

М. ГОРАИ

ЭВОЛЮЦИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ



地球の進化

——膨張する地球——

牛来 正夫 著

大月書店

М. ГОРАИ

ЭВОЛЮЦИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ

*Перевод с японского
Тен Хак Муна*

*Под редакцией
доктора геол.-мин. наук
И. К. Туезова*



МОСКВА "НЕДРА" 1984



4250

Горан М. Эволюция расширяющейся Земли. Пер. с япон. — М.: Недра, 1984, Пер. изд.: Япония, 1979. — 112 с.

На основе современных космогонических и планетологических теорий, а также новейшего материала о строении Луны, Марса и других планет Солнечной системы рассматриваются вопросы возникновения Земли и основные этапы ее формирования. Развитие континентов и океанов излагается с позиции гипотезы расширяющейся Земли с учетом последних геологических и геофизических данных. Специальный раздел посвящен критике теории тектоники плит и обоснованию механизма и причин расширения Земли.

Для геологов, геофизиков и планетологов. Может быть полезна студентам геологических специальностей вузов.

Табл. 12, ил. 82.

Рецензент: доктор геол.-мин. наук, проф. *И. К. Туезов* (ДВНЦ АН СССР)

著者◎ 牛来正夫

Г $\frac{1904030000-250}{043(01)-84}$ 61-84

© Перевод на русский язык, «Недра», 1984

Концепция о расширяющейся Вселенной известна достаточно широко. Предполагается, что расширение Вселенной началось 10 млрд. лет назад и продолжается в настоящее время. Эта гипотеза подтверждается многими современными данными о развитии космоса. Поэтому об этом пишут не только в научной литературе, но и в научно-популярных статьях, книгах, рассказывают по телевидению.

Однако к концепции расширяющейся Земли относятся с сомнением не только непосвященные люди, но и специалисты, изучающие или преподающие геологию. Это объясняется тем, что данному вопросу не уделяли и не уделяют до сих пор должного внимания, так как, по мнению большинства ученых, размеры и физические свойства Земли в течение всей ее истории оставались неизменными. Тем не менее, это предположение сформулировано априорно и научно не подтверждено.

До начала второй мировой войны число исследователей, выступавших за гипотезу расширения Земли, было незначительным, но с 1950 г. оно начало увеличиваться. В последнее время на эту тему уже опубликовано несколько работ. Однако, несмотря на это, число сторонников гипотезы расширения все же остается небольшим. В связи с этим автор, убежденный в ее правильности, считает, что для дальнейшего развития науки о Земле следует уделить внимание основным моментам этой концепции.

Таким образом, настоящая книга посвящена гипотезе эволюции Земли, имеющей в своей основе концепцию расширяющейся Земли. Прошло уже 30 лет с той поры, когда автор впервые проявил интерес к вопросу эволюции Земли. Прежде он не обращал должного внимания на эту концепцию и лишь несколько лет назад накопленные материалы геологических исследований навели его на мысль заняться этой проблемой.

В последнее время издавалось довольно много книг, касающихся эволюции или истории Земли, но ни в одной из них не рассматривалась эволюция Земли с позиции ее расширения.

Настоящая работа является одной из первых попыток такого рода, и автор будет рад, если она послужит импульсом в развитии данного направления исследований.

Книга состоит из пяти глав: 1) «Земля как планета», 2) «Земля как звезда, насыщенная водой в начальный период ее образования», 3) «Эволюция материков», 4) «Эволюция океанов», 5) «Расширение Земли».

В первых двух главах рассматриваются вопросы возникновения Земли (4,5—4,6 млрд. лет назад) и процесс ее формирования на протяжении последующих нескольких сотен миллионов лет. Эти представления основаны на гипотезах возникновения Галактики и Земли, разработанных за последние 10 лет, а также на полу-

ченных новых данных о строении Луны, Марса и других планет Солнечной системы.

В третьей и четвертой главах дается обзор истории развития континентов и океанов, основанный, с одной стороны, на материале двух предыдущих глав, с другой — на данных геологических исследований, накопленных к настоящему времени.

Во всех главах с первой по четвертую доминирует концепция расширения Земли, о чем говорилось выше.

В последней главе приводятся выводы, основанные на концепции расширения Земли, изложенной в предыдущих главах.

Настоящая книга представляет собой введение в теорию эволюции Земли. Если она вызовет определенный интерес у специалистов, изучающих Землю, то автор будет считать свою задачу выполненной.

В заключение хочу выразить благодарность редакции издательства «Оцуки», предоставившей мне возможность написать эту книгу.

1978 г.

Глава 1

ЗЕМЛЯ КАК ПЛАНЕТА

Солнечная система

Вопрос о рождении Земли означает ни что иное, как вопрос о происхождении Солнечной системы. За период от середины до конца XVIII в. появилось много гипотез, такие, например, как хорошо известные Канта — Лапласа о сжатии протяженной туманности, гипотеза Бюффона о столкновении и т. д. В нашем веке большую популярность получила гипотеза английского астронома Дж. Джинса об образовании планеты из огненного шара. Согласно этой гипотезе, при прохождении другой звезды возле Солнца возникла приливная сила, под действием которой в планетарное пространство вырвалось перегретое газообразное вещество Солнца. В результате его охлаждения сначала образовался сгусток горячей жидкости, а затем твердое тело, из которого впоследствии сформировались планеты Солнечной системы. Эта гипотеза господствовала в 1920—1930 гг. В конце второй мировой войны и сразу после ее окончания появились новые гипотезы: советского ученого О. Ю. Шмидта, немецкого астронома Видзеккера, американских исследователей Дж. Койзепера и Г. Юри. Если гипотеза Джинса основана на действии приливо-отливных сил, которые вряд ли могут возникать внутри системы Млечного пути, то последние базируются не на гипотезе случайности, а на позиции необходимости, т. е. предполагают возникновение обычной относительно неподвижной звезды в Галактической системе с дальнейшим ее развитием и образованием вокруг нее роя. Согласно этим взглядам, Солнце как система является не редкостью, а обычным явлением. По данным некоторых ученых, предполагается существование 10^9 систем подобных Солнечной в Галактике и 10^{18} во всем космосе. Отсюда следует, что и планеты, подобные Земле, также не являются редкостью ни в Галактике, ни во всем космосе.



О. Ю. Шмидт

Туманность первоначальной Солнечной системы

Современные гипотезы имеют определенные разногласия, но в них есть и общие точки зрения. Одна из них сводится к представлениям о том, что вокруг молодого Солнца формировались

пылевые агрегаты, находившиеся в сложном движении. Из них впоследствии образовались отдельные комочки, которые в результате укрупнения в дальнейшем превратились в самостоятельные планеты или спутники. Эту гипотезу можно назвать гипотезой космической пыли.

Чрезвычайно большую трудность представляет решение вопросов: в результате каких химических процессов произошло образование твердых гранул из туманности первичной Солнечной системы, по какому физическому механизму и сколько времени потребовалось для формирования укрупненного агрегата.

Таблица 1

Содержание элемента в составе Солнца		
Элементы	Солнце	Углистые хондриты
<i>Нелетучие элементы</i>		
Si	10,000	10,000
Al	690	850
Fe	2,500	9,000
Mg	7,400	10,000
Ca	600	720
Na	910	600
K	22	32
Mn	30	93
Ti	18	23
Ni	230	490
P	190	127
<i>Летучие элементы</i>		
H	4,8 · 10 ³	55,000
O	440,000	77,000
N	46,000	490
C	170,000	8,200
S	8,000	5,000
F	25	—
Cl	21	—

Хотя общепризнанная гипотеза и отсутствует, остановимся на теории уравновешенной конденсации и неравномерной концентрации, получившей развитие в течение последних десяти лет.

Вероятно, состав и порядок формирования твердых частиц из примитивной туманности определяются ее химическим составом, температурой и давлением внутри нее. Относительно состава твердых частиц имеются данные спектрального анализа Солнца и химического состава углистого хондрита, являющегося одним из разновидностей метеоритов (табл. 1). Из табл. 1 видно, что между Солнцем и метеоритами существуют различия по составу летучих элементов, но по нелетучим компонентам вместе с тем имеется большое сходство. Углистый хондрит представляет собой одну из

разновидностей метеоритов, поступающих на поверхность Земли, он отличается от обычного метеорного камня преобладающим составом гидратированных силикатных минералов, таких, как серпентин, и высоким содержанием углерода.

Исходя из сопоставления различных метеоритов и пород Луны, можно считать, что лишь углистый хондрит по наличию нелетучих элементов имеет наибольшее сходство с составом первичной туманности. Об общих особенностях метеоритов будет сказано в следующем разделе.

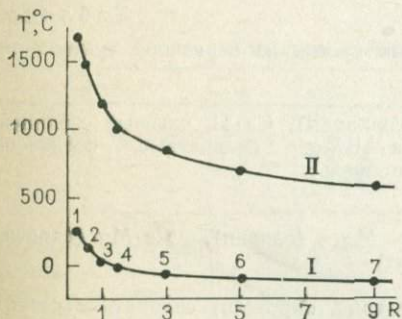


Рис. 1. Распространение температуры внутри Солнечной системы

I — современная эпоха. II — начальный период образования Солнечной системы. 1 — Меркурий, 2 — Венера, 3 — Земля, 4 — Марс, 5 — группа мелких планет, 6 — Юпитер, 7 — Сатурн. R — расстояние от Солнца в астрономических единицах.

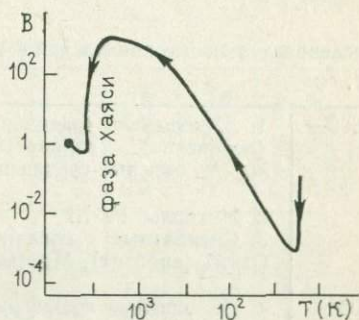


Рис. 2. Эволюция Солнца

Черная точка — Солнце в настоящее время; B — яркость Солнца (принята за 1), T (K) — температура поверхности туманности Солнца

Можно с уверенностью сказать, что давление внутри первичной туманности было сверхнизким и составляло, вероятно, 0,1—0,01 атм*. Температурные условия еще не выяснены. На рис. 1 приведена кривая изменения температуры в современной Солнечной системе, которая показывает, что температура вблизи орбиты Меркурия составляет несколько сотен градусов, вблизи орбиты Земли — несколько десятков, а на орбите Юпитера — минус 100 $^{\circ}\text{C}$. Сказанное относится к современному распределению температуры, и его нельзя переносить на первичную туманность. В течение сравнительно короткого промежутка времени — примерно через 100 тыс. лет после образования Солнца излучало в несколько сотен — тысяч раз больше света, чем в настоящее время, и в связи с этим температура внутри туманности была значительно выше, чем сейчас. Этот период носит название «фазы Хаяси» — по фамилии автора данной гипотезы (рис. 2). Кривая II на рис. 1 показывает распределение температуры, основанное на этой гипотезе. Согласно последней температура вблизи орбиты Земли составляла тысячу или несколько сотен градусов.

* В системе СИ 1 атм \approx 0,1 МПа. — Прим. ред.

Сторонники гипотезы космической пыли на основании теории химического равновесия проводят детальные исследования для выяснения вопроса о том, в какой последовательности происходило формирование (конденсация) различных по составу твердых частиц при охлаждении первичной туманности, имеющей, как показано на рис. 1, различное распределение температур.

В табл. 2 обобщены данные по конденсации твердых частиц из газообразной фазы при переходе из высокотемпературного состояния в условия низких температур. Для сопоставления приведе-

Таблица 2

Последовательность конденсации твердых частиц из первичной туманности
т, °С

1500—	1. Al окисные соединения (коландам), Ca·Ti, окисные соединения (перовскит), силикаты; Ca·Al·Mg, силикатные соединения, Mg·Al, окисные соединения (шпинель)
	2. Металлы, Fe·Ni
	3. Силикатные соединения: Mg (оливин), Ca·Mg (диопсид), Ca·Al (анортит), Mg (энстатит)
1000—	4. Fe, окисные соединения (оливин, пироксен) силикатные соединения Na·K·Al, силикатные соединения (щелочной полевой шпат), Sr, окисленные соединения (эсхолит)
	5. Fe, сульфиды (троилит)
500—	6. Ca·Mg·Fe, гидратированные силикаты (амфибол), Mg·Fe, гидратированные силикаты (серпентин), Fe, окисные соединения (магнетит)
0—	7. Конденсация H ₂ O (лед)
	8. NH ₃ ·H ₂ O, Ar, CH ₄
	9. Ne, H

ны названия минералов (заключены в скобки), соответствующих компонентам, которые обнаруживаются в породах Земли и метеоритах.

