², что составляет 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. т. Появились и новые химические элементы, огромное множество новых минералов (силикатных, керамических). Человек соз-

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

дает 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) «светило» Солнечной системы — «радиосветило». Антенны бесчисленных передатчиков часть радиоволн излучают в космос, и это создает планетарный эффект, в миллионы раз превышающий естественное радиолучение Венеры или Меркурия.

«Конец второго тысячелетия, — пишет чл.-корр. АН СССР В. А. Ковда¹, — завершается глобальным воздействием человека на структуру и функции биосферы. Развеем миф о бесконечности и неисчерпаемости ресурсов биосферы — водных, биологических, минеральных и др. На любом участке суши или водоема можно встретить «следы человечества». Нарушений «равновесия» 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, раститель-

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

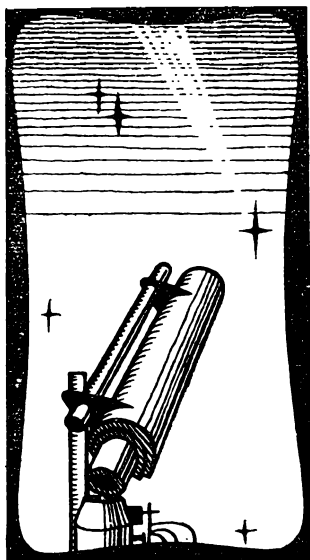
ность проникнет на побережья древних морей и океанов, а на суше появятся все типы многоклеточных, за исключением позвоночных.

Весь фанерозой (т. е. палеозойская, мезозойская и кайнозойская эры) составит финал фильма. Он промелькнет 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. Изменяясь в размерах и очертаниях, раскаляясь и дробясь, плавая по астеносфере, материке, 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 мгновения 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.

По учению великого русского исследователя В. И. Вернадского Земля переживает ныне особую фазу развития — ее биосфера постепенно переходит в ноосферу, сферу Разума. Непрерывно растет поток информации, обогащающей человеческое познание. Технические средства коммуникации сплачивают человечество. Деятельность человечества приобрела планетарные масштабы и стала поистине геологической силой, переделывающей планету.

Одна из самых актуальных задач — сделать так, чтобы эта сила направлялась Разумом, а не хищническими, потребительскими инстинктами человека. Не бездумное «покорение Природы», а сотрудничество с ней, при котором эксплуатация вещества Земли не приведет к ее оскуднению — вот цель, достойная человеческой цивилизации. По убеждению В. И. Вернадского в рамках ноосферы наступление такого равновесия неизбежно.



ОТКУДА ВЗЯЛАСЬ ЗЕМЛЯ!

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, общее знакомство с современной Солнечной системой есть первый и неизбежный шаг в познании ее происхождения.

Известными в наше время членами Солнечной системы являются: девять больших планет, спутники планет (34), множество малых планет (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 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

ца 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), поэтому носят назва-

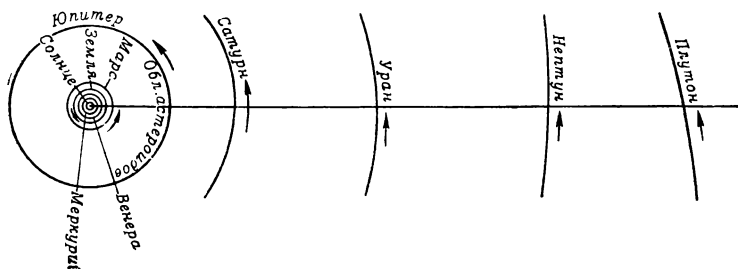


Рис. 25
Орбиты больших планет

ние планет-гигантов. Что касается плохо изученного Плутона, то, возможно, что он принадлежит к планетам земного типа.

Поскольку планеты находятся на разных расстояниях от Солнца, 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, в том числе состав и плотность 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, состоящая, по-видимому, в основном из гелия.

Период обращения Меркурия вокруг Солнца равен 88 земным суткам, а вокруг оси — 58 суткам. Близость Меркурия к Солнцу разреженность его атмосферы создают резкие температурные контрасты. На стороне Меркурия, обращенной к Солнцу, температура +510 °С, т. е. выше той, при которой плавится свинец. На ночной половине Меркурия господствует жестокий холод (—185 °С).

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 **покрыв** Венеры полностью скрывает от земных наблюда-

телей 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 10 МПа. У Венеры, как и у Меркурия, спутники не обнаружены.

Марс меньше Земли в поперечнике в два раза, 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 — $66,5^{\circ}$), 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.

Марс окутан весьма разреженной атмосферой, в которой содержится до 95 % углекислого газа с примесью азота, аргона, водяных паров, кислорода, 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 30 км, Деймоса — 15 км. Каждые 15—17 лет Марс наиболее близко подходит к Земле (на расстояние около 55 млн. км), и в периоды таких «великих противостояний» изучать его наиболее 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 (аммиак), а также гелия (по последним данным, атмосфера Юпитера состоит на 36 % 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 враще-

нию 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 км его ширина близка к 50 000 км. В разные годы в зависимости от взаимного расположения Земли и Сатурна

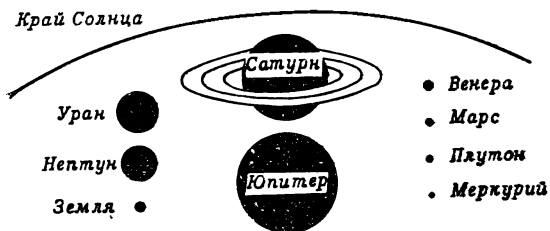


Рис. 26
Сравнительные размеры Солнца и планет

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, точнее кольца состоят из множества покрытых льдом твердых частиц, каждая из которых обращается вокруг Сатурна вполне самостоятельно. В кольцах Сатурна есть темные промежутки — «щели», разделяющие его на много концентрических колец.

Все планеты-гиганты имеют спутников. У Юпитера известно 15 спутников, у Сатурна — 17, у Урана — 5, у Нептуна — 2. Некоторые из этих лун по своим размерам сравнимы с Луной или даже несколько превышают ее.

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. Общее число спутников 44.

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 впятеро меньше Земли, а сутки на Плуtone в 6,4 раза продолжительнее земных. Темпера-

тура 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. На расстоянии около 17 000 км вокруг Плутона обращается спутник радиусом 650 км.

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 удается 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.

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 форма, размеры и яркость ее хвостов постепенно меняются.

Орбиты комет весьма разнообразны. Некоторые из комет, например комета Энке, имеют орбиту, целиком охватываемую орбитой

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

Юпитера. Такие кометы, как Галлея, движутся по орбитам, афелии которых 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, которые, по-видимому, представляют собой ледяные глыбы из замерзших газов, включающие в виде примесей многочисленные твердые тугоплавкие частицы. Поперечники ядер комет не превышают, как правило, несколько километров. При сближении кометного ядра с Солнцем замерзшие газы испаряются (или, точнее, возгоняются), образуя обширную газовую голову 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 типа I Ф. А. Бредихин отнес прямолинейные хвосты, тянущиеся 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 типа II — широкие, изогнутые наподобие сабли в сторону, обратную движению кометы. По теории Бредихина, они состоят из частиц, для которых отталкивательные силы Солнца сравнимы с силой его притяжения. Наконец, хвосты типа III, короткие, прямолинейные, сильно отклоненные в сторону, обратную движению кометы, состоят из частиц, на которые отталкивательная сила Солнца почти совсем не действует.

Для пылевых кометных хвостов роль отталкивательной силы выполняет световое давление солнечных лучей. Для газовых хвостов типа I 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 типа I имеют газовую природу и включают главным образом ионизированные мо-

лекулы азота и угарного газа. Хвосты типа III состоят из мелкой твердой пыли, а хвосты типа II, 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.

