

## ГЛАВА 1. ЗЕМЛЯ

Земля занимает особое место среди планет — на ней образовалась биосфера и появился человек. Последнее предопределяет совершенно иной уровень ее изученности, не сопоставимый с изученностью других планет. При сравнительном изучении планет Земля служит и эталоном, и конечной целью и интересуется нас прежде всего как место обитания человека, источник его ресурсов и условий жизни. Как писал Ф.Энгельс, «геоцентрическая точка зрения в астрономии ограничена и по справедливости отвергается. Но по мере того, как мы идем в исследовании дальше, она все более вступает в свои права. Солнце и т. д. *служат* Земле (Г.Гегель, «Философия природы», стр. 155). (Все огромное Солнце существует только ради маленьких планет)... Если мы всерьез потребуем лишеной центра науки, то мы этим остановим движение *всякой науки*» (Ф.Энгельс. Диалектика природы. М.: Политиздат, 1975, с. 206).

Однако, несмотря на колоссальное количество исследований, посвященных разным аспектам изучения Земли, полнота знаний о ней только кажущаяся. Разрозненные факты и эмпирические обобщения, представляющие основу знания, скрепляются гипотезами и модельными построениями, которые изменяются по мере открытия новых фактов. Значительная часть таких построений является внутренне непротиворечивыми, но непроверяемыми системами, которые одновременно существуют в нескольких вариантах, так как построены на ограниченной системе фактов.

В естествознании особенно сложным представляется вопрос о выявлении причин какого-либо явления, так как обычно действуют сразу несколько из них и трудно выделить ту важнейшую, по которой и следует строить модель явления. С другой стороны, закон причинности не имеет обратной силы, т. е. если сходные причины всегда вызывают сходные последствия, то сходные последствия могут быть вызваны

*разными* причинами. Это забывается достаточно часто при реконструкции истории Земли.

Таким образом, если при изучении других планет представляют принципиальный интерес даже факты, лежащие на самой поверхности явлений, то при изучении Земли остаются нерешенными именно те вопросы, методика изучения которых недостаточна даже при мощном уровне развития современного естествознания, хотя именно они и могут представлять наиболее принципиальные проблемы теории Земли. Предполагая, что читатель знаком с общей характеристикой Земли, здесь мы почти не даем в отличие от других глав книги описаний этой планеты, отсылая читателя к специальной литературе, указанной более подробно в гл. 9. Мы попытаемся сразу остановить его внимание на спорных или нерешенных вопросах и на тех особенностях Земли, которые выделяют ее из семьи внутренних планет. Именно эти особенности способствуют общей активности геологических процессов, высшую степень развития которых мы видим в биосфере и деятельности человека как геологического фактора [6, 7].

## **ЗЕМЛЯ КАК ПЛАНЕТА**

**Земля и Солнце.** Земля находится в тесном материально-энергетическом контакте с Солнцем. Среднее расстояние Земли от Солнца — астрономическая единица (149,6 млн. км) — во многом предопределяет как средний состав Земли, так и протекание всех процессов в верхних ее оболочках. Условия дифференциации состава протопланетного облака, энергетика экзогенных процессов, геотермический градиент в земной коре, характер фазовых состояний вещества в верхних оболочках (планетарном чехле) и множество других параметров зависят от этого расстояния. Земля находится в электромагнитном поле Солнца и в потоке частиц солнечного ветра. В этом смысле можно говорить о существовании Земли в пределах внешней короны Солнца.

Солнечная постоянная, в среднем равная  $2,00 \text{ кал/мин}\cdot\text{см}^2$ , определяет среднюю температуру земной поверхности около  $15^\circ\text{C}$ . Такая температура обеспечивает возможность постоянного наличия

жидкой воды на поверхности Земли и, следовательно, постоянство существования активной жизни организмов. Земля — единственная планета, попавшая в это «поле жизни» по своему расстоянию от Солнца. Существование воды во всех трех фазах резко увеличивает активность геохимических процессов на Земле. Влияние солнечного излучения пронизывает толщу земной коры, сказываясь в образовании осадочно-метаморфических пород, месторождений эвапоритов, каустобиолитов и т. д. С ним связана и величина геотермического градиента, так как поток эндогенного тепла накладывается на прогретую Солнцем на всю глубину до 15 °С (288 К) кору, а эта температура почти на 280° выше холода межзвездного пространства.