В сравнительно недалеком от Солнца высокотемпературном пространстве из веществ, обозначенных цифрами 1 и 4—6 в табл. 2, происходила концентрация твердых частиц и конгломератов, из которых затем формировались Меркурий, Венера, Земля, Марс и другие планеты этого типа. В низкотемпературном же, удаленном от Солнца пространстве концентрировались вещества, указанные в пунктах 5—9 этой таблицы, в результате чего образовались Юпитер, Сатурн и другие сходные с ними планеты. Как показано в табл. 3, планеты земного типа характеризуются обычно небольшими размерами и высокой плотностью. Большие планеты имеют противоположные свойства, что связано с различными температурными условиями и различными условиями конденсации и концентрации вещества при их формировании. Кроме того, между орбитами Марса и Юпитера, как известно, находится более тысячи мелких планет, которые по вещественному составу близки к составу Луны и Земли.

На рис. 3 показана зависимость между плотностью планет типа Земли и Луны и их объемом. Здесь представлены два значе- ния плотности: фактическое и расчетное при давлении 10 тыс. атм. Как видно из этого рисунка, за исключением Меркурия, находя- щегося на самом близком расстоянии от Солнца, между размера- ми и плотностью планет земного типа существует определенная связь: чем больше объем, тем выше плотность планеты, но при равном давлении плотность, независимо от объема, оказывается почти одинаковой. Это свидетельствует о сходном вещественном

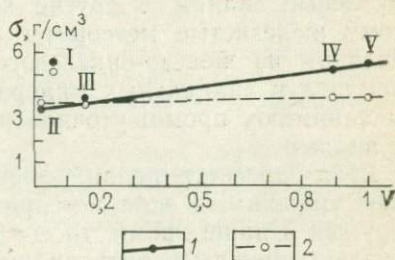
Таблица 3

Свойство планет Солнечной системы

Тип	Название	Радиус эква- тора (км)	Объем (для Земли он при- нят за еди- ницу)	Масса	Средняя плотность	Сила тяже- сти на эква- торе	Отражающая способность	Период вра- щения отно- сительно не- подвижной звезды	Количество спутников
Планеты земного типа	Меркурий	2,440	0,056	0,055	5,41	0,38	0,06	58,646	—
	Венера	6,056	0,857	0,815	5,24	0,90	0,85	242,98	—
	Земля	6,378	1,000	1,000	5,52	1,00	0,40	0,9973	1
	Марс	3,390	0,150	0,107	3,94	0,38	0,15	1,0260	2
Большие планеты типа Юпитер	Юпитер	71,400	1,320	317,904	1,33	2,54	0,58	0,4137	14
	Сатурн	60,400	770	95,09	0,68	1,06	0,57	0,4264	10
	Сириус	23,700	49	14,559	1,7	1,05	0,80	0,4507	5
	Нептун	25,110	60	17,239	1,6	1,11	0,71	0,5302	2
	Плутон	3,400	0,2 (?)	0,18	6,7 (?)	0,6 (?)	0,15	6,3876	—

Рис. 3. Зависимость между объемом и плотностью планет земного типа и Луны

1 — фактическая плотность; 2 — расчетные значения плотности при давлении 10 тыс. атм. I — Меркурий, II — Луна, III — Марс, IV — Венера, V — Земля (объем принят за еди- ницу)



составе планет типа Земля и Луна. Повышение плотности по мере увеличения объема вызывается сжатием внутренних частей планеты. Думается, что это обстоятельство связано с металлизацией вещества глубинных частей Земли.

Прежде чем перейти к детальному рассмотрению вопроса о происхождении Земли, кратко остановимся на составе метеоритов и внутреннем строении современной Земли.

Метеориты

До того как появилась возможность получить образцы горных пород с Луны, метеориты представляли собой единственно возможные небесные тела, вещественный анализ которых можно было провести на Земле. В связи с этим издавна метеориты служили предметом исследований как специалистов, так и любителей. В результате этого, особенно в послевоенные годы, стало выясняться происхождение планет Солнечной системы и их спутников, а также их связь с метеоритами.

Разновидности метеоритов. Издавна метеориты делили на три типа: каменные, каменно-железистые и железистые.

Таблица 4

Встречаемость различных видов метеоритов

Метеориты	Упавшие метеориты	Обнаруженные метеориты
Железистые	42 (6%)	503 (59%)
Каменно-железистые	12 (2%)	55 (6%)
Каменные	628 (92%)	304 (35%)
Всего	682	862

Каменные метеориты представлены в основном магниевым оливином, авгитом, плагиоклазом и другими силикатными минералами. Они содержат до 20% железо-никелевого сплава, сульфидно-железа (троилита) и других минералов и соответствуют встречающемуся на Земле перидотиту, в который добавлены железо-никелевые сплавы и другие компоненты. В противоположность этому железистые метеориты (или метеорное железо) состоят в основном из железо-никелевого сплава и небольшого количества троилита и силикатных минералов. Каменно-железистые метеориты занимают промежуточное положение между вышеописанными их видами.

Если зарегистрирован момент падения метеорита, то его называют упавшим, а если метеорит упал на Землю в прошлом и обнаружен в наше время, то его называют обнаруженным. В табл. 4 показаны группы и разновидности метеоритов. Из таблицы видно, что в группе упавших метеоритов подавляющую часть составляют каменные, а в группе обнаруженных, наоборот, больше железистых метеоритов. Это объясняется действием процессов выветривания в течение длительного геологического времени каменных составляющих метеоритов и постепенным превращением их таким образом в метеорное железо. По этой причине при рассмотрении вопросов о метеоритах в качестве стандарта следует остановиться на упавших метеоритах. В табл. 4 общее количество раз-

личных видов метеоритов составляет около 1600, но фактически их число должно быть значительно больше, так как многие метеориты при прохождении атмосферы разлетаются на многочисленные осколки, каждый из которых затем представляет собой самостоятельный метеорит.

Следует отметить, что табл. 4 составлена довольно давно и, естественно, в нее вошли данные о метеоритах, найденных позднее. В последнее время в районе южного полюса обнаружено более 1000 метеоритов и, следовательно, табл. 4 требует соответствующей поправки.

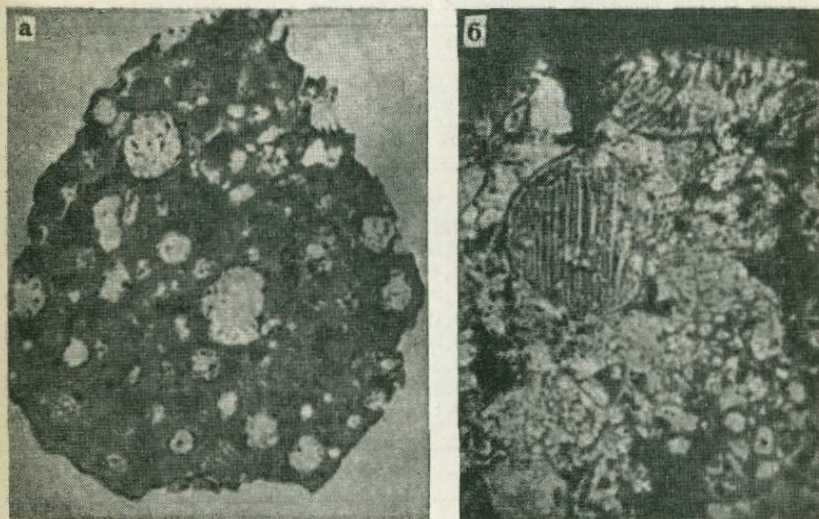


Рис. 4. Метеориты: а — углистый хондрит (II тип, николи нескрещенные), на темном фоне серпентиподобного минерала видны хондритовые точки оливина и пироксена; б — метеорит Кисена (перидотит-бронзитовый хондрит, николи нескрещенные).

12 июня 1850 г. в дер. Кисен префектуры Иватэ упал крупнейший в Японии каменный метеорит массой около 135 кг (находится в Государственном научном музее). На фоне перидотита и пироксена (белый цвет) и никель-железистого троилита (темный цвет), а также стекла обнаруживается хондрит из перидотита и пироксена в виде отдельных пятен; местами отмечается туфообразная структура без признаков термального метаморфизма

Хондриты. Из всех метеоритов наиболее важными являются каменные, которые делятся на хондриты и ахондриты. Хондриты содержат оливин, авгит и хондру, отсутствующие в ахондритах. Количество хондритов в каменных метеоритах достигает 90% (рис. 4). По химическому и минеральному составу хондриты подразделяются на пять разновидностей: 1) углистые (I, II и III типы), 2) амфотеритные, 3) оливин-авгитовые, 4) оливин-бронзитовые, 5) энстатитовые.

В табл. 5 приведен средний химический состав этих разновид-

ностей хондрита. Угlistые хондриты (I и II типы) содержат достаточно большое количество воды (как гидратированные силикаты) и органического вещества и поэтому в таблице приведены значения химического состава с вычетом упомянутых компонентов. Из данных таблицы легко можно заметить, что между содержанием окиси железа (в составе оливина и авгита) и количеством металлического железа (в составе железо-никелевых сплавов) существует обратная зависимость. Это указывает на различную степень окисления и восстановления железа при формировании метеоритов.

Таблица 5

Средний состав основных химических компонентов в различных видах хондритов

Окислы	Угlistый хондрит					Оливин-гиперстеновый хондрит	Оливин-бронзитовый хондрит	Энстатитовый хондрит
	Тип I	Тип II	I тип без учета H ₂ O и IL	II тип без учета H ₂ O и IL	Тип III оливин-пигонитовый			
SiO ₂	21,88	26,74	29,10	31,29	33,75	39,64	36,13	36,90
TiO ₂	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,15	0,14	0,08
Al ₂ O ₃	1,68	2,26	2,23	2,64	2,75	2,71	2,64	2,02
Cr ₂ O ₃	0,26	0,38	0,35	0,44	0,56	0,53	0,52	0,39
FeO	23,11	26,80	30,74	31,36	24,73	13,20	8,90	0,19
MnO	0,18	0,16	0,24	0,19	0,28	0,29	0,30	0,12
MgO	15,95	20,47	21,21	23,95	23,36	24,68	23,56	19,84
CaO	1,44	1,99	1,92	2,33	2,84	1,77	1,71	1,94
N ₂ O	0,73	0,50	0,97	0,59	0,59	0,85	0,85	0,97
K ₂ O	0,07	0,10	0,09	0,12	0,13	0,16	0,15	0,20
P ₂ O ₃	0,26	0,26	0,35	1,30	0,32	0,24	0,23	0,26
Сумма	65,74	79,76	—	—	89,43	84,22	75,13	62,91
FeS	—	—	—	—	5,83	6,45	5,62	10,99
S	5,77	3,03	7,67	3,55	—	—	—	—
Fe	—	—	—	—	2,37	7,81	17,14	23,40
Ni	—	—	—	—	1,09	1,17	1,69	1,80
Co	—	—	—	—	0,06	0,07	0,07	0,10
C	3,43	2,39	4,56	2,80	0,39	Следы	Следы	0,28
H ₂ O	20,08	13,16	—	—	0,72	0,25	0,38	0,56
IL*	5,53	1,80	—	—	—	—	—	—
Общая сумма	100,55	100,52			99,90	99,97	100,03	100,04

* Преимущественно органические вещества.

Рассмотренная зависимость показана на рис. 5, из которого видно различие между метеоритами и по валовому содержанию железа. По этому показателю хондриты в возрастающем порядке располагаются следующим образом: тип LL (амфотеритовый), тип L (оливин-гиперстеновый), тип C (угlistый), тип H (оливин-бронзитовый), тип E (энстатитовый).

Число обнаруженных углистых хондритов небольшое, но во многих отношениях эти метеориты являются весьма важными.