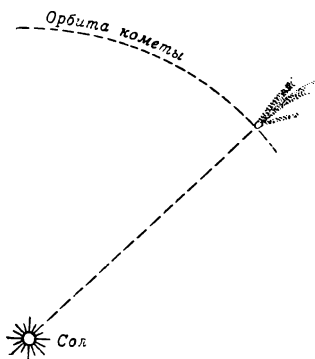


Рис. 27
Типы хвостов комет
по Ф. А. Бредихину



Рис. 28
Сравнительные размеры
крупнейших астероидов
и Луны

Четырем самым крупным из них были присвоены имена древнегреческих богинь — Цереры, Юноны, Паллады и Весты. Все они недоступны наблюдению невооруженным глазом, а при наблюдениях в телескоп выглядят неяркими звездочками, перемещающимися на фоне настоящих звезд. По этой причине малые планеты были названы астероидами, т. е. звездopodobными.

В настоящее время открыто и изучено движение свыше 2300 астероидов. Самый крупный из них — астероид Церера (рис. 28) — имеет поперечник около 1000 км. Большинство астероидов гораздо меньше. Их диаметры измеряются десятками и даже единицами километров. Известны астероиды, поперечники которых близки к 1 км. 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.

Сейчас не вызывает сомнений, что подавляющее большинство метеоритов (если не все) и астеронды — тела одной природы. Мы называем метеоритами те из астероидов, которые, обладая сильно вытянутыми эллиптическими орбитами, сталкиваются с Землей и падают 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 обнаружены 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 кг. 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 микромет, 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 врывается 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, или астроблемами.

В тех же случаях, когда метеорит невелик и почти полностью затормаживается атмосферой примерно на высоте 20—25 км, он с этой высоты опускается 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 арizonский взрывной метеоритный кратер (поперечник—1,2 км, глубина—175 м) 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 км. Образовался он примерно 30 млн. лет назад. Такие кратеры должны были возникнуть при ударе о Землю тел астероидного типа с поперечником в 1 км 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 метеоров или «падающих звезд», называются метеорными телами. Их масса составляет доли грамма, и они полностью разрушаются в воздухе на высоте порядка 100 км. 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 — 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 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 бесчисленное количество 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} см, 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 имеет тончайшую «вуаль» из разреженных межпланетных газов.

В настоящее время все в Солнечной системе постепенно разрушается. Непрерывно теряет вещество и энергию Солнце. Медленно улетучиваются атмосферы планет. Астеронды дробятся при взаимных столкновениях, а метеориты частично разрушают планеты и

спутники, врезаясь в их поверхности. В этой картине естественных космических процессов нет ничего созидающего.

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.

«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 падающих на них новых 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) 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 одно за другим 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 вра-

щающейся 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 некоторые зарубежные ученые пытались выдвинуть разнообразные гипотезы о происхождении Земли и планет. Однако все эти гипотезы очень быстро вступали в противоречие с фактами и отвергались как несостоятельные. Лишь с 1943 г. советские ученые начали вносить 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 превышает 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 телескопа 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 от 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

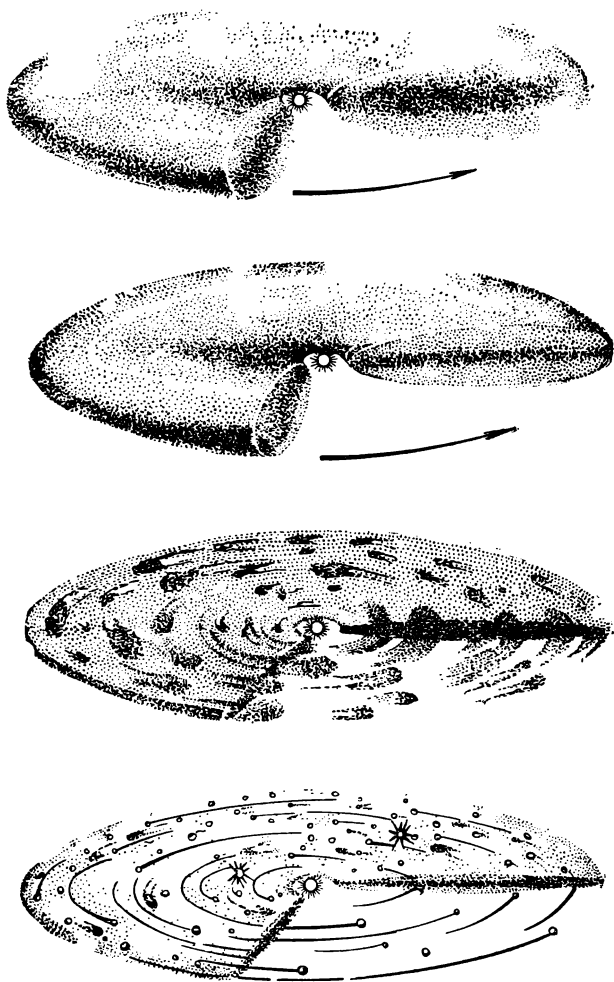


Рис. 29
Схема образования планет по гипотезе О. Ю. Шмидта

(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 расположение 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 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» газово-пылевое облако было захвачено Солнцем при его движении вокруг центра нашей звездной системы Галактики. Хотя на частном 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, например 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 первичного 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 км в поперечнике) и их удары разогрели внешние слои первичной Земли до 1500 °С.

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.

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

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 газово-пылевого облака при его постепенной конденсации. Конденсируясь в компактное тело, Земля должна была постепенно разогреваться за счет уменьшения потенциальной энергии 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 часть 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. астрономических единиц (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 гигантские горячие звезды, массы которых в десятки раз больше солнечной, вращаются так быстро, что точки на их экваторе движутся со скоростью 300—500 км в секунду (для Солнца эта скорость близка всего к 2 км 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 °С. А даль-

ше — 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 быстро вращающиеся желтовато-белые звезды лишь немного горячее Солнца, но имеют почти такую же массу, как Солн-

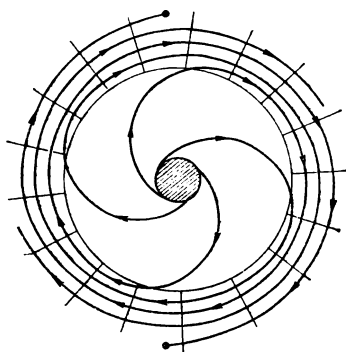


Рис. 30
Образование планет
по Ф. Хойлу.

Показано расположение магнитных силовых линий внутри протопланетного облака

це, 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 км в секунду, т. е. как раз с такой же, какая наблюдается у желтовато-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 газово-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 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.

Гипотезы о совместном возникновении Солнца и планет в последнее время предложили также 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 какого-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. 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 со-

звезда 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. Даже у Юпитера давление в центре такое высокое, что температура, по подсчетам Н. А. Козырева, должна достигать там 150 000 °С. Тело с массой в 10 раз больше должно быть скорее звездой, чем планетой.

Здесь, впрочем, надо отметить одно важное обстоятельство, па 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 погрешностям наблюдений.

Таким образом, изучая Солнце с Альфы Центавра, мы придем 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 неправильности 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 («Летающая» 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 форм жизни, подобным земным. 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 компонент 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 улечься в процессе эволюции. Известны звезды в двойных системах, по массе близкие к крупным планетам. Значит, гипотетический спутник Протосолнца мог иметь массу, близкую к 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. В. 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 стадий холодных тел, сконденсировавшихся из газовой-пылевой 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 соответ-

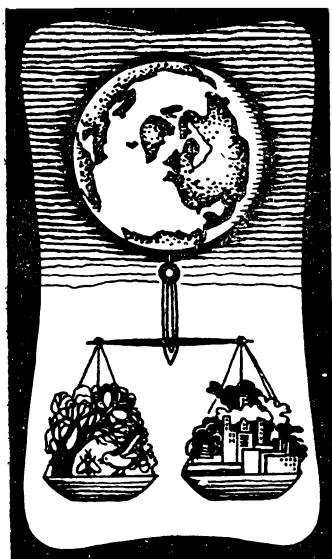
¹ Подробнее см. в работе С. Доула «Планеты для людей» (М. «Наука», 1974).