Общеизвестна роль видимого света в деятельности фотосинтезирующих растений, определяющих кислородный режим атмосферы Земли. В коротковолновом интервале спектра Солнце является переменной звездой, активность которой резко сказывается на многих процессах в биосфере. Этот вопрос изучен недостаточно и освещался в работах А.Л.Чижевского и его школы [26, 27, 24]. Периодичность многих явлений на Земле связывают с ритмами солнечной активности, из которых наиболее четко проявляется одиннадцатилетний цикл.

Дипольное магнитное поле Земли на несколько порядков превышает магнитное поле других внутренних планет. Считается наиболее вероятным, что оно возникает в результате вращения Земли и сложных течений вещества ядра в магнитном поле Солнца. Колебания напряженности и инверсии магнитного поля Земли резко сказываются на интенсивности проникающих излучений Солнца и, по-видимому, могут предопределять мутационную изменчивость организмов. Состояние магнитосферы и ионосферы связано с водородной короной Земли и сказывается на равновесии поглощения Землей протонов солнечного ветра и диссипации водорода из атмосферы Земли.

Земля и Луна. У Земли есть естественный спутник, относительная масса которого исключительно велика и всего в 81 раз меньше массы Земли. Луна по всем признакам, кроме орбиты, должна рассматриваться в семье земных планет. С точки зрения небесной

механики единая система Земля — Луна вращается вокруг общего центра тяжести, расположенного глубоко в недрах Земли. В процессе эволюции системы Луна отдаляется от Земли, и перераспределение момента вращения тормозит собственное вращение Земли, так что длина земных суток непрерывно увеличивается (гл. 2). Это должно влиять на земные процессы, в частности, приводить к нарушению биологических ритмов. Изменение скорости вращения Земли должно компенсироваться изменением равновесности в общей фигуре Земли и, по мнению Б.Л.Личкова и его последователей [18, 19, 14], является одной из ведущих причин тектонической активности Земли.

Луна оказывает заметное влияние на Землю вследствие приливов, которые в разной степени охватывают атмосферу, гидросферу и литосферу, играют роль спускового механизма для землетрясений, извержения вулканов и т. п. (гл. 2). Океанические приливы существенно увеличивают скорость эрозии берегов, а приливная береговая зона явилась основным мостом, обеспечившим выход на сушу древних морских организмов. Существует заметная месячная периодичность в целом ряде природных явлений, однако лунный месяц близко совпадает со временем обращения солнечных пятен, влияние которых на земные процессы не вызывает сомнений. И эта проблема требует дальнейшего изучения.

**Размеры Земли.** Земля является наиболее крупной из внутренних планет. Ее размеры определяют скорость диссипации в 11,2 км/сек, что способствует удержанию в атмосфере всех легких летучих элементов, кроме водорода и гелия, но и их потери минимальны по сравнению с другими внутренними планетами. Эти условия обеспечили существование гидросферы и атмосферы в течение всего времени жизни Земли. В то же время размеры Земли, очевидно, близки к минимальным размерам планеты, сохраняющей легкие элементы. Венера, размеры которой практически равны земным, вероятно, потеряла значительную часть своего водорода. Имеет ли в этом случае значение большая близость к Солнцу Венеры, или важно наличие магнитного поля у Земли при практическом отсутствии его у Венеры, не ясно.

**Вращение Земли.** Среди элементов вращения наиболее постоянным является время обращения Земли вокруг Солнца — 1 год; вращение вокруг оси (сутки) меняло свою продолжительность в геологическое время, а наклон оси к плоскости эклиптики испытывает периодические колебания — прецессии и нутации. Наклон экватора к плоскости орбиты Земли (около  $23,5^\circ$ ) в сочетании с обращением вокруг Солнца создает сезонную периодичность в климате Земли. Наличие сезонных колебаний резко ускоряет протекание экзогенных циклов и определяет их разнообразие, отклоняя от равновесных состояний. Это способствует устойчивости и приспособляемости организмов и резко увеличивает их миграционную способность, необходимую для рассеяния с максимальным расширением и заполнением биосферы.