Тип I (C1) в основном состоит из порошковидных гидратированных силикатных соединений (один из видов серпентинитов), содержит большое количество воды и несколько процентов серы и углерода. Часть последнего находится в аморфном состоянии, а другая соединена с водородом и кислородом, образуя некоторые виды углеводородных соединений и органической кислоты. Из этого следует, что указанный вид метеоритов образовался в условиях низких температур — не более 200—300 °С.

Как уже отмечалось, по химическому составу этот тип метеоритов имеет сходство с Солнцем и на этом основании можно думать, что из всех веществ, составляющих планеты, спутники и некоторые виды метеоритов, указанный тип оказывается наиболее примитивным. Заслуживает внимания наличие в нем различных органических соединений, так как это может иметь определенную связь с зарождением жизни.

Тип II (C2), кроме основного компонента типа I, содержит включения оливнинового и авгитового хондритов. Эти метеориты представляют большой интерес, так как состоят из основания, образующегося при низких температурах, оливина и авгита, формирующихся при высоких температурах, превышающих 1000 °С.

Тип III (C3) почти не содержит гидратированных продуктов и состоит из силикатных минералов, таких, как оливин и авгит, а также нескольких процентов железа и никеля. Присутствует 1 % углерода. Его называют иногда оливин-пижонитовым хондритом. Большую известность приобрел недавно упавший в Мексике метеорит этого типа (метеорит Альенде), так как в нем впервые обнаружены окисные и силикатные минералы алюминия, кальция и титана, хотя ранее теоретически их наличие предсказывалось. Эти сведения имеют важное значение не только для астролитографии, но и для объяснения гипотезы происхождения Солнечной системы и Земли, а также для разрешения одной из важных проблем, связанных с соотношением кислородного изотопа.

Оливин-авгитовые и оливин-бронзитовые хондриты объединя-

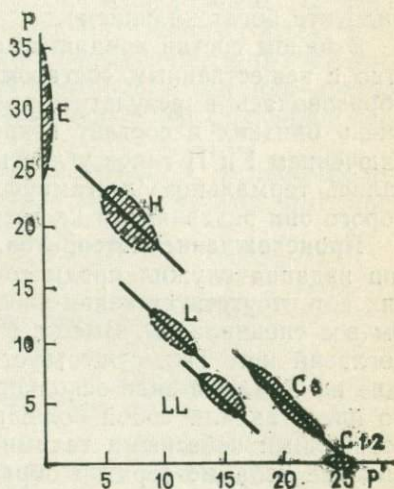


Рис. 5. Окислительно-восстановительный характер железа в различных видах хондрита

P — масса железа (в % в металлической и сульфатной фазах), P' — масса FeO (в %), E — энстатитовый хондрит, H — оливин-бронзитовый хондрит, L — оливин-гиперстенный хондрит, LL — амфотеритовый хондрит, C1, 2 — углистый хондрит (I и II типы), C3 — то же, (III тип)

ются в один тип под общим названием обычного хондрита. Основными компонентами являются магниевые оливин и авгит, в меньшем количестве содержатся силикатные минералы, такие, как плагиоклазы, а также несколько процентов троилита и 10—20% железо-никелевого сплава.

Оставшаяся часть троилита и железо-никелевого сплава (силикатная доля) напоминает ультраосновные породы Земли типа перидотита. Так, сравнительно высокое содержание натрия в составе плагиоклаза (подобно олигоклазу) является одной из отличительных черт рассматриваемого хондрита (плагиоклаз внутри перидотита богат кальцием).

В целом состав хондритов обычного типа имеет большое сходство с вещественным составом Земли. Можно думать, что Земля образовалась в результате концентрации первичных веществ, очень близких к составу современной Земли. Кроме того, за исключением I и II типов углистых хондритов, все остальные подвергались термальному метаморфизму, в зависимости от степени которого они разделяются на четыре рассмотренных группы.

Происхождение метеоритов. Вопрос о происхождении метеоритов издавна служил предметом всестороннего обсуждения, но до сих пор отсутствует какая-либо гипотеза, которой придерживались бы все специалисты. Вместе с тем по основным положениям разногласий нет. Так, существует мнение, что метеориты, поступающие на Землю в виде осколков различных размеров, первоначально представляли собой большие конгломераты. Их называют материнскими небесными телами. Однако нельзя считать, что материнские тела метеоритов образовались в результате конденсации твердых частиц из первичной туманности. Скорее всего, образующая таким образом глыба могла раскалываться в результате неоднократных столкновений и вторично подвергаться концентрации.

Следующая проблема — пространство, из которого поступают метеориты. Вероятно, оно находится вблизи орбиты группы малых планет, о чем свидетельствуют результаты точного определения траектории падения метеоритов. Другими словами, источником метеоритов является малопланетная группировка, а материнским небесным телом — одна из разновидностей малых планет.

Ранее существовала гипотеза о том, что малые планеты и материнские тела метеоритов являются продуктами разрушения небольшого количества крупных тел, таких, как Луна. Если принять эту гипотезу, то число гигантских небесных тел в прошлом должно было быть весьма значительным. Сказанное подтверждается и результатами детальных исследований соотношения изотопов кислорода в различных метеоритах, а также в горных породах Луны и Земли.

Метеориты, Луна и Земля с точки зрения соотношения изотопов кислорода. Кислород имеет три изотопа — O^{16} , O^{17} , O^{18} . Из них наиболее распространен изотоп O^{16} . Соотношение изотопов O^{17}/O^{18} характеризуется весьма ничтожной величиной, но варьирует в зависимости от вида вещества и издавна используется для опреде-

ления свойств химического равновесия и температурных условий формирования вещества. Посредством этого свойства определяется температура морской воды в прошлые геологические периоды и во время формирования метаморфических и магматических пород.

В последнее время в связи с развитием измерительной техники стало возможным определение значения O^{17}/O^{16} , что позволило выявить очень важные факты. Например, установлено, что различия в соотношении изотопов кислорода в Земле и других планетах Солнечной системы, а также в метеоритах нельзя объяснить исходя только из двух вышеприведенных причин: свойств химического равновесия и температурных условий. По-видимому, они обусловлены также изменением соотношения изотопов в том или другом участках материнского тела (туманность первичной Солнечной системы).

Кроме того, соотношение изотопов кислорода в различных веществах выражается в виде отклонений ($\sigma O^{18}, O^{17}$) от стандартной величины, отмечаемой в морской воде:

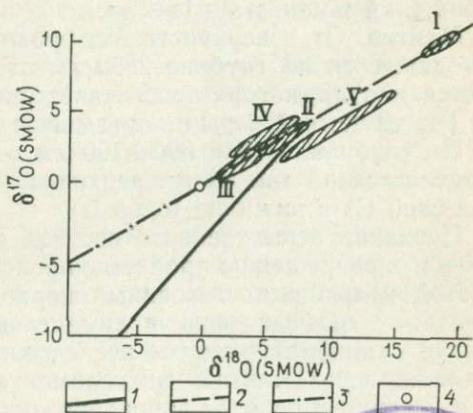
$$\sigma O^{18} = \frac{O^{18}/O^{16} \text{ (образец)}}{O^{18}/O^{16} \text{ (стандартная морская вода)}} - 1 \times 1000\%$$

$$\sigma O^{17} = \frac{O^{17}/O^{16} \text{ (образец)}}{O^{17}/O^{16} \text{ (стандартная морская вода)}} - 1 \times 1000\%$$

На основании предполагаемого различия соотношения изотопов кислорода в период образования планет типа Земля, Луна и метеоритов последние делятся на следующие группы (рис. 6):

Рис. 6. Соотношение изотопов кислорода в породах Земли, Луны и метеоритах

1 — значения $\delta O^{17}/\delta O^{18}$ в нелетучих высокотермальных минералах (шерицит, пироксен, шпинель и др.), составляющие около 1,0 (это указывает на смешение веществ, резко различающихся соотношением изотопов кислорода); 2 — соотношение изотопов кислорода в породах и минералах Земли; 3 — то же, в воде и льде; 4 — среднее соотношение изотопов в морской воде. I — углистый хондрит; II — породы и минералы Луны; III — ахондриты и железистые метеориты; IV — хондриты типов HL, LL (хондриты обычного типа); V — гидратированные силикатные минералы, составляющие основу углистого хондрита (соотношение изотопов $\delta O^{17}/\delta O^{18}$ во всех случаях равняется примерно 0,5 и определяется фракционированием изотопов в различных химических процессах, при испарении и конденсации)



группа I — Земля, Луна, углистые хондриты (тип I), эвстатитовые хондриты, метеорное железо, ахондриты,



группа II—оливин-бронзитовые хондриты,
группа III—амфотеритовые хондриты, оливин-гиперстеновые хондриты,

группа IV—негидратированные минералы: оливин, авгит, окисные и силикатные соединения кальция, алюминия, титана в составе углистых хондритов (типы II и III),

группа V—гидратированные силикатные минералы, составляющие основу углистых хондритов (типы II и III),

группа VI—часть ахондритов (уреилит).

На основании этих данных установлены близкие отношения Луны и Земли, что представляется весьма важным. Заслуживает внимания и тот факт, что углистый хондрит, являющийся наиболее древним из минералов всех небесных тел Солнечной системы, имеет близкую связь с Землей и Луной.

Возможность отличия метеоритов по характеру соотношений кислородных изотопов может свидетельствовать о том, что число материнских небесных тел составляло шесть и, возможно, более.

Внутреннее строение Земли

От поверхности Земли к ее центру выделяются несколько слоев различной мощности, плотность которых увеличивается с глубиной (рис. 7). Переход от одного слоя к другому не постепенный, а резкий. Самый верхний слой Земли (слой А) называется земной корой. Ее мощность под континентами составляет 30—40 км, под океанами 5—10 км. Относительно радиуса земного шара это весьма малая величина. Земная кора состоит из тех же пород, которые встречаются на земной поверхности. От верхней мантии она отделяется границей Мохоровичича, которая представляет собой слой мощностью 1—2 км.

Мантия. От поверхности Мохоровичича до раздела Гутенберга, находящегося на глубине 2900 км от поверхности Земли, простирается мантия, которая составляет около 70% от всей массы Земли (масса земной коры не превышает 1% от массы Земли).

На глубинах 400 и 600—700 км от поверхности Земли мантия разделяется на три части: верхнюю (слой В), среднюю (переходный слой С) и нижнюю (слой D).

Познание вещественного состава и строения мантии является ключом к разрешению проблемы происхождения и эволюции Земли. С этой целью в послевоенный период стали проводиться многочисленные геофизические и химические исследования. Из них наиболее важными являются исследования сейсмических волн, проходящих через мантию, экспериментальное изучение равновесного состояния и свойств породообразующих минералов под влиянием таких контролирующих факторов, как высокие температуры и давление. К настоящему времени все эти сведения обобщены: некоторые из них указаны на рис. 8.

Основными минералами, составляющими верхнюю часть мантии, являются оливин и авгит, богатые магнием, в небольшом ко-

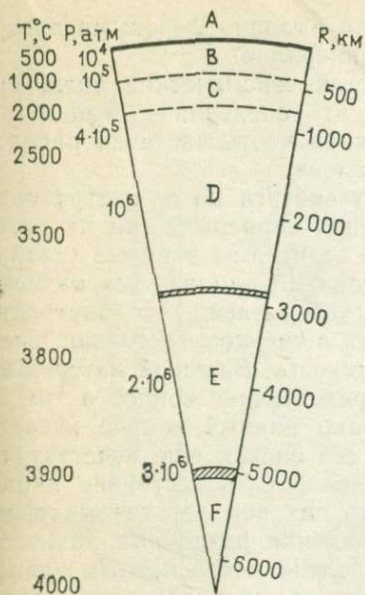
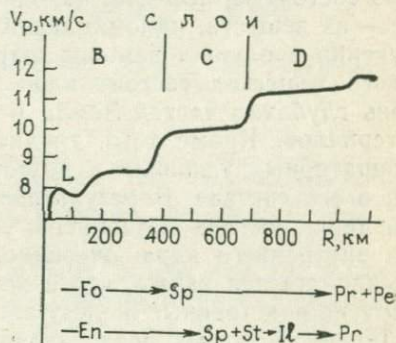


Рис. 7. Внутреннее строение Земли: А — земная кора, В — верхняя мантия, С — средняя мантия, D — нижняя мантия, Е — внешнее ядро, F — внутреннее ядро

Рис. 8. Фазовые переходы минералов внутри мантии

Fo — магниевый оливин (Mg_2SiO_4), Sp — минерал типа шпинели, Pr — минерал типа перовскита ($MgSiO_3$), Pe — периклаз (MgO), En — магниевый пироксен ($MgSiO_3$), Il — минерал типа ильменита, St — стишовит (SiO_2), L — низкоскоростной слой. В, С, D — слой верхней мантии



личестве представлены плагиоклаз, шпинель, гранат, иногда роговая обманка, слюда и гидратированные силикатные минералы (оливин-авгитового типа). По составу верхняя часть мантии сильно напоминает силикатную фракцию хондритов.