зовать всей совокупности описанных выше фактов. Фаза планет поэтому может оказаться дальнейшей фазой распада и дезинтеграции звездного вещества¹.

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, общем с Землей.

¹ Сборник «Проблемы современной космогонии». М., «Наука», 1972, с. 195, 378.

О СОКРОВИЩАХ ЗЕМЛИ И КОСМОСА



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, 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 7000 лет до нашей эры на всей планете обитало не более

¹ Поршнева Б. Ф. О начале человеческой истории. М., «Наука», 1974.

Ларичев В. Е. Сад Эдема. М., Политиздат, 1981.

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 (6 млрд. человек) ожидается к 2000 году. Если темпы прироста не сократятся, человечество будет удваиваться за 2—3 десятилетия, а затем и за несколько лет!

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 20 на всем земном шаре плотность населения станет такой же, как сегодня в Москве. Через пять столетий жизненное пространство каждого человека 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 %. Сейчас во многих странах он больше 2 и даже 3 %. 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 % (США — 1,3; Англия — 0,6; ФРГ — 0,7; Франция — 0,7). В Советском Союзе годовой прирост равен 1,7 %. 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.

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 затем и за ее пределами — окажется процессом совершенно неизбежным. (Вариант «консервация» 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.

Станет ли человечество космической цивилизацией? Встретится ли оно когда-нибудь с другими разумными обитателями Вселенной? Молодости свойственно увлекаться. Это относится не только к людям, но и к новым направлениям в науке. Первые успехи космонавтики породили у многих уверенность в достижимости самых удаленных объектов Космоса. И хотя первые орбитальные космические корабли, строго говоря, не выходили даже за границы земной атмосферы (верхняя граница которой находится на высоте 1—2 тыс. км), появились сотни статей и книг о межзвездных перелетах и даже о посещении соседних звездных систем! Этому немало способ-

ствовала теория релятивистских звездолетов, в которых (по Эйнштейну) должен проявляться эффект замедления времени. Несложные подсчеты показывают, что при постоянном ускорении, равном ускорению свободного падения ($9,8 \text{ м/с}^2$), звездолет доберется до центра нашей Галактики всего за 20 лет (по времени внутри корабля). Если втрое увеличить его ускорение, то до туманности Андромеды, соседней к нам звездной системы, удастся добраться всего за один год!

Расчеты эти и в самом деле головокружительны. А от «головокружения» нередко забывали о цели таких сверхдальних перелетов — ведь за время путешествия к туманности Андромеды и обратно на Земле по земным часам пройдет не год, а три миллиона лет! Есть ли тогда смысл возвращаться в отчий дом? Да и кому нужны сведения, добытые путешественниками три миллиона лет назад?

Постепенно пыл угас. Все больше и больше стало появляться работ, доказывающих, что полеты к звездам принципиально отличаются от полетов в Солнечной системе. И все чаще и чаще ставится вопрос о возможности межзвездных путешествий. Представьте себе, что с помощью известных нам двигателей мы разогнали космический корабль до третьей космической скорости ($16,6 \text{ км/с}$). Если бы эта скорость сохранялась на протяжении всего полета (что нереально, так как требует непрерывного расхода топлива), то до ближайшей звезды Проксимы Центавра мы добрались бы за 77 000 лет. На самом же деле нынешние запуски проходят иначе. Разогнав корабль до нужной скорости, двигатели теряют все свое горючее и далее корабль летит «по инерции», или, точнее, в свободном пассивном полете, как брошенный вверх камень. Достигнув некоторой высоты, камень остановится на мгновение, а потом начнет падать. Так же и космический корабль: первоначально разогнанный до скорости $16,6 \text{ км/с}$, он примерно через миллион лет остановится на границе сферы действия Солнца¹, а затем начнет падать обратно, к центру Солнечной системы. Для полета на звезды с постоянным ускорением ни один из существующих космических двигателей не годится. К тому же и сроки полета устрашающе велики, что предполагает смену многих-многих поколений на звездолете — нечто совершенно утопичное.

Выход, казалось бы, заключается в постройке фотонных ракет, своеобразных исполинских «прожекторов», мощнейший пучок света которых создает реактивную тягу². Такой поток света мог бы дать аннигиляционный двигатель, в котором при соединении «сжигались» бы вещество и антивещество. Но, во-первых, пока совершенно неяс-

¹ Так называется область пространства, где притяжение Солнца превышает притяжения ближайших звезд.

² Подробнее см. в книге Р. Г. Перельмана «Цели и пути покорения космоса». М., «Наука», 1967.

но, где и как взять антивещество, да и существует ли оно вообще. Во-вторых, остается открытым вопрос и о способах хранения антивещества. Наконец, в-третьих, даже сконструировав аннигиляционный двигатель, мы должны построить для него межзвездную ракету такой массы и габаритов, что сделать ее на Земле будет невозможно, особенно из-за вредного воздействия излучений двигателя на среду, так что все создание межзвездного корабля придется вести подальше от Земли на околосолнечной орбите.

Не спасает положение и «прямоточный» двигатель, забирающий по пути межзвездное вещество. Расчеты показывают, что заборники вещества должны иметь фантастические размеры (в поперечнике — многие тысячи километров!). В серии весьма убедительных работ Б. К. Федюшин приходит к выводу, что в современной науке и технике не видно средств, которые сделали бы межзвездные перелеты осуществимыми¹.

Складывается впечатление, что реактивный способ движения, так блестяще оправдавший себя в окрестностях Земли, для освоения даже ближайших к нам районов Галактики просто непригоден. Кстати сказать, не годится для этой цели и «солнечный парус» — единственный пока в современной космонавтике **нереактивный** принцип движения. Такой парус, использующий свеговое давление со стороны Солнца, относится к двигателям малой тяги, так что полеты «под солнечными парусами» к звездам займут совершенно нереальные по продолжительности сроки. Другие же нереактивные способы полета к звездам пока неизвестны.

Из непреодолимости (для современного человечества) межзвездных пространств вытекает одно важное следствие: если где-то в Галактике есть другие разумные существа и они когда-то посетили Землю, то их техника заведомо непохожа на ту, которую сегодня использует космонавтика. Натужно взлетающие в небо ракеты-носители с жидкостно-реактивными двигателями (ЖРД), пассивные на большем участке космических траекторий полета, и многое-многое другое, чем мы гордимся, показались бы, вероятно, пресловутым «гостям из Космоса» младенческими забавами. Ошибаются те энтузиасты палеокосмонавтики, которые ищут в наскальных рисунках и иных «следах» какого-то сходства с нынешними средствами освоения Космоса.

Техника, или, как выражается Артур Кларк, технология визитеров из Космоса, как, вероятно, и их поведенье, показались бы нам, землянам, чем-то «магическим», сверхъестественным, необъяснимым, например, таким, каким кажется сохранившимся на Земле дикарям столь привычный и вполне понятный многим из нас телевизор. Ско-

¹ «Труды XV чтений К. Э. Циолковского». М., 1981, . 106—113.

рее же всего «магичность» техники и поведения инопланетян производят на нас еще большее впечатление, так как внеземная цивилизация, посетившая нас, может оказаться старше человечества на многие тысячи лет.

Главное, что побуждает нас к звездным перелетам, это жажда общения с инопланетным Разумом, с другими обществами разумных существ. Для тех, кто считает Космос необитаемым, а человечество уникальным и эфемерным (неизбежность гибели!) образование проблемы межзвездных связей (и в частности, перелетов) вовсе не существует. Зачем и куда лететь? Не спокойнее ли дожить свой век на Земле? Впрочем, некоторые из этих скептиков готовы порассуждать о вселенской миссии человечества, о том, что оно ответственно чуть ли не за судьбы всего Космоса! Все это звучит малоубедительно, тем более что, как заметил Козьма Прутков, нельзя, «объять необъятное». Вместе с тем в ближайшие века скорее всего мы будем прикованы к окрестностям Солнца. К тому же сейчас уместнее думать не о «космической миссии», а о преодолении различных кризисов на нашей планете, из которых многие и впрямь угрожают существованию человечества.