Суточное вращение Земли также обогащает кратковременные циклы перемещения вещества, особенно заметные в атмосфере (например, бризы). Кроме того, оно обуславливает заметные изменения в ионосфере, разные части которой по-разному обращены к Солнцу. Суточная активность организмов, вероятно, зависит не только от разной освещенности и температуры в течение суток, но и от различной напряженности других физических полей, солнечных и галактических. Изменения скорости вращения Земли связаны с приливным трением, а также с возможным изменением момента вращения Земли при эволюции ее строения.

## **СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ**

Главной чертой строения Земли является неоднородность свойств в радиальном направлении, т. е. дифференцированность вещества по радиусу с образованием ряда концентрических оболочек. Границы этих оболочек можно проводить по разным признакам, и поэтому они могут не совпадать, но это не меняет общего принципа. Общие свойства этих оболочек известны, планетарное значение их подчеркнуто В.И.Вернадским [5, 7]; их описанию посвящены многочисленные сводные работы [2, 7, 9–13, 15, 20, 21 и др.]. Представляется целесообразным, не повторяя известных данных, сделать некоторые замечания, важные для понимания планетологического облика Земли.

**Магнитосфера.** Магнитосфера Земли существенно асимметрична за счет взаимодействия с солнечным ветром. Со стороны Солнца граница магнитосферы расположена на расстоянии 70–80 тыс. км (10–12 радиусов Земли), в то время как протяженность магнитного шлейфа Земли превышает 5 млн. км. Через магнитосферу осуществляется связь и преобразование физических полей Земли, Солнца и Галактики. На границе с атмосферой формируются более или менее устойчивые зоны заряженных частиц — радиационные пояса, существенно изменяющие траектории всех заряженных частиц, что предопределяет условия вещественного обмена Земли и окружающего космического пространства.

**Атмосфера.** Атмосфера представляет собой наиболее подвижную оболочку земного шара. Ее стационарность связана отнюдь не с термодинамическим химическим равновесием, а со скоростью протекающих циклических процессов, восстанавливающих исходное состояние. Ядерные, электрохимические, фотохимические, обычные химические и биогеохимические процессы непрерывно меняют ее состав на разных высотах на фоне интенсивных физических процессов испарения-конденсации и воздушных потоков разного масштаба. Вся сложность такого взаимодействия отчетливо выявляется в несостоятельности долгосрочных прогнозов погоды, несмотря на большое практическое значение метеорологии и широко развитую сеть метеорологических станций.

Помимо широко известного деления атмосферы на ряд слоев, среди которых наиболее четко проявляются особенности стратосферы и тропосферы, необходимо учитывать наличие и своеобразие подводной и подземной атмосферы. Подводная атмосфера, как ее называл В.И.Вернадский, представлена газами, растворенными в воде гидросферы и находящимися в равновесии с атмосферой. Она имеет иной состав, зависящий от растворимости разных газов. Подземная атмосфера не имеет возможности свободного турбулентного перемешивания и отличается резкой неоднородностью состава. Она является мостиком, связывающим земную кору с атмосферой. Через нее идет главное пополнение атмосферы инертными радиогенными газами.

Состав атмосферы вопреки распространенным представлениям крайне сложен и недостаточно изучен. Помимо так называемых постоянных компонентов: азота, кислорода, углекислого и инертных газов — в составе реальной атмосферы имеется множество разнообразных переменных газовых примесей и аэрозолей, например  $\text{CH}_4$  и тяжелые углеводороды,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и т. д. Их общее количество может достигать нескольких процентов. Микропримеси, особенно  $\text{O}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , влияют на ряд свойств атмосферы, в частности, поддерживают парниковый эффект, защищают поверхность от ультрафиолетового излучения и т. д. Имеющиеся обзорные работы [9, 17, 25, 28] лишь частично отражают всю сложность состава атмосферы. Пожалуй, наиболее наглядное представление об этой сложности дает поведение собаки во время прогулки: воздух для нее наполнен тысячами запахов, недоступных нашему восприятию. Каждый объект на Земле окружен своей собственной «аурой», быстро рассеивающейся в пространстве.