На глубине около 400 км и более от поверхности Земли под влиянием высокого давления оливин становится неустойчивым и превращается в другой минерал с более высокой плотностью типа шпинели с сохранением того же химического состава, но с измененными кристаллической структурой и физическими свойствами.

На глубине около 600 км и более под действием высокого давления непрочным становится и авгит, который разлагается на минерал шпинелевого типа и стишовит (высокоплотный кварц). В более глубоких слоях Земли минералы шпинелевого типа становятся также неустойчивыми, вступают в реакцию со стишовитом и превращаются в высокоплотные минералы с составом, одинаковым с авгитом (ильменитовый и перовскитовый типы минералов). Следовательно, в нижней части мантии и минералы шпинелевого типа, образованные из оливина, подвергаются распаду вследствие их неустойчивости, и из них образуются минералы перовскитового типа и периклаз (окисленный магний).

Деление мантии на три части связано не с различиями в хи-

мическом составе каждого из слоев, а вызвано фазовыми превращениями оливина, авгита и других минералов.

На основании изучения особенностей сейсмических волн, проходящих мантию, можно полагать, что последняя находится в твердом состоянии, и только ее верхняя часть частично расплавлена и называется низкоскоростным слоем.

Ядро. Часть Земли от раздела Гутенберга до ее центра называется ядром. Поверхностью нарушения непрерывности на глубине 5000 км от поверхности Земли оно делится на внешнее (слой D) и внутреннее (слой E) ядра. На основании анализа сейсмических волн, проходящих через эти слои, установлено, что внутреннее ядро состоит из веществ, находящихся в твердом состоянии, внешнее — из веществ, напоминающих жидкость. Большой интерес при изучении эволюции земного шара представляет вопрос о том, из какого вещества состоит ядро. Однако данный вопрос касается очень глубоких частей Земли и для его оценки еще недостаточно материалов. Кроме того, трудно моделировать состояние ядра в лабораторных условиях и поэтому до сих пор нет точных сведений о его составе. В результате обобщения различных данных, в том числе состава метеоритов, установлено, что основным элементом внутреннего ядра, очевидно, является металлическое железо. Предполагается также, что в нем, кроме того, содержатся никель и другие родственные железу элементы.

Более сложным представляется состав внешнего ядра. Если считать, что оно состоит из железа и никеля, находящихся в жидком состоянии, то его плотность должна быть выше, чем фактическое ее значение, определенное на основании скоростей распространения сейсмических волн. В связи с этим некоторые ученые предполагают наличие в наружном ядре некоторого количества кремния, а в последнее время многие утверждают содержание в нем до 10% серы. В этом случае плотность ядра становится меньше, чем такого же ядра, состоящего из чистых железа и никеля. Это придает ему свойства жидкости, так как в присутствии серы образуется сульфид железа, точка плавления которого ниже, чем точка плавления чистых железа и никеля.

Выше излагалось основное содержание современных представлений о составе ядра. Однако автор придерживается несколько иного мнения. Особенно это относится к строению наружного ядра. По его мнению, в последнем в довольно большом количестве содержатся магний, кремний и кислород. Кроме того, в его составе могут быть минералы перовскитового типа, магниевые силикаты, составляющие нижнюю часть мантии, и компоненты, соответствующие периклазу.

Вышеперечисленные компоненты, очевидно, находятся в состоянии не простой ионной связи, а в металлизированном состоянии вследствие сверхвысокого давления, достигающего 1 млн. атм, при котором часть электронной оболочки атома кислорода превращается в свободный электрон, и атом в связи с этим как бы вырождается. Однако это предположение, и его трудно доказать тео-

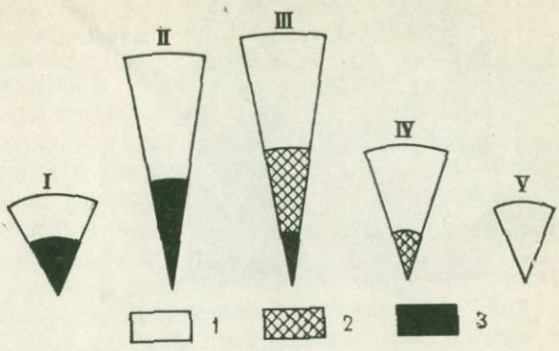
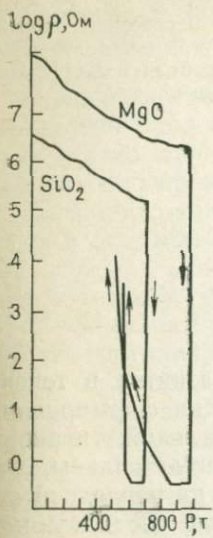


Рис. 9. Металлизация MgO и SiO_2 под влиянием сверхвысокого давления

Рис. 10. Внутреннее строение планет Земного типа
 1 — мантия; 2 — внешнее ядро (сульфиды железа); 3 — внутреннее ядро (металлическое железо). I — Меркурий, II — Венера, III — Земля, IV — Марс, V — Луна

ретически или экспериментально. Вместе с тем оно не является пустой выдумкой, так как есть сообщение Каваи (университет в Осаке) о том, что экспериментальным путем в условиях сверхвысокого давления им достигнута металлизация окисного магния и железа, а также силикатов. При нагрузке около 1000 т для MgO и 700 т для SiO_2 вследствие металлизации резко снижается их электрическое сопротивление (рис. 9). Фактически этот вопрос имеет тесную связь с проблемой «расширения земного шара» и поэтому вернемся к нему еще раз в главе 5.

На рис. 10 изображена модель внутреннего строения других планет земного типа (ядро и мантия). Остановимся на вопросе о происхождении Земли.

Зарождение Земли

Как излагалось выше, Земля состоит из веществ, образующихся в условиях высоких (тысячи градусов) и средних (около $300^\circ C$) температур из окисных и силикатных соединений алюминия, кальция и титана, силикатных минералов, обогащенных железом, никелем, магнием, алюмосиликатов калия и натрия, сульфидов железа и других гидратированных силикатов. Издавна известно, что большинство перечисленных минералов составляет различные виды метеоритов, но лишь в последнее время стало ясно, что предполагаемые окисные соединения алюминия, кальция, титана и силикатные минералы, обнаруженные внутри некоторых видов углистых хондритов, заслуживают большого внимания (рис. 11).

Гипотезы неравномерной и равномерной концентрации. Данные гипотезы, согласно которым конденсация и концентрация веществ

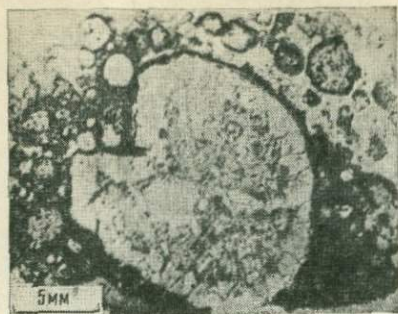


Рис. 11. Белые включения, состоящие из моноклинного пироксена, анортита, шпинели и др., внутри метеорита Альенде (углистый хондрит, III тип), несре-щенные николи

происходили почти одновременно, получили развитие в течение последних 10 лет. На сравнительно ранней стадии формирования Земли концентрации подвергались алюминий, кальций, титановые окисные соединения и силикаты, железо-никелевые сплавы, магниевые и другие силикаты, сульфиды железа и на последней стадии — гидратированные силикаты и гидроокисные соединения.

Наличие перечисленных веществ предполагается в ядре и мантии современной Земли, и они, по-видимому, сформировались уже в начальный период ее образования. На основании этого предположения была создана гипотеза неравномерной концентрации. Ее называют также гипотезой высокотемпературной концентрации, так как последняя происходила при высокой температуре, равной несколькими тысячам градусов.

Однако есть и возражение, основанное на предположении о том, что концентрация началась после образования различных видов твердых частиц, составивших в будущем Землю. Вокруг этих частиц происходило постепенное накопление однородно смешанных веществ. Согласно этой гипотезе в начальный период образования Земли еще не было таких крупных неоднородностей, как ядро и мантия. Поэтому ее называют гипотезой равномерной или низкотемпературной концентрации, так как формирование Земли по этой гипотезе, начиналось при температуре около 300° и ниже. Эта гипо-

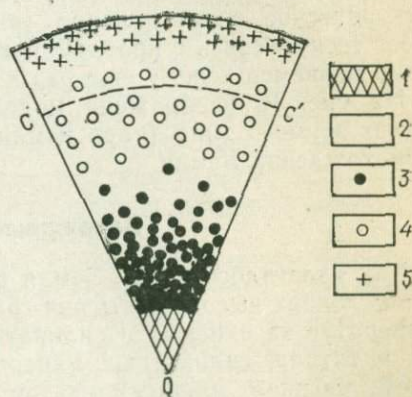


Рис. 12. Модель внутреннего строения Земли в начальный период ее формирования

1 — соединения оксидов Ca, Al и Ti, силикаты; 2 — магниевые и другие силикатные и окисные соединения (под линией CC' происходят процессы металлизации); 3 — металлические Fe и Ni; 4 — сульфиды железа; 5 — гидратированные силикатные соединения. Сектор COC' — первичное ядро, над ним — первичная мантия (радиус Земли около 4900 км)

теза господствовала примерно с 1950 до 1960 г. Впоследствии большее распространение получила гипотеза неравномерной концентрации.

В зависимости от выбора упомянутых гипотез различается и объяснение процесса эволюции Земли. Так, согласно представлениям о равномерной концентрации, дифференциация Земли на ядро и мантию происходила в результате плавления внутренних частей Земли в сравнительно ранний период ее формирования и осаднения в центральную часть тяжелых веществ вместе с металлическим железом. Однако гипотеза неравномерной концентрации отрицает возможность глобальной дифференциации вещества Земли.

Гипотеза автора. Автор придерживается гипотезы неравномерной концентрации. Исходя из этой предпосылки рассмотрим проблему эволюции Земли.

Если считать, что действительно имела место концентрация окисных соединений алюминия, кальция, титана и силикатов, то трудно согласиться с возможностью последующей концентрации железо-никелевого сплава и магниевых силикатов, которая затем привела к формированию первичного ядра и мантии. Основанием к последнему служит небольшое различие между вышеприведенными группами веществ по температуре конденсации из первичных туманностей, которая составляет всего несколько десятков градусов (см. табл. 2). Если принять это положение, то следует, что сразу же после начала конденсации и концентрации железа и никеля в эти процессы вовлекались и магниевые силикаты, а чуть позже — сульфиды железа. На завершающей стадии конденсировались гидратированные силикатные соединения, что привело к окончательному формированию Земли. Когда Земля почти сформировалась, на какой-то глубине магниевые силикаты (возможно, и окисные соединения) под сверхвысоким давлением подвергались металлизации и вместе с металлическим железом и никелем образовали первичное ядро Земли (рис. 12).

Что же означает понятие: «завершение формирования Земли»? Обычно подразумевают период, когда она приобрела современные размеры и массу. Но автор придерживается другого мнения, так как стоит на позициях гипотезы расширяющейся Земли. Завершением формирования Земли он считает время, когда ее масса достигла современной, однако размеры были меньшими. По мнению автора, диаметр Земли на ранних стадиях ее развития был меньше современного на 1500 км, а диаметр ядра, наоборот, больше на сотни километров. На рис. 75 схематично изображена эта идея.