Но ничто, конечно, не может остановить дерзания человеческого Разума, его жажду связи с внеземными цивилизациями. Если сегодня (и, по-видимому, еще долго) полеты к звездам должны быть признаны утопией, то нельзя ли связаться с инопланетянами какими-то иными способами?

Современной науке¹ известны три метода поиска Внеземных Цивилизаций (ВЦ): 1) «астрофизический»; 2) «связной»; 3) метод поиска зондов Брейсуэлла. Рассмотрим главное в каждом из них.

До сих пор развитие земной цивилизации шло да и продолжает идти по так называемому ортоэволюционному пути. Он заключается во все большем и все убыстряющемся овладении веществом, энергией и информацией мира, который окружает человека. Эта взрывообразно растущая экспансия уже сегодня привела человечество к различного рода «взрывам» (демографическому, информационному и другим). Подобный, как его называют, экспоненциальный рост — явление сугубо временное. Рано или поздно сопротивление среды приводит к затуханию роста, к некоторой стабилизации, суть которой сводится к установлению гармонического равновесия организма (в частности, и такого коллективного, как человеческое общество) с окружающей природной средой.

Безудержное «покорение Природы» чревато гибелью не природы, а ее покорителей.

¹ См. сб. «Проблема поиска внеземных цивилизаций». М., «Наука», 1981, с. 97.

Среди разных кризисов и тупиков, грозящих гибелью человечеству, экологические проблемы безусловно занимают первое место. Они охватили все стороны деятельности человечества, даже космонавтику. Подсчитано, например, что 125 частых запусков такого ракетоносителя, как «Сатурн-5», или 85 запусков орбитального самолета «Шаттл» приведут к катастрофическому и необратимому разрушению озонового слоя Земли¹.

Казалось бы, все эти факты заставляют критически отнестись к ортоэволюционному пути развития. Принцип «больше, быстрее», грозящий человечеству роковыми последствиями, вряд ли может быть признан общим принципом развития всех внеземных цивилизаций. Между тем именно этот принцип положен в основу пресловутой концепции «космического чуда».

Предполагается, что ВЦ в процессе экспансивного «покорения Природы» рано или поздно перейдут к строительству таких грандиозных астроинженерных сооружений, что их удастся чуть ли не с первого взгляда заметить с Земли. Говоря конкретнее, астроинженерные сооружения должны быть, разумеется, не жидкими или газообразными, а твердотельными конструкциями, которые излучают в инфракрасном диапазоне или радиодиапазоне. И хотя с межзвездных расстояний детали конструкций невозможно будет «разглядеть» ни в один телескоп, их излучение и явится признаком «космического чуда».

Два соображения демонстрируют полную бесперспективность этого «астрофизического» метода поисков ВЦ.

1. Если когда-нибудь найдут загадочные космические источники с избыточным длинноволновым излучением, то наверняка весьма изобретательные теоретики-астрофизики придумают им естественные объяснения. Доказать же «разумность» такого излучения нечем, так как никаким кодом оно не обладает. Создание же исполинских конструкций, детали которых видны с межзвездных расстояний, выглядит утопичным даже для самых горячих сторонников «астрофизического метода».

2. Длинноволновое излучение астроинженерных конструкций — это в сущности отходы инопланетной техники, причем отходы колоссальной энергетической мощи, позволяющей обнаружить их с расстояний во много световых лет. Вряд ли такое безрассудство, бессмысленную трату энергии следует приписать инопланетным обществам разумных существ. Скорее всего, пережив на младенческой стадии развития экологический кризис, они «вписались» в Природу, т. е. свели экологические отходы если не до нуля, то до мини-

¹ См. сб. «Общество и природная среда». М., «Знание», 1980, с. 118.

му. А тогда найти подобную экологически весьма разумную цивилизацию вряд ли удастся.

Так как из знакомых человечеству средств связи радиосвязь наиболее быстра и удобна, естественно, что именно ее и пытаются применить для связи с инопланетянами. Однако и здесь нас встретили трудности, заметно снизившие первоначальный энтузиазм.

Вообразите себе, что мы послали радиозапрос к ВЦ, отстоящей от нас на 100 световых лет. Допустим, что инопланетяне сразу нас поняли и тотчас же послали нам желанный радиоответ с интересующими нас сведениями. Так как он дойдет до Земли еще через 100 лет, то, следовательно, примут его не наши современники, а наши потомки. Принципиальная сложность такого радиоразговора очевидна. Посылая запрос, мы должны знать, что будет интересоваться человечество через 200 лет, а этого никто не знает. Можно, конечно, уловить некоторые общие тенденции развития науки, но главным в будущем будет именно то, что сегодня неизвестно. Полезно вспомнить, что сегодня удвоение информации в области точных наук происходит за 10—15 лет. Иначе говоря, в науке 2000 года наши сегодняшние знания составят лишь около 10%. Так можно ли с уверенностью предсказать, что будет через 200 лет и какие проблемы тогда будут волновать род человеческий?

Явно отрицательный ответ на этот риторический вопрос показывает, что проблема радиосвязи с инопланетянами теснейшим образом связана с прогностикой. В каком-то смысле радиоразговор с ВЦ похож на диалог двух призраков: мы запрашиваем не теперешнюю ВЦ, а ту, которая еще будет через 100 лет, а она посылает ответ, не тому, кто спрашивает, а тому, кого еще нет — будущему человечеству! С увеличением расстояния трудности быстро возрастают, а радиосвязь на расстояниях во многие сотни, а тем более тысячи световых лет теряет всякий смысл.

К перечисленным трудностям присоединяются и трудности «лингвистического» характера. На каком «языке» разговаривать с инопланетянами? Поймут ли они нас? А что, если у них «видение мира» и соответственная аксиоматика иные, чем у землян? Не исключено, что в таком случае мы будем говорить «на разных языках» и заведомо не пойдем друг друга.

Когда в 1960 г. начались первые поиски космических радиосигналов искусственного происхождения, многие специалисты (не говоря уже о профанах) плохо представляли себе возможность успеха. Неудача первых попыток привела к поспешному выводу об уникальности земной цивилизации. Отсутствие сигналов было расценено как «сигнал отсутствия». Реальная оценка ситуации в полной мере сделана совсем недавно чл.-корр. АН СССР В. С. Троицким в статье «Развитие внеземных цивилизаций и физические за-

кономерности»¹. Убедительными расчетами В. С. Троицкий показал, что при существующих ныне средствах радиоприема уловить радиосигналы инопланетян вряд ли возможно. Они, эти средства «...переносят все трудности связи на передающую сторону, и эти трудности оказываются непреодолимыми даже для крайне развитой цивилизации». Именно поэтому «...мы не наблюдаем космических чудес» (с. 28). Для приема сигналов ВЦ, по мнению В. С. Троицкого, необходимо сооружение всенаправленной приемной антенны с максимально возможной площадью приема. Ее можно представить себе, например, в виде сферы с укрепленными на ней 60 000 обычных параболических антенн диаметром 21 м каждая. При этом сама сфера должна иметь минимальный поперечник 3 км. С таким антенным устройством, может быть (но не обязательно), какие-то разумные сигналы и удастся уловить.

Несравнимо труднее построить «радиомаяк» для передачи с Земли сигналов инопланетянам. Его сооружение станет реальным лишь в будущем с успешным развитием космического транспорта, так как по ряду причин такой «маяк» нельзя разместить на Земле, а придется его удалить от нашей планеты за пределы лунной орбиты. Те же гипотетические радиомаяки ВЦ, которые сегодня с нашими средствами мы ищем, должны обладать совершенно нереальными параметрами. Так, например, сооружение сферического всенаправленного «маяка» мощностью 10^{18} Вт на сфере с поперечником 5000 км потребует от ВЦ срока строительства не менее 3 млн. лет. Скорее всего в реальной обстановке этот исполинский срок времени надо «по крайней мере удесятерить» (с. 27).