Большое значение для очистки атмосферы от примесей имеет процесс конденсации водяного пара в облаках и выпадение осадков. Так, по данным Х.Юнге [28], ежегодный вынос из атмосферы с осадками природных новообразований достигает для сульфатов 130–200 млн. т, для солей аммония 80–270, нитратов 60–430 и углеводородов 75–200 млн. т; в сумме 773–2200 млн. т в год. Кроме того, тот же порядок величин относится к антропогенным продуктам, причем развитие промышленности быстро увеличивает массу техногенных атмосферных примесей.

Независимо от первоисточков возникновения атмосферы ее газы на Земле (за исключением инертных) многократно прошли через биогеохимический цикл, и весь современный состав ее реально имеет биохимическое происхождение, которое учитывается часто только для кислорода.

Значение атмосферы очень велико для защиты поверхности Земли от жесткой составляющей солнечных излучений, частиц солнечного ветра, ударов микрометеоритов и т. п. Атмосфера является одним из важнейших условий формирования климата. Только ее парниковый

эффект поднимает среднюю поверхностную температуру Земли от  $-23$  до  $15$  °С, т. е. на  $38^\circ$ . Глобальные изменения климата многие связывают с небольшими колебаниями в составе воздуха.

**Гидросфера.** Земля оказалась единственной планетой, обладающей выраженной гидросферой с океанами и морями. На Марсе запасы воды сосредоточены в полярных шапках и мерзлых грунтах криолитосферы; наличие жидкой воды под слоем вечной мерзлоты гипотетично. На Венере, Луне и Меркурии существование жидкой воды невероятно. Общие запасы связанной воды на планете оцениваются поразному и не имеют прямого отношения к гидросфере как планетарной оболочке свободной воды. При этом основная неопределенность связана с представлениями о содержании воды и других летучих соединений в мантии и с оценками степени ее дегазации.

Известные физические аномалии воды, ее действие как универсального растворителя, подвижность и обилие в жидкой, твердой и газообразной фазах, определяющая роль в составе живого вещества придают ей исключительное значение в геологических процессах на Земле. Достаточно вспомнить, что если число минеральных видов в безводной коре Луны вряд ли превышает 100, то на Земле их известно около 2000, причем примерно 800 из них образуются при неперменном участии воды в гипергенных и осадочных условиях, а около 500 — в пневматолитово-гидротермальных.

К гидросфере безусловно относится вся жидкая и газообразная свободная вода, содержащаяся в породах земной коры. Кроме того, в коре и мантии находится большое количество воды в связанном и растворенном состоянии. Такую воду можно относить к собственно гидросфере лишь условно, но значение ее трудно переоценить. Она понижает температуру плавления магмы, а освобождаясь, является мощным фактором тепло-массопереноса в геохимических процессах и главным условием образования большинства месторождений полезных ископаемых. Ее значение очень велико в процессах вулканизма. Состав подземных вод крайне разнообразен, а скорости реакций в водных растворах несоизмеримо выше скоростей твердофазных превращений.



Одной из важнейших особенностей гидросферы является ее дисимметричность на поверхности, что обеспечивает резкое пространственное разделение продуктов выветривания горных пород в растворенном и взвешенном состоянии и разный характер всех геохимических процессов в океаническом и континентальном полушариях Земли.

Вода составляет более 50% всех живых организмов в активном состоянии. По образному выражению Р.Дюбуа, живые организмы — это «одушевленная вода».

**Биосфера.** Выделяя оболочки планеты по фазовому составу, логично считать следующей оболочкой твердую Землю — литосферу. Однако в области взаимодействия атмосферы и литосферы, включая всю гидросферу, выделяется зона развития живого вещества — биосфера. Это особая оболочка планеты, уникальная во всей Солнечной системе, которая характеризуется наибольшей активностью всех процессов.

Важно подчеркнуть, что средний состав живого вещества [9] по ведущим легким элементам стоит гораздо ближе к среднему составу комет, углистых хондритов и даже Солнца, чем к среднему веществу Земли или земной коры. Среди земных образований он ближе к гидросфере и атмосфере, а не к твердому веществу планеты.

Живые организмы — живое вещество, — используя поглощенную энергию Солнца, с помощью ферментов способны в миллионы раз ускорять протекание химических реакций и реализовывать биогеохимические процессы, исключенные в отсутствие организмов. Они осуществляют ряд биогеохимических функций [6, 7], определяющих самоорганизацию и устойчивость биосферы.