ЗЕМЛЯ КАК ЗВЕЗДА, НАСЫЩЕННАЯ ВОДОЙ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ

Температура внутренних частей Земли

К изучению процесса эволюции Земли автор подходит исходя из частично измененной гипотезы неоднородной концентрации и гипотезы расширения Земли. Прежде всего остановимся на том, что происходило внутри Земли в период от 4,5—4,6 млрд. лет до нескольких сотен миллионов лет назад, когда формировались Земля, Луна и другие планеты земной группы. Одним из основных факторов, определявших тот или иной процесс в этот период, являлась высокая температура во внутренних частях Земли.

Источник тепла. Температура внутренних частей Земли в начальный период ее образования была, очевидно, ниже, чем в последующие этапы ее развития, так как при столкновении твердых частиц с поверхностью Земли выделялось тепло, частично поглощавшееся Землей. Степень нагрева Земли связана с продолжительностью концентрации твердых частиц или, иначе говоря, с продолжительностью формирования Земли. Если это время было относительно небольшим (от десятков тысяч до сотен тысяч лет), то большая часть тепла, образовавшегося при столкновении твердых частиц с поверхностью Земли, должна была аккумулироваться во внутренних частях Земли, а если оно было более длительным (от десятков до сотен миллионов лет), то большая часть тепла могла рассеяться в космическом пространстве.

Рассматриваемая проблема связана с механизмом концентрации твердых веществ, которая еще не изучена в достаточной степени, и поэтому вопрос о возрастании температуры внутри Земли также до конца еще не выяснен.

Вышеизложенное основывается на предположении о том, что атмосфера, покрывавшая первичную Землю, была разреженной. Но в последнее время появились гипотезы, предполагавшие наличие у первичной Земли плотной атмосферы с преимущественным содержанием водорода, которая обладала теплоизоляционным эффектом. В таких условиях тепло столкновения сохраняется долго, даже если концентрация твердых веществ (формирование Земли) продолжалась в течение 100 млн. лет. Но данное представление требует дальнейшей проверки.

Источником тепла является и сжатие веществ во внутренних частях Земли. Другими словами, под влиянием давления сверху вещества внутренних частей уплотняются, в результате чего выделяется тепло. Считают, что под влиянием этого тепла температура внутренних частей Земли может повышаться на несколько сотен градусов.

Источником тепла является также и распад радиоактивных ве-

шеств. Предполагается, что продолжительность формирования Земли не превышает 100 млн. лет. Если это так, то тепло, возникающее при распаде урана, тория и других радиоактивных элементов, характеризующихся большим периодом полураспада, не имеет большого значения. Существенная роль в накоплении тепла в этот период истории Земли должна принадлежать радиоактивным изотопам (типа Ac^{26} и F^{60}), характеризующимся небольшим периодом полураспада, продолжительность которого составляет сотни тысяч — несколько миллионов лет. Однако указанные элементы уже полностью исчезли и, следовательно, неизвестно, сколько их было в начальный период формирования Земли и насколько поднялась температура под влиянием этого источника тепла.

Если продолжительность формирования Земли была небольшой, то главная роль в этом случае, по-видимому, принадлежит теплу, возникающему при столкновении частиц.

Следует оговориться, что все изложенное выше об источниках тепла справедливо для гипотезы неоднородной концентрации. Если же принимать гипотезу равномерной концентрации, то, кроме только что перечисленных источников тепла, температура могла повышаться до $1000-1500^\circ$ при погружении во внутренние части Земли металлического железа в процессе формирования ядра. Возникает вопрос: как это тепло рассеивается в космическом пространстве и как сохраняется внутри Земли? Для ответа на него необходимо выяснить, была ли Земля в период ее формирования покрыта атмосферой. Этот вопрос является предметом дальнейших исследований.

Изменение температуры. В настоящее время трудно определить количество тепла, нагревавшего внутренние части Земли в начальный период ее формирования. Однако на основании обобщения многочисленных данных автором выдвигается предположение о распределении температуры таким образом, как это показано на рис. 13 (линия I). Расхождение с предполагаемым распределением температуры современной Земли (линия II) объясняется тем, что в начальный период формирования Земли температура ее поверхности была выше, а внутренних частей — ниже на несколько тысяч градусов, чем в настоящее время. Обычно считают, что повышение температуры во внутренних частях Земли за 4,5 млрд. лет ее истории обусловлено теплом распада долгоживущих радиоактивных элементов, таких, как уран, торий и калий.

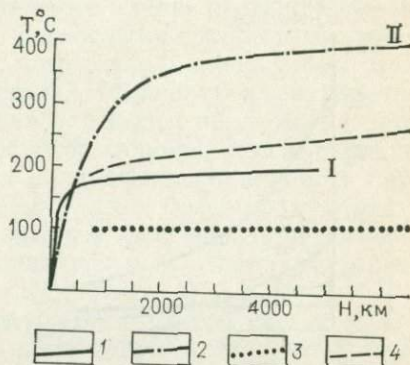


Рис. 13. Температура во внутренних частях Земли в начальный период ее формирования и в настоящее время

1 — в начальный период формирования Земли, 2 — в настоящее время, 3 — плавления смеси Fe и FeS, 4 — плавления Fe

На рис. 14 приведены данные изменения количества тепла, выделяемого радиоактивными изотопами, а на рис. 15— аналогичного изменения температуры внутренних частей Земли. Во всех случаях приводимые данные по распределению температуры в начальный период образования Земли являются гипотетическими и поэтому требуют дальнейших уточнений.

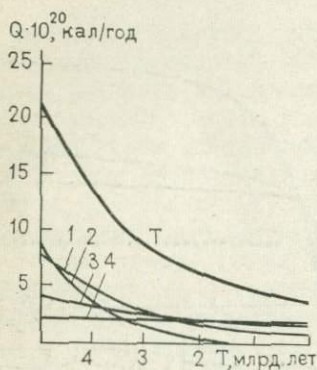


Рис. 14. Тепловыделение при распаде радиоактивных изотопов:

1 — K^{40} , 2 — U^{235} , 3 — U^{238} , 4 — Th^{232} . Т — суммарная кривая. Тепловыделение резко снижается со времени 3 млрд. лет назад

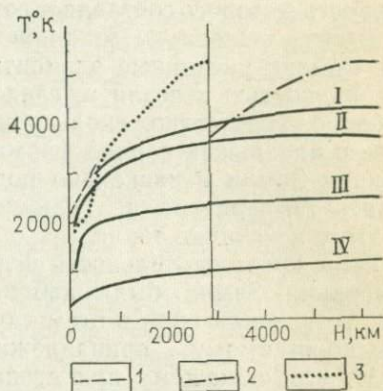


Рис. 15. Модель тепловой истории Земли: I — в настоящее время, II — 1,5 млрд. лет назад, III — 3,5 млрд. лет назад, IV — 4,5 млрд. лет назад

1 — точка плавления форстерита; 2 — точка плавления железа, по Гильберту; 3 — распределение точек плавления, по Амфену

Значение возраста. Возраст Земли, составляющий 4,5—4,6 млрд. лет, соответствует эпохе глобальной химической дифференциации ее внутренних частей на отдельные оболочки в результате процессов плавления пород и других физико-химических реакций.

На возвышенных участках Луны обнаружены горные породы (разновидность плагиоклаза) с возрастом 4,5—4,6 млрд. лет, которые, вероятно, образовались в результате глобальной дифференциации в начальный период ее формирования, но, к сожалению, до сих пор аналоги этих пород не встречены на Земле. Наиболее древними образованиями, установленными на Земле, являются гранитные породы с возрастом 3,6—3,8 млрд. лет. Очевидно, породы начальной стадии развития Земли в результате многократных геологических процессов были полностью преобразованы.

Одним из способов определения времени глобальной дифференциации в начальный период образования Земли является косвенный метод — анализ изотопного состава свинца и стронция в горных породах и минералах, составляющих земную кору.

Следует отметить, что согласно гипотезе однородной концен-

трации, в результате плавления и химической дифференциации внутренних частей Земли, имевших место сразу после начального этапа ее формирования, происходило погружение железа и никеля в центральные части Земли с формированием ядра. В противоположность этому, гипотеза неоднородной концентрации утверждает существование большого количества железа и никеля в центральных частях Земли в начальный период ее образования и отрицает идею о скоплении этих элементов в результате последующих глобальных процессов плавления. Лишь сульфиды железа, концентрировавшиеся вместе с магниевыми силикатами, имея низкую точку плавления, возможно, погружались в результате этих процессов в центральные части Земли. Температура внутренних частей Земли в это время распределялась таким образом, как это показано на рис. 13 (линия I). С другой стороны, окисные соединения алюминия, кальция, титана и силикаты, находившиеся первоначально в центральных частях Земли, имея более низкую плотность по сравнению с железом и никелем, постепенно перемещались в верхние ее части, где смешивались с мантией, состоящей в основном из магниевых силикатов и окислов.

Одновременно с расслоением глубинных частей Земли в начальный период ее формирования происходил интенсивный процесс дифференциации ее верхних слоев. Прежде чем перейти к этому вопросу, рассмотрим строение Луны, коры и верхней части мантии современной Земли.

Суша и моря Луны

В последнее время на Луну были посланы пилотируемые и беспилотные аппараты и получена ценная информация о ее географии. Эти материалы имеют большое значение для решения вопросов происхождения и эволюции не только Луны, но и других планет земного типа. Наиболее важными из этой информации являются материалы, связанные с формированием первичной коры Луны.

Как хорошо известно, поверхность Луны, обращенная к Земле, состоит из светлых и темных пятен. Первые из них обычно называют сушей, вторые — морями. На суше расположено множество впадин, имеющих форму кратеров. Считается, что они сформировались в результате вулканической деятельности и столкновения с Луной метеоритов. В пределах морей такие кратеры встречаются редко, поэтому издавна считали, что моря образовались значительно позднее суши. Справедливость этого предположения доказана исследованиями последних лет (рис. 16).

Породы материковых участков или возвышенностей. Считалось, что вещественный состав пород материковых частей Луны аналогичен вещественному составу Земли и представлен некоторыми видами гранитных разностей. Однако на самом деле это оказалось не так.

Согласно последним данным, большинство образований, составляющих материки Луны, является одним из видов основных магматических пород, богатых кальциевым плагиоклазом (табл. 6). В настоящее время они подвержены различной степени термального метаморфизма (рис. 17). Встречаются хорошо сцементированные конгломераты, но в большинстве случаев они представля-

Таблица 6

Химический состав пород и грунта морей и суши Луны

Окислы	Море				Суша
	«Аполлон-11»	«Аполлон-12»	«Аполлон-15»	«Аполлон-17»	«Аполлон-14»
	Базальты	Базальты	Базальты	Базальты	Базальты
SiO ₂	40,2	45,6	46,4	38,8	47,9
TiO ₂	11,4	3,0	2,2	12,1	1,7
Al ₂ O ₃	9,9	9,8	8,6	9,1	17,6
Fe ₂ O ₃	0,0	0,0	—	—	0,0
FeO	18,7	19,7	22,8	18,8	10,4
MnO	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1
MgO	7,3	10,9	9,5	8,4	9,2
CaO	11,1	10,0	9,8	10,9	11,2
Na ₂ O	0,6	0,3	0,3	0,4	0,7
K ₂ O	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6

Продолжение табл. 6

Окислы	Суша			Земля	
	«Аполлон-15»	«Аполлон-16»	«Аполлон-17»	Континенты	Океаны
	Базальты	Плагиоклазы	Брекчиевидные плагиоклазы	Средний состав коры суши	Средний состав океанической коры
SiO ₂	45,9	45,1	45,2	60,2	48,7
TiO ₂	1,2	0,6	1,0	0,7	1,4
Al ₂ O ₃	16,0	26,7	21,7	15,2	16,5
Fe ₂ O ₃	—	0,0	—	2,5	2,3
FeO	12,9	5,5	7,9	3,8	6,2
MnO	—	0,1	—	0,1	0,2
MgO	11,2	5,9	9,7	3,1	6,8
CaO	11,4	15,4	13,1	5,5	12,3
Na ₂ O	0,1	0,5	0,4	3,0	2,6
K ₂ O	0,2	0,1	0,2	2,9	0,4