Все эти расчеты В. С. Троицкого разрушают наивные утопии о скором установлении радиосвязи с ВЦ. Они, естественно, рождают и другой принципиальный вопрос: а пользуются ли ВЦ вообще радиосвязью? Не известны ли им иные, куда более быстрые и эффективные средства общения? Ведь всего два века назад человечество и понятия не имело о радиоволнах, а самым быстрым средством связи считалась почтовая карета.

Из убедительных расчетов В. С. Троицкого вытекает и другой важный вывод: цивилизации III типа (по Н. С. Кардашеву), освоившие энергетику в масштабе своей галактики, скорее всего просто не существуют. Из-за «светового барьера» цивилизация не может занимать как угодно большой объем пространства. Она останется связным целым лишь в окрестностях своей звезды (примерно в радиусе, не большем 0,1 светового года). Иначе говоря, реальны лишь цивилизации II типа. К тому же в цивилизациях III типа

¹ См. сб. «Проблема поиска внеземных цивилизаций», М., «Наука», 1981, с. 5—29.

плотность энергии столь велика, что не только белковые организмы, но и твердые тела там существовать не могут. Вероятно, поэтому И. С. Шкловский населил подобные цивилизации роботами, в которые, по его странной идее, в конце концов превратится все человечество. Вместо высказывания подобных идей следует начать, по мнению В. С. Троицкого, конкретные расчеты будущих приемно-передающих радиосистем и энергетики космического транспорта. «Это сразу, — пишет он (с. 21), — ограничит буйство фантазии о безграничных энергетических возможностях высокоразвитой цивилизации и поможет выработке правильной стратегии поиска цивилизаций в нашей Галактике».

Таким образом сегодняшние неудачи «связного метода» вполне закономерны. Лишь в будущем, быть может, он принесет успех.

Около двух десятилетий назад американский астроном Р. Брейсуэлл предложил начать поиск инопланетных зондов в Солнечной системе и даже на околоземных орбитах. По его идее, поддержанной рядом других ученых, такие зонды имеют целью «...привлечь наше внимание к существованию галактической системы обществ... Если так, то мы должны быть очень внимательными, чтобы не проглядеть необъяснимые радиосигналы, которые могут быть приняты. Мне кажется, что зонд, встреченный на межзвездных расстояниях от места его создания, должен быть набит информацией и обладать способностью разумно отвечать на вопросы»¹.

В недавно опубликованной статье доктора физ.-мат. наук Л. В. Ксанфомалити «Проблема зондов внешней цивилизации»² приводится подробный анализ таинственных радиоэхо, которые некоторыми объяснялись отражением земных радиопередач инопланетным зондом («эффект Штермера»). Время задержки таких радиоэхо слишком велико, чтобы их можно было легко объяснить какими-то земными причинами. Любопытно, что радиоэхо наблюдаются на всех частотах, независимо от свойств ионосферы на данной частоте. Еще более поразительно то, что загадочные радиоэхо регистрируются не всегда и их очередная «серия», похоже, связана каждый раз с введением в строй новинок радиотехники. По мнению Л. В. Ксанфомалити, «...нельзя полностью исключить возможность связи задержанных радиоэхо с гипотетическим зондом внешней цивилизации или его вспомогательными устройствами»³, хотя по ряду признаков «...все это гораздо больше похоже на побочный продукт какого-то неизвестного процесса».

¹ Сборник «Межзвездная связь». М., «Мир», 1965, с. 267.

² Сборник «Проблема поиска внеземных цивилизаций». М., «Наука», 1981, с. 55—67.

³ Там же, с. 66.

Скорее всего «зондов Брейсуэлла» в общепринятом их понимании вовсе не существует. Сама эта идея несет на себе печать младенческой стадии космонавтики, ее первых шагов по созданию искусственных спутников Луны и планет. Прилетев с расстояния в десятки световых лет, зонды Брейсуэлла ложатся на пассивные околосолнечные или околоземные орбиты. С помощью радиоволн они информируют человечество о своем существовании, а также передают сведения о нас своим создателям — далеким инопланетянам. Все трудности радиосвязи на межзвездных расстояниях тут налицо, и не видно, чем принципиально наивные «зонды Брейсуэлла» отличаются от межпланетных зондов, запускаемых человечеством. Совершенно неясным остается и вопрос, как такие зонды сумели преодолеть межзвездные пространства.

Если когда-нибудь с других планетных систем нас посетят зонды или космические корабли, то, как уже говорилось, наверняка они будут выглядеть совсем иначе.

Неисчерпаемость материи — краеугольный принцип диалектического материализма. Эта неисчерпаемость касается всех сторон объективного бытия. По словам известного советского философа профессора А. С. Кармина, «...применение принципа неисчерпаемости материи к пространству и времени ведет к выводу о неисчерпаемом многообразии их форм. С этой точки зрения бесконечность пространства и времени понимается не как их метрическая бесконечность, а как бесконечное разнообразие пространственно-временных структур, пространств и времен. Это представление соответствует создаваемой современной наукой картине физической Вселенной»¹.

Неисчерпаемость материального мира (и на уровне явлений, и на уровне законов!) означает, что наука никогда не будет исчерпана и что впереди нас ждут не только «рядовые», но и фундаментальные открытия. С этой точки зрения и следует подходить к проблеме связи с инопланетянами. Да, сегодня мы не знаем, как установить с ними хотя бы одностороннюю радиосвязь. Не видно и средств, с помощью которых удастся уверенно отличить «отходы» ВЦ от естественных космических явлений. Совсем безнадежной выглядит проблема межзвездных перелетов.

Но это — сегодня. А завтра? Неужели навсегда человечество обречено на полную изоляцию в космосе и идеи К. Э. Циолковского о вселенском распространении Разума не больше, чем утопия? Думать так — значит не верить в силы науки, в мощь человеческого Разума.

Уже сейчас все чаще начинают поговаривать о «параллельных» мирах и об использовании для связи с инопланетянами иных

¹ А. С. Кармин. Познание бесконечного. М., «Мысль», 1981, с. 227.

пространственно-временных измерений. В книге У. Корлисса «Ракетные двигатели для космических полетов» (ИЛ, 1962, с. 451) смело утверждается, что «...нельзя догматически отрицать возможность существования других измерений, так как мы не обладаем способностью воспринимать четвертое или пятое пространственное измерение. Точно так же нельзя утверждать, что расстояние до Марса не может оказаться значительно меньшим в каком-либо другом измерении».

Известные специалисты в области космонавтики доктора технических наук В. П. Бурдаков и Ю. И. Данилов в капитальной монографии «Внешние ресурсы и космонавтика» (М. Атомиздат, 1976) обстоятельно обсуждают возможные, но пока что фантастические тяговые системы будущего. Среди них и искусственные гравитационные экраны, которые позволили бы при малом расходе энергии перемещаться с очень большими скоростями, и антигравитационные двигатели. Рассматриваются и возможности преодоления «светового барьера», и даже использование для нужд космонавтики биополей и психокинеза¹. Среди задач, которые стоят перед земной цивилизацией, член-корр. АН СССР И. С. Кардашев называет и такую, как «...изучение возможности перехода в другие измерения, например через заряженную черную дыру»².

Приведенные примеры показывают, насколько широким становится фронт научных исследований. Кардинальные успехи на этом направлении так преобразуют современную технологию, что с теперешней точки зрения она неизбежно должна показаться «магией». Тогда и для многих из сегодняшних проблем связи с ВЦ, вероятно, найдутся неожиданные решения. Естественно думать, что далеко обогнавшие нас в развитии космические цивилизации знают многое такое о материи и сознании, о чем мы и не подозреваем. А тогда прямой контакт с инопланетянами (в форме ли дистанционной связи или прямого визита к нам) непременно будет сопровождаться явлениями и событиями, которые наше нынешнее миропонимание склонно считать чуть ли не «сверхъестественными», «магическими» и «принципиально невозможными». Неисчерпаемая Природа преподнесет нам еще много сюрпризов!