В геохимическом плане особенно важна окислительно-восстановительная функция биосферы, которая контролирует разделение вещества на окисленную и восстановленную фракции. Создаются геохимические барьеры, обеспечивающие концентрацию ряда элементов. Наглядным примером может служить граница между резко окислительной средой кислородной атмосферы и восстановленными соединениями углерода в почве.

Известной мерой разнообразия и общей активности реакций может служить число образующихся соединений; о роли живого вещества можно судить по тому, что сейчас на Земле существует около  $2 \cdot 10^6$  видов организмов разного состава и громадное количество разнообразных органических веществ. Если исходить из современной скорости обмена, то углекислый газ атмосферы прошел через биохимический цикл живого вещества  $n \cdot 10^8$  раз; кислород —  $n \cdot 10^5$ , вода океанов — сотни, а  $N_2$  — десятки раз. Через посредство живых организмов, в основном через фотосинтез, солнечная энергия вводится в физико-химические процессы земной коры и в процессы выветривания. Через цикл выветривания в биосфере прошла почти вся масса земной коры. И скорость разрушения пород на поверхности Земли, которая на три порядка больше, чем на Луне, и на 1,5–2 порядка выше, чем на Марсе, во многом определяется именно наличием биосферы.

Учение о биосфере как о биокосном (т. е. представляющем неразрывное единство организмов и среды их обитания) организованном природном теле было создано В.И.Вернадским и развивается во многих современных работах [6, 3, 16]. Сейчас оно приобретает особое значение, ибо человек выступает как геологическая сила, меняющая организацию биосферы коллективным трудом, направляемым силой разума [6, 7]. Биосфера, изменяемая таким образом, называется В.И.Вернадским ноосферой. Важно не подорвать систему саморегуляции биосферы, опасность чего сейчас сознается все острее.

В планетарном выражении биосфера представляет собой тонкую поверхностную пленку фрагментарного строения, облегающую всю планету. По мнению В.И.Вернадского, не только стратисфера, но и вся гранитная континентальная кора Земли является областью былых биосфер. Рельеф Земли создается в биосфере.

**Земная кора.** Понятие о земной коре сложилось из разных представлений и до сих пор может не совпадать в понимании разных авторов. Первоначально этот термин возник на основе старых космогонических представлений для обозначения верхней, «шлаковой» корки остывающей огненно-жидкой планеты. На чисто геохимическом

понимании настаивал В.И.Вернадский [5], который подчеркивал, что земная кора объединяет в себе все внешние оболочки планеты, в том числе атмосферу и гидросферу. Сейчас обычно корой называют лишь твердую оболочку Земли и полагают, что геофизическая граница Мохоровичича отвечает изменению состава литосферы на глубине, и поэтому именно она принимается за нижнюю границу земной коры. При таком понимании эта граница соответствует геохимической границе между циклическими процессами, преобладающими в наружной геосфере, и направленным процессом дифференциации мантии. Подробнее об этом говорится в гл. 9. Некоторые авторы отождествляют земную кору с литосферой, но обычно считается, что область литосферы доходит до зоны повышенной пластичности — астеносферы, которая не совпадает с границей Мохо, проходя ниже ее.

Земная кора представлена двумя типами образований, различающимися и условиями залегания, и составом: это океаническая кора базальтового типа и континентальная, для которой характерно наличие «гранитного» слоя. Их средние мощности 6–7 км и около 35 км соответственно, принятая общая средняя мощность 20 км. Различие этих типов коры проявляется в существовании двух основных уровней поверхности Земли относительно геоида, со средней глубиной океанического дна около 3800 м и средней высотой материков около 875 м. Эти два типа коры прослеживаются в течение всего геологического времени и, вероятно, генетически различны.

Тектоническая деятельность на Земле рассматривается как серия эндогенных тектоно-магматических циклов. Земля выделяется из других планет наличием складчатых структур, не обнаруженных на Луне, Меркурии и Марсе. Возможно, эта поздняя, геосинклинальная стадия характерна для развития именно Земли. В то же время древнейшая овоидная тектоника архея и протерозоя напоминает о кольцевых структурах Луны и может указывать на влияние сходных факторов.