ют собой раздробленные глыбы, вероятно, образовавшиеся в результате столкновения с Луной метеоритов. Самые древние из них имеют, как упоминалось выше, возраст 4,5—4,6 млрд. лет, т. е. они, по-видимому, являются продуктом магматической деятельности, имевшей место на Луне в течение нескольких сотен миллионов лет после ее образования. Представляется, что в этот период

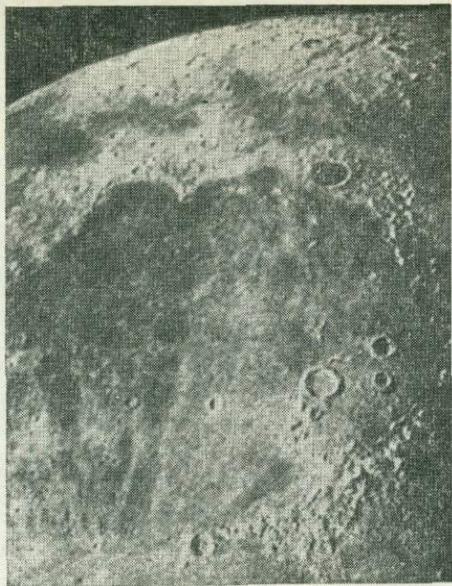


Рис. 16А. Море Дождей и прилегающая суша (возвышенности). Правая нижняя часть — Апеннинский хребет, выше — Кавказский хребет и Альпы

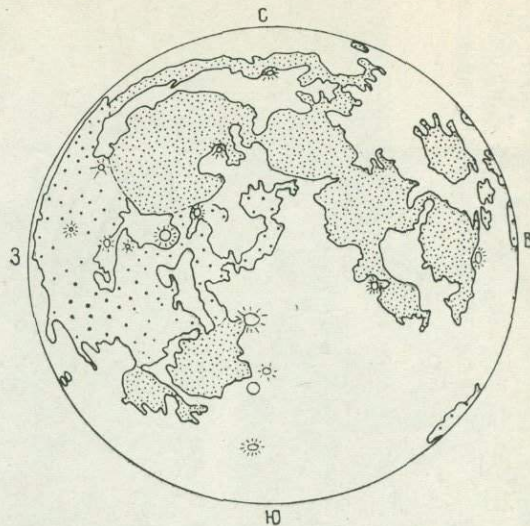


Рис. 16Б. Распределение материков (белые поля) и морей (точки) на стороне Луны, обращенной к Земле



Рис. 17. Плагноклаз одного из континентов Луны: а — испытывавший термальный метаморфизм (скрещенные николи), состоит из плагноклаза и перидотита, б — раздробленный плагноклаз (не-скрещенные николи)

верхний слой Луны до глубины в несколько тысяч километров находился в почти полностью расплавленном состоянии. Впоследствии в результате глобальной кристаллической дифференциации из него выделились и поднялись наверх, с одной стороны, легкие породы, богатые плагноклазом, с другой — тяжелые минералы, такие, как оливин, авгит и другие, которые скапливались внизу с образованием ультраосновной мантии.

В результате анализа сейсмических волн, проходящих внутренние части Луны, установлено, что кора той части Луны, которая обращена к Земле, имеет мощность около 60 км; обратная сторона — более толстую кору, достигающую примерно 100 км.

Породы морей. 4 млрд. лет назад на поверхности Луны образовались огромные впадины. Согласно мнению большинства ученых, они возникли в результате столкновений и взрыва на ее поверхности достаточно крупных тел (малых планет). Но существу-

ет и другая гипотеза, утверждающая аутогенное их образование в результате внутренних процессов. В любом случае эти впадины сформировались позднее континентов, будучи ареной вулканической деятельности, поставившей на поверхность Луны громадные массы лавы. При анализе пород, отобранных из этих впадин, установлено, что они являются базальтами с возрастом около 3—4 млрд. лет (рис. 18, см. табл. 6).

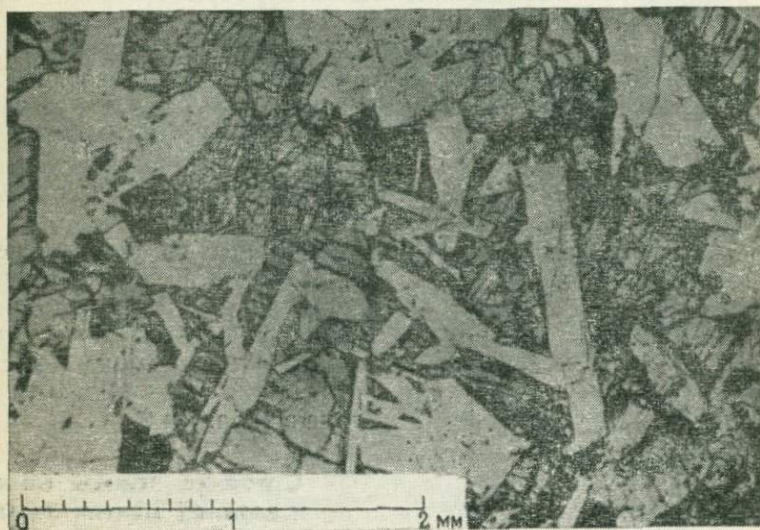


Рис. 18. Морской базальт (нескрещенные николи), состоящий в основном из плагиоклаза (белые поля) и пироксена (серый цвет)

На обратной стороне Луны также выделяются возвышенности и впадины, однако последние встречаются здесь сравнительно редко, т. е. вулканическая деятельность на этой стороне Луны была относительно слабой. Это, возможно, связано с тем, что кора обратной стороны Луны значительно толще, чем на стороне, обращенной к Земле.

Базальтовая деятельность в морях Луны завершилась около 3 млрд. лет назад. Вслед за этим почти полностью прекратилась на Луне и геологическая деятельность. В связи с этим Луну часто называют ископаемой планетой. Это можно объяснить тем, что вследствие небольшой массы ее энергетические ресурсы были ограниченными и довольно быстро исчерпались в результате геологической активности. Не сохранились (может быть, отсутствовали) на Луне гидросфера и атмосфера. На рис. 19 показан разрез модели Луны в начальный этап ее образования, в течение которого процессами плавления были охвачены породы Луны до глубины около 300 км.

Основными показателями для определения магматических пород являются минеральный и химический состав и текстура. К минеральному составу относятся ферромагнезиальные минералы (окрашенные), содержащие железо и магний, и фельзитные (бесцветные) минералы, в которых отсутствуют упомянутые компоненты. В зависимости от соотношения содержания этих минералов они разделяются на ультрамафические, мафические, фельзит-мафические и фельзитные. По содержанию одного из основных химических компонентов — кремнекислоты (SiO_2) горные породы разделяются на ультраосновные (менее 45% SiO_2), основные (45—54% SiO_2), средние (55—65% SiO_2) и кислые (более 65% SiO_2).

Текстура отражает содержание тех или иных минералов, состояние связи между ними и др. В частности, основным признаком для идентификации является содержание составляющих минералов, определяемое скоростью охлаждения магмы.

Обычные магматические породы в зависимости от природной обстановки и происхождения делятся на две большие группы — известково-щелочную и щелочную. Классификация этих пород дана в табл. 7 и 8.

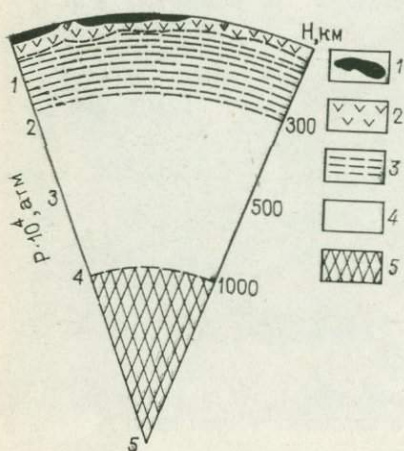


Рис. 19. Внутреннее строение Луны
1 — моря (базальты); 2 — возвышенности (плаггиоклазы); 3 — перидотитовый слой; 4 — недифференцированный слой (ультраосновные породы); 5 — частично расплавленный слой

Строение земной коры и верхней мантии Земли

Кора и верхняя мантия под материками. На рис. 20 схематически изображено строение коры и самой верхней части мантии современной Земли.

Как уже говорилось, кора под континентами имеет толщину в среднем 30—40 км. Верхнюю и нижнюю ее части называют гранитным и базальтовым слоями

соответственно. Эти два слоя разделяются поверхностью Конрада и большей частью переходят друг в друга постепенно, хотя иногда имеют и резкие границы. На континентах над гранитным слоем в большинстве случаев залегают разновозрастный осадочный чехол. На так называемых щитах осадочный чехол отсутствует, и на дневной поверхности обнажается гранитный слой, представленный метаморфическими и магматическими комплексами докембрия и палеозоя (граниты, гранитоиды, габбро, гнейсы, кристаллические сланцы и др.). На основании этого считается, что гранитный слой в среднем имеет состав габбро (рис. 21).

Что касается базальтового слоя, то он не состоит из базаль-

товых вулканических пород. Он, по-видимому, представлен сложным комплексом основных и кислых магматических и метаморфических пород, но в целом по химическому составу очень близок к базальтам.

Отбираемые из глубоких шахт и рудников или при бурении образцы пород в большинстве случаев принадлежат гранитному слою, хотя встречаются породы из базальтового слоя. Последние относятся к магматическим и метаморфическим породам, образо-

Таблица 7

Известково-щелочная группа

Литофация	Ультрамафические (ультраосновные)	Мафические (основные)	Фельзит-мафические (нейтральные)	Фельзитовые (кислые)
Вулканическая	Коматитовые	Базальтовые (толеитовые)	Андезитовые	Риолитовые
Плутоническая	Перидотитовые	Габбровые*	Диоритовые	Гранитные

* Некоторые из них содержат кальциевый плагиоклаз и называются анортозитом.

Таблица 8

Щелочная группа

Литофация	Ультрамафические (ультраосновные)	Мафические (основные)	Фельзит-мафические (средние)	Фельзитовые	
				средние	кислые
Вулканическая	Кимберлитовые	Щелочно-базальтовые	Трахитовые, андезитовые	Трахитовые	Щелочно-риолитовые
Плутоническая	Щелочно-риолитовые	Щелочно-габбродные	Монзонитовые	Сиенитовые	Щелочно-гранитные

вавшимися в условиях высоких температур и высоких давлений. Эти образования называются гранулитами, встречающимися в виде включений в вулканических породах. Они представляют собой ксенолиты базальтового слоя, образовавшиеся при подъеме магмы из верхней мантии на дневную поверхность.

Строение базальтового слоя недоступно для изучения обычными геологическими методами. Сведения о нем обычно получают при помощи геофизических методов: взрывной сейсмологии, гравиметрии и др. По мере развития технических средств можно надеяться на осуществление бурения до глубины в несколько десятков километров*.

* Такое бурение в настоящее время осуществляется в СССР — на Кольском полуострове, глубина скважины достигла 12 км. — *Прим. ред.*

Как уже говорилось, нижняя часть коры через раздел Мохоровичича, имеющий мощность около 1—2 км, сочленяется с верхней мантией. На основании анализа скоростей сейсмических волн от землетрясений и искусственных взрывов высказываются предположения, что верхняя мантия состоит из оливина, авгита и других ультраосновных пород, а также из так называемого эклогита, принадлежащего к основным породам, формировавшимся в условиях высоких температур и высокого давления. Обломки этих пород обнаруживаются в вулканических комплексах, привнесенных из верхней мантии (щелочные базальты, кимберлиты). Они распространены также в перидотитах альпийского типа эпипалеозойского орогенного пояса.