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.

¹ Бурдаков В. П., Данилов Ю. И. Ракеты будущего, М., Атомиздат, 1980, с. 445—450.

² Сборник «Проблема поиска внеземных цивилизаций». М., «Наука», 1981, с. 37.

Экспонента таит в себе очевидные нелепости. Сегодня человечество использует для жизни и производства ежегодно 10^{17} граммов вещества. При годовом приросте вещества 4 % всего через 200 лет оно должно будет использовать 10^{51} граммов 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 ближнем 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. Ресурсы 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^{41} Дж) хотя и очень велико, но при развитии человечества по экспоненте даже ее когда-нибудь, конечно, 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 данные, приведенные американскими прогнозистами еще в 1968 г. ¹:

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

¹ См. сборник «Будущее человеческого общества». М., «Наука», 1971, с. 304.

Все эти подсчеты были сделаны при допущении, что уровень потребления 1948 г. сохранится (на самом деле он резко поднялся).

В книге акад. К. И. Лукашева¹ весьма детально рассматриваются перспективы использования минеральных богатств Земли, однако автор 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 глубины 10—11 км, а чаще всего при разведке полезных ископаемых приходится ограничиваться скважинами глубиной 200—300 м. 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 огромных 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 возобновимых 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 подземоходов, этих технических «кротов», которые сообщают 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

¹ Лукашев К. И. Кладовая планеты. М., «Знание», 1974.

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, 8 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 (например магний — 4,5 тонны). Земные океаны содержат 10^{17} тонн водорода и 10^{13} тонн дейтерия — сырья для атомных и термоядерных установок.

Термоядерная энергия кажется нам панацеей. 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 подходящее — 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, Сатурн 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, гидразин, 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 км 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.

Существует 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 км в секунду. В двигателях с жидкофазным ядерным реактором эта скорость может быть доведена до 20 км в секунду. Если же удастся в космических двигателях использовать газофазный ядерный реактор, скорость истечения можно повысить до 70 км 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 км 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 планетных 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 Космосе¹. 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.

¹ Евич А. Ф. Индустрия в Космосе. М., «Московский рабочий», 1978.

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 среде, 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. Гравитация на лунной поверхности в 6 раз меньше земной, и искусственная лунная атмосфера должна быстро улетучиться. 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 будет оживлен человеческим Разумом.

Из всех планет Солнечной системы Марс, несомненно, первым подвергнется «колонизации». Пилотируемые полеты к Марсу проектируются на 90-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 необычайно бурный прогресс космонавтики.

Если бы мы располагали двигателем, который на протяжении всего полета к Марсу придавал бы космическому кораблю ускоре-

ние, равное 9,8 м 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, стадийность заселения Марса и Луны будет одинаковой.

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 плотиной Берингов пролив и перекачивать атомными насосами теплую воду Тихого океана в Ледовитый океан. Есть немало проектов изменения направления теплового 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 дождевания.

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 неизмеримо трудное, к которому надо готовиться загодя.

В астрономии по традиции принято называть планеты «небесными землями». Условность этого термина ныне очевидна — даже в нашей Солнечной системе, строго говоря, ни одна планета не по-

хожа 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 чрезмерной «отяжелевших» людей.

В проектах проф. Г. И. Покровского¹ взамен «Сферы Дайсона» предлагается создание вокруг Солнца из вещества планет различных устойчивых твердых динамических конструкций.

В последнее время большую популярность приобрели проекты американского исследователя О'Нейла, рассчитанные на реализацию в течение ближайшего полувека. О'Нейл предлагает постепенно расселить человечество в громадных металлических станциях-цилиндрах, где предполагается создать вполне земной комфорт вплоть до пастбищ и облаков, извергающих дождь. Вращение цилиндров вокруг оси создаст искусственную тяжесть, причем цилиндры долж-

¹ См. сборник «Населенный Космос» (М., «Наука», 1972).

ны быть ориентированы так, чтобы их основание постоянно было направлено на Солнце. Здесь в торце станции предполагается разместить электростанцию, дающую мощность 120 киловатт на каждого обитателя «искусственной планеты»¹.

Первая станция рассчитана на 10 000 человек. При радиусе 100 м она должна иметь в длину 1 км. Скорость ее вращения — один оборот за 21 секунду. Станция второй очереди должна обладать внутренней поверхностью в 10 раз большей, чем у первой модели. К 2008 году спроектирована станция длиной 40 км и диаметром 7 км, в которой должны разместиться 20 млн. человек! Через полвека, если верить О'Нейлу, 90 % населения Земли переселится в его цилиндры!

Можно быть, однако, уверенным, что этого наверняка не произойдет. Цилиндры О'Нейла отнюдь не решат современных проблем человечества, в том числе социальных и экологических. Проекты американского ученого несут в себе явные черты утопии. Достаточно представить себе жизнь 10 000 человек внутри первого цилиндра длиной всего 1 км, чтобы ощутить физический и психологический дискомфорт, который ожидает землян, рискнувших покинуть надолго родную планету. Нет, еще много веков (если не навсегда) Земля останется для человечества не только его колыбелью, но и любимой отчизной.

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.

В режиме космического корабля

Примерно 100 лет назад в научный обиход был введен новый термин — «экология». В современном естествознании экологией называют раздел биологии, изучающий взаимоотношения организмов с окружающей средой. Хотя развитие человеческого общества подчиняется особым социальным законам, с биологической точки зрения человечество можно рассматривать как некоторую совокупность организмов, взаимодействующих с внешней средой. Исходя из этого экологические исследования могут и должны быть распространены на человечество с той, однако, весьма существенной оговоркой, что характер взаимодействия природы и общества определяется в первую очередь социальными законами.

¹ Зигель Ф. Ю. Города на орбитах. М., Детгиз, 1980.

На ранней стадии развития общества, когда основным источником существования были охота и собирательство, человек не отделял себя от природы, находился с нею в гармоничном единстве. Позже, когда слишком бурная деятельность человека привела его к необходимости искать себе новые источники существования и он перешел к земледелию и скотоводству, взаимоотношения человека и природы изменились. Засухи или, наоборот, наводнения уничтожали урожай, вызывали гибель скота. И природа стала восприниматься человеком как нечто враждебное. Борьба против засух и наводнений путем проведения каналов и строительства дамб вызвала к жизни такие понятия, как «покорение природы», «борьба с природой», — терминологию, прочно укоренившуюся даже в современном языке.

Но времена меняются. «Борясь» с природой, человек не задумывался об обратных связях, о последствиях своей «борьбы» и своих «побед», и природа начала жестоко мстить человеку за его неразумное к ней отношение. Обратные связи уже сегодня дают о себе знать все больше и больше, особенно в развитых капиталистических странах. Именно, капитализм, эта отживающая общественная формация, всячески поощряющая пресловутую «частную инициативу» с ее духом торгашества и делячества, породил то бездумное, потребительское отношение к природе, которое в капиталистических странах уже сегодня сделало экологическую проблему «проблемой номер один». И если бы капитализм не шел к своему концу, а остался надолго общественной формацией большинства стран, человечеству, вероятно, грозила бы экологическая катастрофа. Такой катастрофой была бы, конечно, и термоядерная война, способная уничтожить на Земле все живое¹.

Пытаясь извратить действительное положение дел, некоторые зарубежные социологи представляют существующий разлад человека с природой как неизбежное следствие бурного развития техники и индустрии. Спасение от экологической катастрофы они видят не в переходе всего человечества к высшей общественной формации — социализму и коммунизму, а в отказе от технического прогресса, в возвращении к патриархальным формам жизни.