Земной корой заканчивается верхняя геосфера Земли, состав которой мы можем изучать непосредственными методами. Ее целесообразно отделять от других, внутренних зон, так как это

единственная область Земли, в которой вещество существует в твердом, жидком и газообразном состоянии [5] и где кора, атмосфера и гидросфера в сумме образуют генетически единый гетерофазный планетарный чехол; на других планетах он может быть в разной степени редуцирован.

**Мантия и ядро.** Внутреннее строение Земли определяется по геофизическим данным в сопоставлении со свойствами вероятных компонентов при высоком давлении. Классическая модель Джеффриса–Гуттенберга–Буллена проводит четкую границу на глубине 2900 км, которая интерпретируется как раздел мантия – ядро. Таким образом, на мантию Земли падает около 68% массы Земли, а на мантию вместе с ядром — более 98% [2, 11, 12]. Об их составе, т. е. о составе всей Земли в целом, можно судить только предположительно, на основе космической распространенности элементов, состава Солнца и метеоритов, а также редких продуктов дифференциации верхней мантии, внедряющихся местами в земную кору и доступных непосредственному изучению. Реально эти представления базируются на сравнительно-планетологических оценках состава тел Солнечной системы. Существует несколько моделей состава мантии Земли, отвечающих в общем ультраосновному характеру слагающих пород. Исходя из планетологических данных, А.П.Виноградов развивал хондритовую модель мантии, в то время как другие считают более вероятным аналогом протовещества углистые хондриты. Ядро Земли большинством ученых сейчас рассматривается как железное с примесью кремния или серы.

Строго говоря, такие модельные представления вполне гипотетичны и не контролируются ничем, кроме постулатов, положенных в их основу, т. е. состав Земли оценивается по ее происхождению, а происхождение — по составу.

## **РАЗВИТИЕ ЗЕМЛИ**

С планетологических позиций история Земли есть история дифференциации планеты — история развития ее оболочек. С геологических — это история становления земной коры. Гидросфера и

атмосфера представляют маленький довесок к коре — ее дериваты — и по своей подвижности сохраняют память о своем прошлом лишь в некотором суммарном эффекте, не расчлененном во времени. О мантии Земли мы знаем слишком мало, она представляется огромным резервуаром, на котором нечувствительно отражаются крупные изменения земной коры. Твердые образования земной коры могут быть датированы и являются памятниками времени и условий своего формирования. Их усредненные по эпохам характеристики и выражают историю земной коры, в том числе условия ее динамического равновесия с атмосферой и гидросферой, с одной стороны, и с мантией — с другой. Однако и на этом пути встречается ряд почти непреодолимых трудностей. Земная кора отличается большой подвижностью, которая выражается прежде всего в ряде геологических и геохимических циклов разного масштаба, и для суждения об эффективном и направленном изменении условий надо быть уверенным, что изучаются действительно гомологические точки разных циклов, а не их случайные или противоположные фазы.

По приблизительным подсчетам А.А.Ярошевского [29], время пребывания циркулирующего в геохимическом круговороте вещества земной коры в солевой массе океана оценивается величиной  $(5-15) \cdot 10^6$  лет, в осадочной оболочке —  $(225-680) \cdot 10^6$  лет, в метаморфических породах «гранитной» оболочки —  $(2-6) \cdot 10^9$  лет и в магматических породах «гранитной» оболочки —  $\geq 4 \cdot 10^9$  лет. При этом надо помнить, что отнесение сильно метаморфизованных пород к «магматическим» достаточно условно, так как туда попадают и палингенно-анатектические породы; оно означает лишь возможность переплавления, не затрагивая вопроса об источнике переплавленного вещества. Скорости обмена обеспечивают возможность прохождения всего вещества земной коры через осадочный цикл, что, по справедливому мнению Т.Барта [1], и определяет многообразие изверженных пород Земли.