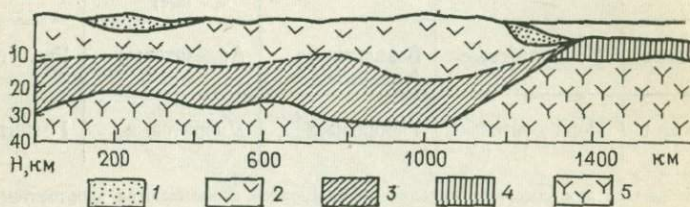


Рис. 20. Земная кора и верхняя мантия

1 — молодые осадки; 2 — гранитный слой; 3 — базальтовый слой под континентами; 4 — базальтовый слой под океанами; 5 — верхняя мантия

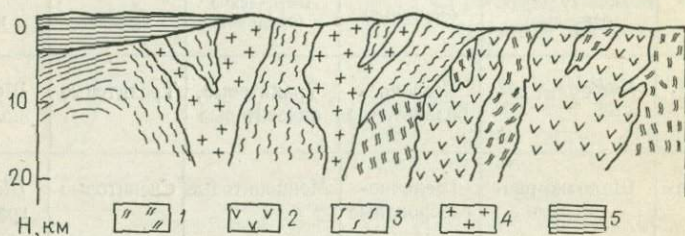


Рис. 21. Гранитный слой

Архей: 1 — метаморфические породы, 2 — граниты; протерозой: 3 — метаморфические породы, 4 — граниты; 5 — эпипалеозойские осадочные породы

Геологическая природа поверхности Мохоровичича. На поверхности Мохоровичича резко увеличиваются скорость сейсмических волн и плотность пород. Существуют две гипотезы о петрохимическом составе этих пород. Согласно первой из них, выше поверхности Мохоровичича залегают основные, а ниже — ультраосновные породы, такие, как перидотит; т. е. поверхность Мохоровичича, согласно этой точке зрения, представляет собой границу резкого изменения химического состава пород (рис. 22). Согласно второй — верхняя часть мантии сложена теми же основными породами, которые составляют низы коры, но претерпевшими фазовые

превращения, например, базальт превратился в эклогит (см. рис. 22). Одна из таких возможных схем показана на рис. 23.

В зависимости от выбора гипотезы изменяется подход к решению вопроса об эволюции Земли. Автор считает, что верхи мантии сложены эклогитами мощностью в несколько десятков километров, ниже которых залегают перидотит-авгитовые породы (см. рис. 22).

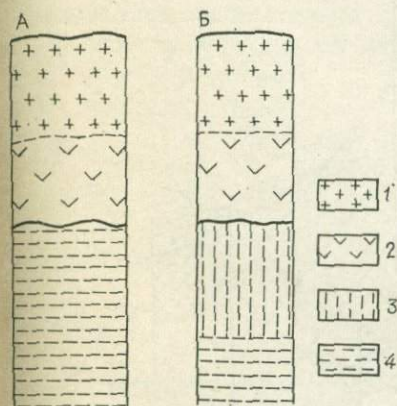


Рис. 22. Две модели (А и Б) происхождения поверхности Мохо

Слои: 1 — гранитный, 2 — базальтовый, 3 — эклогитовый, 4 — перидотитовый

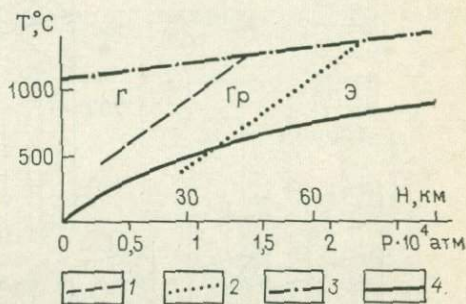


Рис. 23. Фазовое равновесие некоторых типов основных пород в безводных условиях

Г — габбро, Гр — гранулиты, Э — эклогиты, 1—3 — границы [1 — между Г и Гр, 2 — между Гр и Э, 3 — твердой фазы (начальная температура плавления)]; 4 — распределение температур под континентом. Если температура под континентом изменяется в соответствии с графиком 4, то на глубине 30—40 км должна располагаться граница, выше которой залегают породы гранулитовой фации, внизу — эклогиты

Низкоскоростной слой. В верхней мантии различных регионов мира установлен слой, скорость распространения сейсмических волн в котором меньше, чем в выше- и нижележащих слоях мантии. Одним из таких районов является Канада (рис. 24), в различных районах которой на глубине около 100 км выявлен низкоскоростной слой мощностью до 200—300 км. Особенно заметно уменьшение скоростей сказывается на поперечных волнах, одной из особенностей которых является то обстоятельство, что они не распространяются через жидкость. На основании этого высказывается предположение, что в пределах этого слоя породы находятся в состоянии частичного расплава. Возможность этого показана на рис. 25, на котором в интервале глубин 100—250 км температура недр превышает температуру солидуса перидотитов, содержащих в небольшом количестве воду.

Надастеносферную часть мантии вместе с земной корой называют литосферой или в тектонике плит — плитой. Согласно гипотезе тектоники плит, основным тектоническим движением является грандиозное латеральное перемещение таких плит по низкоскоростному слою.

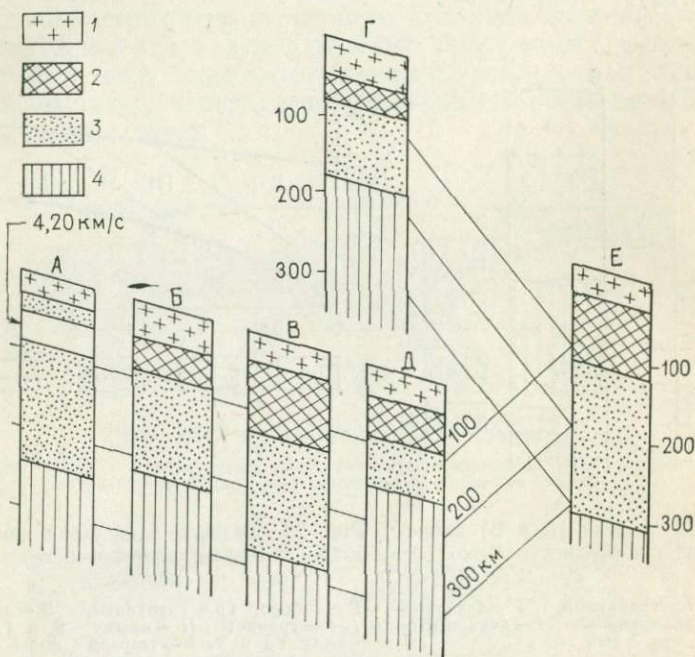


Рис. 24. Земная кора и верхняя мантия различных районов Канады

1 — кора; 2 — верхи мантий ($VS > 4,64$ км/с); 3 — низкоскоростной слой ($VS < 4,64$ км/с); 4 — верхняя часть мантии (мезосфера). А — кордильеры, Б — равнина, В — щит, Г — полярные районы, Д — п-ов Лабрадор, Е — осредненное глубинное строение Канады

Однако еще неизвестно, существует ли аналогичный низкоскоростной слой под другими континентами. Так, например, такой слой отсутствует на обширной территории от Памира до оз. Байкал. Исключением являются Тянь-Шань и Байкал, которые в течение новейшего времени подверглись интенсивной тектонической активизации.

Кора и верхняя мантия под океанами. С 1960 г. начали бурно развиваться геолого-геофизические исследования Мирового океана, в результате которых получено большое количество новых ценных материалов. Упомянутая выше гипотеза тектоники плит появилась в основном в результате этих исследований.

Акватория Мирового океана занимает две трети поверхности Земли. Его кора характеризуется следующим строением. Непосредственно под дном моря расположен первый слой, представ-

ленный илами и рыхлыми осадками. Он подстилается вторым слоем, состоящим из уплотненных осадочных образований и вулканических пород. Оба слоя, вместе взятые, имеют толщину 1—2 км. Под ними выделяется третий слой, называемый базальтовым, мощностью около 5 км. Ниже располагается верхняя мантия, отделенная от коры границей Мохоровичича.

За последние годы на многих акваториях Атлантического и Тихого океанов проведено глубоководное бурение, в результате установлено, что породы, составляющие первый и второй слой, образовались сравнительно недавно: в кайнозой — позднем мезозой. Третий слой бурением до сих пор не достигнут, и о его строе-

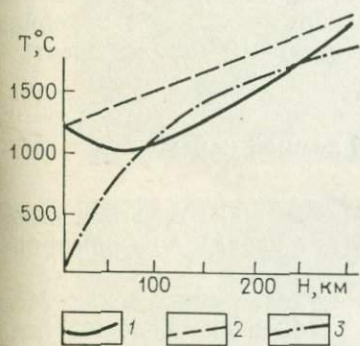


Рис. 25. Модель, объясняющая происхождение низкоскоростного слоя в верхней мантии

1 — граница твердой фазы перидотита (присутствует в небольшом количестве воды); 2 — то же, при отсутствии воды; 3 — распределение температуры под континентом (на глубине около 100—250 км вещество верхней мантии находится в состоянии частичного расплава)

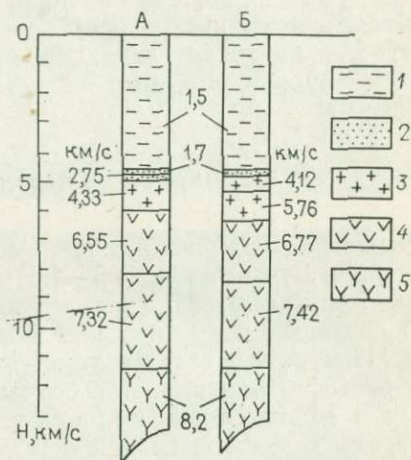


Рис. 26. Скоростные колонки (А и Б) земной коры Тихого океана

1 — водный слой; 2 — первый слой; 3 — второй слой; 4 — третий слой; 5 — мантия

нии можно судить лишь на основании анализа скоростей распространения сейсмических волн. Предполагают, что этот слой сложен базифицированными и серпентинизированными перидотитами. По той же причине не установлено время формирования этого слоя, хотя сторонники тектоники плит утверждают, что он, как первый и второй слои, образовался в недавнем геологическом прошлом (кайнозой — мезозой).

Исследованиями последних лет в некоторых районах Тихого океана установлено наличие в нем двух толщ (рис. 26). Еще не выяснено, какое значение имеют эти две толщи, но автор считает, что они могут служить ключом к изучению истории эволюции акватории Тихого океана.

Что касается верхней части мантии, залегающей непосредственно под поверхностью Мохоровичича, то, судя по скоростям распространения сейсмических волн, она, так же как и на континентах, вероятно, состоит из перидотит-авгитовых образований.

Как указывалось выше, на материках под поверхностью Мохоровичича возможно наличие основных пород типа эклогитов, но под дном океана, где поверхность Мохоровичича залегаёт неглубоко, вряд ли возможно, как полагают многие исследователи, существование таких пород.

20 лет назад был предложен проект | Мохола, предусматривавший проходку буровой скважины до верхней мантии и взятие образцов из нее, но, к сожалению, он не осуществился.

Что касается низкоскоростного слоя, то под океанами он предполагается на значительно меньших глубинах, чем под материками. Его глубина под ними оценивается в 50—100 км, мощность — в 100 км.

Формирование первичной земной коры

Выше рассматривались процессы, протекавшие со времени образования Луны (около 4,5—4,6 млрд. лет назад) до формирования ее морей (4,0—3,0 млрд. лет назад).

В последнее время большое внимание уделяется изучению Марса и Меркурия, в результате которого установлено большое сходство рельефа этих планет с рельефом Луны (рис. 27). Считается, что на всех этих планетах процессы, формировавшие рельеф, были по своему характеру близки между собой.

Венера сверху покрыта атмосферой из плотного углекислого газа, что затрудняет детальное ее исследование. Однако имеющиеся данные позволяют предполагать, что и на этой планете происходили точно такие же процессы. Таким образом, совершенно ясно, что и на Земле, как и на других планетах земного типа, в период их зарождения имели место сходные явления.

Луна и Марс по сравнению с Землей обладают значительно меньшей массой и, следовательно, содержат меньшее количество потенциальной энергии. По этой причине геологические процессы на них прекратились значительно раньше, чем на Земле. Предполагается, что породы Луны и Марса, начиная с какого-то периода времени, не подвергались изменениям. Это весьма важно для изучения процессов, протекавших на Земле.