Нелепость такой позиции вряд ли требует пояснений. Социальная и техническая эволюция человечества так же необратима, как и предшествовавшая ей эволюция животного и растительного мира Земли. Задача состоит в том, чтобы «вписаться в биосферу», чтобы мир «второй природы» вошел органически в ее состав, не губя

¹ Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс. М., Гидрометеониздат, 1977.

Лейбин В. М. Модели мира и образ человека. М., Политиздат, 1982.

живое, а, наоборот, способствуя переходу биосферы в ноосферу. Такую задачу в принципе может решить лишь общество социалистическое и тем более коммунистическое. Не следует это понимать, конечно, так, что в современных социалистических странах, в частности в СССР, экологической проблемы не существует. Эта проблема приобрела сегодня глобальный характер.

Земля — космический корабль. Это образное сравнение уже не раз использовалось в печати. Будет хорошо, если глубина этого сравнения дойдет до нашего сознания. Земля действительно «космический корабль» с непрерывно растущим в своей численности экипажем. Как и всякий космический корабль, Земля обладает ограниченными, хотя и весьма значительными запасами вещества и энергии. На Земле, как и на космическом корабле, действует практически замкнутый экологический цикл, правда использующий для своей реализации внешний источник энергии — Солнце, совершается замкнутый круговорот живого вещества — разложение умерших организмов и рождение новой жизни, вовлекающей в жизненный вихрь все новые и новые массы неорганического вещества.

Развитие человечества идет в направлении освоения для собственных нужд все большего и большего количества вещества и энергии. Этот естественный процесс роста осуществляется с помощью непрерывно прогрессирующей техники производства. Однако производство создает не только ценности, но и отходы. И эти отходы уже начали угрожать самому существованию человечества. Покажем это на конкретных примерах.

Загрязнение воздуха в промышленных и жилых центрах капиталистических стран дает чувствовать себя уже сегодня. Дымящие трубы бесчисленных предприятий, выхлопные газы миллионов автомобилей, радиоактивное заражение атмосферы, газы, выделяющиеся из гниющих отходов, и многое-многое другое отравляют воздух. Хотя в США проживает всего 6 % населения земного шара, на их долю приходится 40 % мирового загрязнения окружающей среды. Как тут не вспомнить пророческие слова Карла Маркса: «Культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно... оставляет после себя пустыню»¹.

Индустриализация сопровождается колоссальным потреблением природных ресурсов и глубокими изменениями природной среды. «Распашка больших территорий суши (около 10—12 %), использование под пастбища (17 %), — пишет чл.-корр. АН СССР В. А. Ковда, — вырубка лесов, сооружение плотин и каналов, оросительных систем, обширные горно-геологические разработки, эрозия почв, применение удобрений, пестицидов, мелиорация, загрязнение почв, водо-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Избранные письма. М., 1953, с. 202.

емов и атмосферы индустриальными отходами и многие другие виды деятельности человека вносят в природу большие изменения, которые нарушают сложившиеся системы и отношения в биосфере Земли. Часто эти изменения имеют негативный и, что особенно опасно для будущего человечества, необратимый характер»¹.

Приведем примеры того, как незнание законов, управляющих биосферой, делает вмешательство человека в жизнь животных и растений нежелательным, а то и вредным (даже если это вмешательство вызвано самыми добрыми побуждениями).

На острове Бали (Индонезия) решили избавиться от москитов и опрыскали жилища рыбаков ДДТ. Москиты исчезли, но вскоре начали гибнуть ящерицы, питавшиеся этими насекомыми. За ящерицами наступил черед кошек, кормившихся ими. Вскоре на острове не осталось почти ни одной кошки, поэтому появились несметные полчища крыс, принесших с собой чуму. Срочно завезли новых кошек. Но тут начались новые беды: как только кошка вспрыгивала на крышу дома, крыша обрушивалась. Оказалось, что после исчезновения ящериц на острове развелось множество термитов, которые источили все балки в домах.

Биосфера как саморегулирующаяся система постоянно находится в динамическом равновесии. Если нарушить это равновесие, последствия могут быть самыми неожиданными. Казалось бы, для увеличения продуктивности сельского хозяйства надо всемерно увеличивать посевные площади. Но вот распахали плодородные поймы, степи, склоны. Усилилась эрозия почв. Ветры и паводки стали сдирать почву, началось быстрое образование оврагов. В итоге от непродуманного хозяйствования за последнее время для земледелия потеряны миллионы гектаров земли. Очевидно, что, планируя какое-нибудь мероприятие в биосфере, надо добиваться того, чтобы равновесие в природе сохранилось и последствия вмешательства человека были благоприятными и для него, и для природы.

Сооружение исполинских плотин и водохранилищ — доброе дело. Но при этом приходится учитывать, как изменяется режим реки, как заняется ее дно и какой ущерб понесет рыбное хозяйство, когда во время нереста рыба из-за плотин не сможет подняться к истокам реки.

Уничтожение волков всегда считалось хорошей охотой. Казалось, есть и польза от этого занятия: ведь истребляются хищники. Но вот, когда в арктических районах Канады перебили волков, невиданно размножились олени карibu, на которых охотились волки. Уничтожив волков, погубили и пастбища, почти начисто истребленные оленями. Надо заметить, что хищники выполняют и важную

¹ Сборник «Биосфера и ее ресурсы». М., 1971, с. 7.

«селекционную» роль: они истребляют преимущественно слабых и больных особей, что препятствует распространению болезней и закреплению наследственных недостатков. Эта «мудрость» природы — результат ее длительной эволюции, и вмешательство людей в жизнь живого вещества должно быть разумным.

В Советском Союзе и других социалистических странах загрязнение среды хотя и происходит, но далеко не в таких катастрофических масштабах, как в крупнейших капиталистических странах. А главное, сознательно регулируемое общество, т. е. общество социалистическое, способно так регулировать свое взаимодействие с природой, что результаты этого взаимодействия будут полезны и природе, и обществу. Важные обнадеживающие шаги в этом направлении уже сделаны.

Рассмотрим возможные пути оптимизации биосферы, т. е. гармонического соответствия деятельности человека и природы. Тема эта сложная, многоплановая, и потому мы ограничимся только несколькими примерами принципиального характера.

Производство и технические устройства создают отходы, грязь. Но неизбежно ли это? Кто-то из химиков метко сказал, что в химии нет грязи. Грязь — это химическое соединение в неподходящем месте. Если это так, то отходы — это вещество и энергия, которые мы пока не научились использовать для нужд человека и природы. Радикальный выход, очевидно, заключается в создании безотбросовой технологии, беструбных и бессточных заводов. Иначе говоря, идеальное производство будущего должно работать на замкнутых технологических циклах: сырье — производство — отходы — сырье и т. д. При этом, конечно, вовсе не обязательно, чтобы отходы превращались в сырье для того же производства. Важно, чтобы они с пользой были употреблены для человека, техники, природы, а не рассматривались бы как мусор, который нужно забросить как можно дальше.

В будущем производственная деятельность человека должна удвоиться на деятельность производящую и компенсирующую последствия производства, т. е. обеспечивающую превращение отходов в сырье. Вторая сторона деятельности потребует уже сегодня, по видимому, не меньших творческих усилий, чем первая. Но не здесь ли во всей своей мощи должен проявиться человеческий разум — основа ноосферы? Не на этом ли благородном поприще наглядно выявятся преимущества социалистической организации общества перед хищническим потребительством капитализма?

Не будем преуменьшать трудности создания безотходной технологии: они огромны, и в этом направлении делаются пока лишь первые, правда, весьма обнадеживающие шаги¹. А пока вполне

¹ Монсеев Н. Н. Математика ставит эксперимент. М., «Наука», 1979.

реальным, хотя и далеко не совершенным средством борьбы с загрязнением среды является применение различных очистительных устройств.