Горные породы после своего образования не остаются в неизменном виде, а значительно изменяются под влиянием последующих метаморфических процессов. Идя в глубь времени, мы

сталкиваемся с древнейшими породами, настолько изменившими свой облик, что первоначальные их особенности становятся гадательными. Горных пород, сохранивших первоначальную запись условий своего образования, остается очень мало. Такие записи подобны палимпсестам — рукописям, в которых появились новые записи поверх стертого древнейшего текста. Время 1,5–2 млрд. лет В.И.Вернадский называл всеобщим уровнем метаморфизма, прорваться через который нелегко, тем более что обычно древнейшие породы находятся в низах земной коры и даже для наблюдения доступны лишь в ограниченных точках земной поверхности. Таким образом, настоящая летописная геологическая история Земли известна с конца протерозоя — начала фанерозоя и охватывает около 1 млрд. лет, или примерно 20% времени существования планеты. История докембрия известна фрагментарно, и ее можно уподобить геологической археологии. Число фактов убывает и убывает, и о первом миллиарде лет существования Земли судят уже только по умозрительным заключениям.

Наиболее убедительные факты эволюционного развития известны по истории органического мира, где резко выражена морфологическая изменчивость организмов во времени. Если же рассматривать вопрос с функциональной стороны, то он становится менее ясным. Колебания состава наиболее подвижной и чувствительной оболочки — атмосферы — в течение фанерозоя не превышали одного порядка [4]. Возможно, изменилась кальциевая функция организмов в начале кембрия. Не понятен генезис железистых кварцитов протерозоя, связываемый некоторыми с понижением содержания кислорода в атмосфере. Явные следы биосферы отмечаются уже в породах с возрастом около 3,5 млрд. лет. В породах от современных до самых древних разница средних изотопных составов карбонатного и органического углерода постоянна [23]. Самый вопрос о появлении жизни в наблюдательной планетологии может ставиться лишь как вопрос об условиях появления биосферы в целом как самоорганизующейся системы, обеспечивающей возможность геохимической цикличности. В тектоническом развитии Земли наиболее важна смена овоидного типа тектоники на линейный, которая

произошла не позднее 2 млрд. лет назад, когда заложились наиболее древние из известных нам геосинклиналей.

Рассматривая историю Земли в целом, мы видим принципиально высокую устойчивость строения ее оболочек и постоянство динамических равновесий, которые определяют эту устойчивость в течение всего доступного наблюдению геологического времени. Колебания этого равновесия ни разу не дали такого признака, который указал бы на возможность принципиально иных условий пороодообразования или планетарных процессов, в корне отличных от современных. Климатические отличия в это время в принципе не выходили за пределы колебаний, наблюдаемых в разных регионах Земли в современную эпоху. Все физико-химические процессы образования пород проходили по одному типу, хотя вариации их интенсивности отмечаются многими исследователями. Это отнюдь не означает отрицания эволюционного развития земной коры или Земли в целом за геологическое время. Подчеркивается лишь то, что в планетарном масштабе изменение от гипотетического однородного состояния планеты до современного динамического равновесия ее оболочек произошло очень быстро, и по сравнению с этим изменением все последующие оказываются несоизмеримо малыми.

Возможно, такая устойчивость верхних оболочек (планетарного чехла) Земли объясняется тем, что они оказались зажатыми мощной буферизирующей системой — условиями окружающего космического пространства, определяемыми стабильностью Солнца, и практически неограниченным резервуаром мантии Земли. В течение всей геологической истории облик Земли определяется сходным динамическим равновесием между эндогенными и экзогенными процессами.

Разночтения по вопросу о стабильности или изменении геологических условий на Земле возникают главным образом из-за того, что разные специалисты подходят к одному и тому же явлению с мерками разного порядка. Так, явные геологические изменения в земной коре в планетарном масштабе неощутимы.

Если эволюцию Земли рассматривать не как простое чередование исторических событий, а как направленное изменение планетарных характеристик, то можно принять две системы взглядов на эволюцию земной коры. Согласно одной из них, неоднократно подчеркивавшейся В.И.Вернадским [5, 6, 7 и др.], оболочки Земли сложились в основном в догеологический период, а в последующее время происходила лишь незначительная перестройка этих оболочек. Согласно другой, развиваемой в работах А.П.Виноградова и его школы (например, [8, 22]), первично-гомогенная Земля непрерывно, вплоть до настоящего времени, перестраивается с непрерывным наращиванием коры, а кажущееся постоянство условий связано лишь с недостаточной чувствительностью методов наблюдения. Можно привести ряд фактов для обоснования как той, так и другой концепции, но общий уровень геологических знаний о первой половине истории Земли не позволяет сделать надежного вывода, так как оставляет слишком много места для произвольной экстраполяции.

Земля резко выделяется среди других планетных тел очень высокой интенсивностью всех процессов, доступных наблюдению, и их циклическим характером в большинстве проявлений. В этом отношении особенно важно изучение таких планетных тел, как Луна, Меркурий и Марс, на которых резко замедленные процессы изменения поверхности позволяют наблюдать самые ранние этапы их эволюции, что должно быть использовано для понимания древнейшей истории Земли.

По-видимому, можно определенно утверждать, что коренные основы строения планеты, которые предопределили все дальнейшее развитие — формирование ядра, мантии и коры с ее экзогенными процессами, были заложены на заре ее существования, а в течение геологической истории происходили изменения, которые в глобальном масштабе носят уже второстепенный характер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Барт Т.Ф.В.* Идеи о взаимоотношении осадочных и изверженных пород. — *Геохимия*, 1962, №4, с. 296–299.
2. *Ботт М.* Внутреннее строение Земли / Пер. Ю.С.Доброхотова; Под ред. Е.Ф.Саваренского. М.: Мир, 1974. 374 с.



3. Будыко М.И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 328 с.
4. Будыко М.И., Ронов А.Б. Эволюция химического состава атмосферы в фанерозое. — Геохимия, 1979, №5, с. 643–653.
5. Вернадский В.И. О геологических оболочках Земли как планеты. — Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., 1942, №6, с. 251–262.
6. Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5. 422 с.
7. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
8. Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 43 с.
9. Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник геохимика. М.: Недра, 1970. 278 с.
10. Глаголев Ю.А. Справочник по физическим параметрам атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 211 с.
11. Гутенберг Б. Физика земных недр / Пер. О.И.Силаевой, О.Г.Шаминой; Под ред. Ю.В.Ризниченко. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 264 с.
12. Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение / Пер. В.Я.Барласа, В.П.Жаркова, Е.А.Любимовой, Е.Н.Люстиха. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 486 с.
13. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1978. 192 с.
14. Каттерфельд Г.Н. Лик Земли. М.: Географ. изд-во, 1962. 152 с.
15. Каула У. Введение в физику планет земной группы / Пер. К.А.Любарского, Т.П.Медведева. М.: Мир, 1971. 536 с.
16. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 282 с.
17. Кондратьев К.Я. Метеорология планет. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 294 с.
18. Личков Б.Л. Природные воды Земли и литосфера. — Зап. Геогр. о-ва СССР. Нов. сер., 1960, т. 19, с. 1–164.
19. Личков Б.Л. К основам современной теории Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. 120 с.
20. Планета Земля / Пер. О.П.Крамер; Под ред. Д.Р.Бейтса. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 340 с.
21. Природа твердой Земли / Пер. Ю.П.Алешко-Ожевского, В.Я.Барласа; Под ред. Ю.Робертсона. М.: Мир, 1975. 276 с.
22. Ронов А.Б. Общие тенденции в эволюции состава земной коры, океана и атмосферы. — Геохимия, 1964, №8, с. 715–743.
23. Сидоренко А.В., Борщевский Ю.А. Общие тенденции в эволюции карбонатов в докембрии и фанерозое. — Докл. АН СССР, 1977, т. 234, №4, с. 892–894.
24. Солнечная активность и изменение климата / Пер. А.С. Чаплыгиной, Т.М.Мулярчик; Под ред. У.Фейрбриджа. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 370 с.
25. Химия нижней атмосферы / Пер. А.Г.Рябошапко, В.А.Попова; Под ред. С.Расула. М.: Мир, 1976. 408 с.
26. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 368 с.

27. Чтения памяти Льва Семеновича Берга, 1967–1971. Ритмичность природных явлений.: Сб. под ред. С.В.Калесника. Л.: Наука, 1973. 256 с.
28. Химический состав и радиоактивность атмосферы / Пер. В.Н.Петрова, А.Я.Прессмана; Под ред. Ю.А.Израэля. М.: Мир, 1965. 424 с.
29. *Ярошевский А.А.* Динамическая модель геохимического цикла. — В кн.: Разделение элементов в геохимических процессах. М.: Наука, 1979, с. 15–34.