В загрязнении среды немалая роль принадлежит транспорту. Современный автомобиль при пробеге 900 км расходует столько же кислорода, сколько использует его водитель для дыхания в течение целого года. А ведь уже сегодня по дорогам планеты снуют около 300 млн. автомобилей! Пассажирский же самолет за один трансатлантический рейс расходует 35 т кислорода. По подсчетам акад. Ф. Ф. Давитая, техника ежегодно извлекает безвозвратно из атмосферы более 10 млрд. тонн кислорода! Допустимо ли дальнейшее бесконтрольное и прогрессирующее расходование кислорода атмосферы? Не задохнется ли человечество когда-нибудь во всемирном смоге, который окутает Землю?

Радикальное решение проблемы, очевидно, заключается в создании таких средств транспорта и других технических устройств, которые не «воровали» бы кислород из атмосферы, не засоряли бы ее вредными газами и дымом. Электромобили и парокаты (автомобили на паровых двигателях), пневматический транспорт, возрождение дирижаблей на новой технической основе — вот лишь некоторые из возможностей, намечасмых уже сегодня. Пока же в качестве временного средства стараются загрязнение, создаваемое двигателями внутреннего сгорания и реактивными двигателями самолетов, свести к минимуму.

Раньше при застройке новых районов деревья вырубались безжалостно. Между тем крона большого дерева за час поглощает 2,5 кг углекислого газа — столько, сколько его содержится в 5000 м³ воздуха. Всего 25 м² поверхности листьев за день выделяют столько кислорода, сколько нужно человеку, чтобы прожить сутки. А ведь кроны деревьев содержат сотни тысяч листьев! Значит, срубить дерево — это обеднить атмосферу кислородом, уничтожить долгодействующий источник его восполнения. Эта тривиальная истина теперь осознана всеми, и градостроительство в нашей стране предусматривает максимальное сохранение естественных растений и создание искусственных насаждений.

Экологическая проблема должна решаться глобально. Не только в Советском Союзе, но и за рубежом в ряде стран возрождению погубленной природы уделяется серьезное внимание. Наша страна активно участвует во всех международных мероприятиях, связанных с охраной природы, с борьбой против загрязнения среды. Эта борьба преследует, в сущности, единственную цель — постепенное превращение биосферы в ноосферу.

В истории жизни на Земле можно выделить три этапа. Первый

из них продолжался до появления человека. Биосфера в ту пору характеризовалась «сбалансированной экологией», т. е. четким саморегулированием, обеспечивающим не только длительное существование живой оболочки Земли, но и ее прогрессивное развитие. Второй период характерен стихийной деятельностью человека. Бездушное, неразумное подчас и в общем потребительское отношение к природе поставило человека во враждебное отношение к биосфере. Теперь уже ясно, что «борьба» с природой, «покорение» ее грозит человечеству большими неприятностями. Третий период — период планового регулирования отношений человека с природой протекает на наших глазах.

Биосфера постепенно «насыщается» техникой, и человечество приступает к проектированию и созданию сбалансированных взаимоотношений с природой. Очевидно, что закономерности развития таких отношений не сводятся к законам развития природы. Познание законов взаимосвязи природы и общества, особенностей сочетания биосферы и производства с теми новыми условиями, в которые ставит биосферу человек, — одна из фундаментальных задач естественных и общественных наук ¹.

Надо воспитать в себе такие человеческие качества, которые соответствовали бы глобальному пониманию экологической культуры. С высоты космических орбит космонавты и астронавты явно ощутили, как, в сущности, мала наша планета и как жизненно необходимо беречь все ее природные богатства.

Жить в режиме космического корабля — это значит всегда помнить об ограниченности Земли и о том, что, как остроумно заметил один эколог, «всякая вещь куда-нибудь девается». Воспитывать экологическую культуру в себе и других надо в большом и малом. Варварство и вандализм сегодня начинаются с брошенного окурка, с поломанной «просто так» ветки, с хулиганского разрушения памятника культуры и многих других действий, еще недавно казавшихся «безобидными». Только тогда мы отведем экологическую угрозу и сделаем Землю прекрасным, прочным домом человечества.

«Человечеству сейчас, по сути дела, не остается ничего иного, — пишет известный эколог Аурелио Печчеи, — как возможно быстрее приблизиться к следующей фазе своего развития — той, где оно, сочетая свое могущество с достойной этого мудростью, научиться поддерживать в гармонии и равновесии все дела человеческие».

¹ См. сб. «Общество и природная среда». М., «Знание», 1980. 1980.

² См. Печчеи А. Человеческие качества. М., «Прогресс», 1980, с. 6.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЗЕМЛЯ И КОСМОС

ИЗЯЩНАЯ ФИГУРА ЗЕМЛИ

Открытие земного шара (6). Что такое геодезия? (8).
Земля и маятник (11). Фигуры вращающихся тел (13).
Слово о геоиде (15). Спутниковая триангуляция (17).
Многогранная Земля (19).

НАША ПОДВИЖНАЯ ПЛАНЕТА

Тринадцать движений Земли (23). Земля пульсирует (28).
Равны ли сутки между собой? (31). Путешествия земных полюсов (33).

ЧТО ТАМ ВНУТРИ!

Принцип изостазии (36). Об упругости и волнах (38).
Когда содрогается Земля (40). Сейсмическая модель планеты (42).
Можно ли предсказать землетрясение? (46).

В РОЛИ МАГНИТА

Магнитное поле Земли (49). Земные недра и магнитные аномалии (52).
Загадки палеомагнетизма (54). Динамо-гипотеза и ее конкуренты (56).

ЗЕМНАЯ КОРА

Геологическая деятельность атмосферы (58). Гидросфера и полезные
ископаемые (62). Вулканизм Земли (65). О движениях земной коры
(68). Вулканы и жизнь (70).

СКОЛЬКО ЛЕТ ЗЕМЛЕ!

Немного геохронологии (74). Становление планеты (79).
Плавающие материки (82). Расширяется ли Земля? (87).
Геологические ритмы (89). Эволюция биосферы (94).
Рождение человека (101). Человечество как геологическая сила (106).

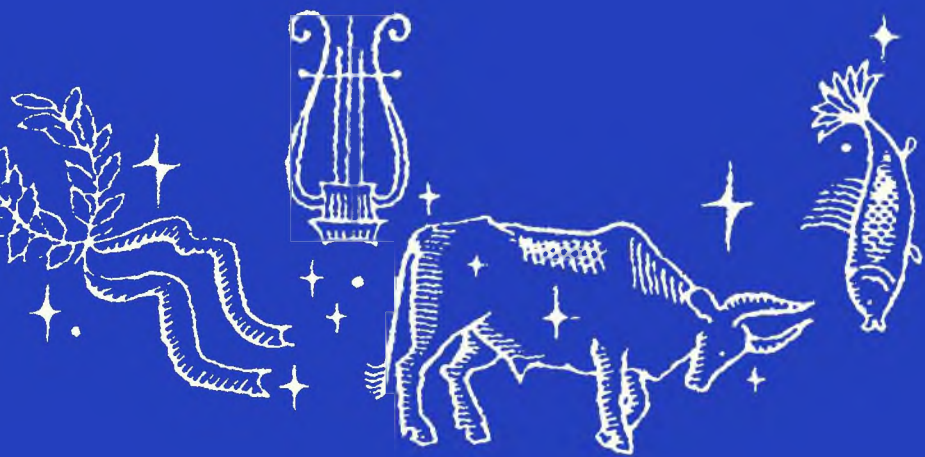
ОТКУДА ВЗЯЛАСЬ ЗЕМЛЯ!

Солнечная система (111). «Холодный» вариант земной биографии
(121). Совместно с Солнцем (126). «Горячее» рождение Земли (128).

О СОКРОВИЩАХ ЗЕМЛИ И КОСМОСА

Станет ли человечество космической цивилизацией? (133). Богатства
Земли и ближнего Космоса (145). В режиме космического корабля
(153).

30 к.



ВЕДРА