Как уже отмечалось, в начальный период образования Луны в результате магматических процессов из ее внутренних частей на поверхность выносилось большое количество материала, что привело к формированию примитивной коры плагиоклазового типа. Одни исследователи считают, что плавлению подвергалась верхняя часть Луны до глубины 200—300 км. Другие полагают, что эти процессы затронули толщу Луны до глубин 1000 км (т. е. большую часть). Решение этого вопроса затруднено из-за отсутствия

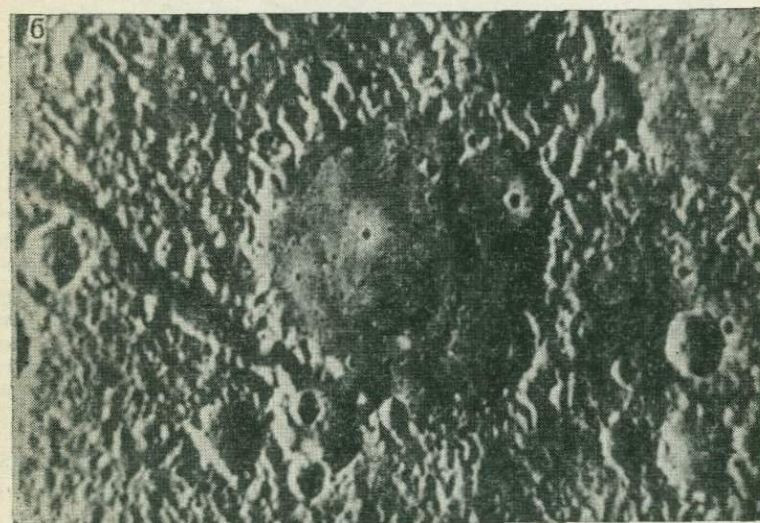
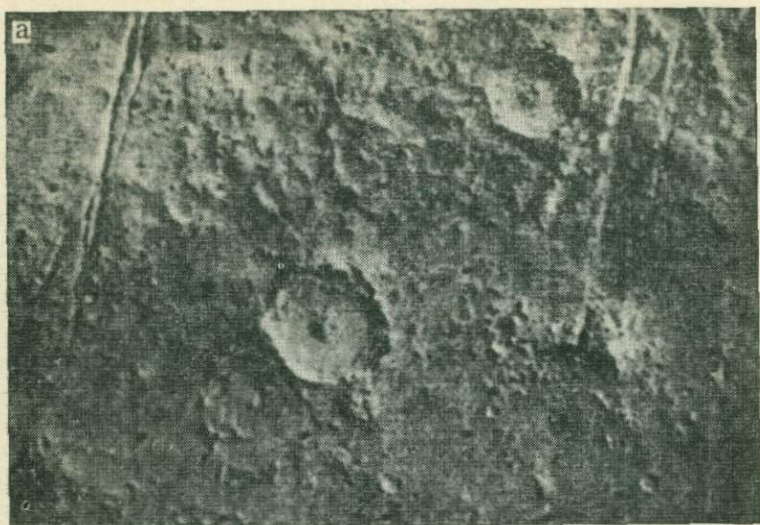


Рис. 27. Поверхности Марса (а) и Меркурия (б)

данных о температуре внутренних частей Луны в период ее зарождения.

Подобные явления происходили на Земле, но, по мнению автора, плавлению подвергалась лишь верхняя ее часть. Плавление к тому же было неполным, а частичным (выплавлялись в основном легкоплавкие элементы). Это объясняется тем, что Земля по сравнению с Луной имеет значительно бóльшую массу (масса Луны

составляет всего 1% от массы Земли) и, следовательно, более высокое внутреннее давление, обуславливающее повышение точки плавления. Давление в центральных частях Луны составляет около 50 тыс. атм, что соответствует давлению на Земле на глубине 150 км.

Если считать температуру внутренних частей Земли во время ее зарождения такой, как показано на рис. 14, то в результате частичного плавления может образоваться магма лишь в верхних ее частях на глубинах от нескольких десятков до 200 км (рис. 28).

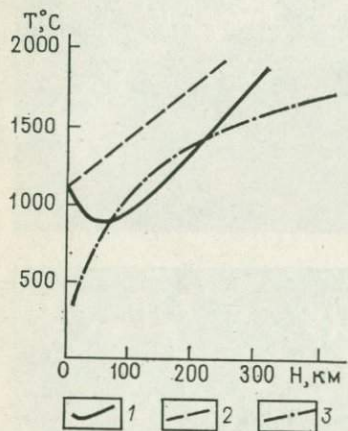


Рис. 28. Возникновение магмы в верхнем слое Земли в начальный период формирования

1 — линия солидуса первичного вещества (при наличии воды); 2 — то же, при отсутствии воды; 3 — распределение температур в недрах Земли

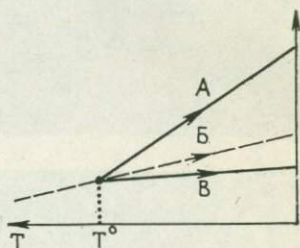


Рис. 29. Изменение во времени соотношения Sr^{87}/Sr^{86} . По оси ординат — Sr^{87}/Sr^{86} в настоящее время

Т — время; А — магма, магматические породы; Б — исходный источник вещества в участках, где не происходило плавления; В — нерасплавленная часть мантии (твердый остаток)

Большое количество магмы выносилось на поверхность Земли при вулканических извержениях или затвердевало на глубине с формированием магматических пород. Этот процесс продолжался в течение нескольких сотен миллионов лет после зарождения Земли, в результате чего постепенно оформлялась первичная кора.

Строение. Возникает вопрос: каков химический состав горных пород, составлявших первичную кору?

Как отмечалось выше, первичная кора Луны состояла из основных пород, богатых плагиоклазом. На Земле дело, по-видимому, обстояло по-другому.

Известно, что на Луне почти отсутствует вода. Так называемые моря в действительности представлены базальтовыми лавами, придающими морям темный цвет. Они также бедны летучими компонентами. Остается загадкой, почему вблизи Земли расположена

подобная планета с таким странным химическим составом. Между тем начальные этапы образования Земли тесно связаны с водой. Внутри первичных веществ, формировавших Землю, содержатся различные гидратированные силикаты или гидроокиси.

В послевоенное время стали проводиться экспериментальные исследования в условиях высоких температур и высоких давлений с целью изучения физико-химических процессов возникновения магмы в верхних частях мантии.

При частичном плавлении перидотитов, из которых, как считается, состоит верхняя мантия, состав образующейся жидкой фазы изменяется в зависимости от участия в этом процессе воды. В случае отсутствия последней образуется жидкая фаза со свойствами основных пород (базальты), при наличии воды — со свойствами пород среднего состава, обогащенных кремнекислотой (табл. 9).

Таблица 9

Химический состав жидкой фазы перидотита при его частичном плавлении

Окислы	Перидотит	Жидкая фаза перидотита при его частичном плавлении	Среднее содержание элементов	
			в андезите	в континентальной коре
SiO ₂	43,7	58,8	57,6	59,8
TiO ₂	0,13	0,6	1,0	1,2
Al ₂ O ₃	4,0	18,0	15,4	15,5
Fe ₂ O ₃	0,89	—	1,81	2,1
FeO	8,09	4,8*	5,96	5,1
MnO	0,12	0,2	0,15	0,1
MgO	37,4	4,6	3,75	4,1
CaO	3,50	9,5	5,64	6,4
Na ₂ O	0,39	3,5	3,70	3,1
K ₂ O	0,01	0,1	0,84	2,4

* Общее количество железа в виде FeO.

В результате частичного плавления верхов первичной мантии, представленной гидратированными силикатами или гидроокисными соединениями, такими, как перидотит, образуется андезитовая магма. Первичная земная кора формируется из подобной магмы в результате дифференциального плавления.

Как говорилось ранее, современная континентальная кора состоит в основном из двух слоев: гранитного и базальтового, которых не было в первичной коре. Эти слои образовались в течение нескольких миллиардов лет в результате последующих геологических процессов. Большой интерес представляет тот факт, что континентальная кора в целом имеет средний (андезитовый) состав (см. табл. 9). На основании анализа изотопного состава стронция в гранитах протерозойского возраста автор считает, что магмы, составляющие основу гранитов, образовались из андезитовой примитивной коры.

Определение состава на основании анализа изотопов стронция. Определение вещества, из которого образовалась магма, в общем представляет большую трудность. Почти невозможно этого достичь путем анализа химического состава магматических пород, не говоря уже об анализе их минерального состава. В этом отношении весьма эффективным является изучение изотопного состава свинца и стронция, содержащихся в магматических породах. Между источником веществ и образующейся из него магмой установлена тесная взаимосвязь, основанная на изотопном составе свинца и стронция. Этот метод был предложен в 1960 г. одновременно несколькими учеными.

Стронций состоит из четырех изотопов — Sr^{84} , Sr^{86} , Sr^{87} , Sr^{88} . Из них Sr^{84} , Sr^{86} , Sr^{88} образовались в период зарождения Млечного пути, а Sr^{87} — в результате радиоактивного распада Rb^{87} . Рубидий имеет изотопы Rb^{85} и Rb^{87} , но последний обладает радиоактивностью.

Если в каком-либо веществе содержатся и Rb и Sr, то Rb^{87} периодически может превращаться в Sr^{87} и поэтому в породе возрастает содержание последнего. Эти преобразования обычно выражаются в виде соотношения Sr^{87}/Sr^{86} (называется изотопным составом или изотопным соотношением), значение которого со временем возрастает. На рис. 29 схематически показано, как изменяется со временем соотношение Sr^{87}/Sr^{86} в трех видах веществ А, Б, В с разными значениями Rb/Sr, у которых первоначально соотношение Sr^{87}/Sr^{86} было одинаковым.

Следует отметить, что сразу же после образования магмы в результате частичного плавления некоторого источника содержание этих двух видов изотопов стронция становится совершенно одинаковым. Значение Rb/Sr в магме больше, чем в исходном веществе, но оно снижается под влиянием нерасплавившегося остатка, и в дальнейшем все эти вещества подвергаются совершенно другому процессу эволюции стронция (см. рис. 29). Таким образом, зная содержание изотопов стронция во время возникновения магмы, можно установить их содержание (SrI) в самом источнике и на основании этого определить приблизительный химический состав источника.

Существует несколько способов определения значения SrI в магматических породах, но наиболее надежным из них является изохронный, общий принцип которого показан на рис. 30.

Изотопное значение стронция Sr^{87}/Sr^{86} в веществах на поверхности Земли в период ее зарождения (первоначальной мантии) составляет приблизительно 0,699. Это соответствует тому значению, которое, вероятно, было характерно для некоторых видов каменных метеоритов и лунных пород, образовавшихся 4,5—4,6 млрд. лет назад (рис. 31). С другой стороны, эволюция стронция в примитивной мантии должна идти подобно линии А. Это предположение основано на обобщении различных материалов, однако многое остается неясным.

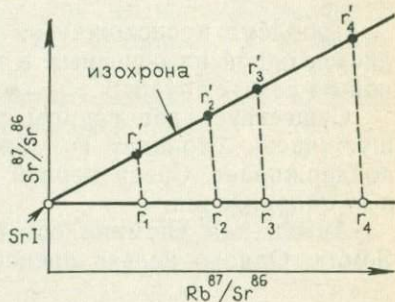
Остановимся на изотопном значении стронция в гранитах ар-

хей. К настоящему времени известно, что значение SrI в гранитах, образовавшихся 4—3 млрд. лет назад (ранний и средний архей), ограничено пределами (см. рис. 31).

Если считать, что граниты образовались в результате частичного плавления первичного мантийного вещества предположительно одной из разновидностей перидотита, то значения SrI должны быть распределены в пределах, указанных на рис. 31 прерывистыми линиями. Другими словами, рассматриваемый гранит образо-

Рис. 30. Определение Sr I и возраста магматических пород методом изохрон Rb-Sr в породах

Допустим, что из некоторого исходного вещества образовалась магма, из которой формировались магматические породы. Во время их образования значение Sr^{87}/Sr^{86} было одинаковым, а соотношение Rb^{87}/Sr^{86} различным. В соответствии с этим значением Sr^{87}/Sr^{86} внутри магматических пород со временем изменяется. Графически зависимость между соотношением Sr^{87}/Sr^{86} в настоящее время и соотношением Rb^{87}/Sr^{86} в магматических породах (r_1, r_2, r_3, r_4) может быть изображена в виде наклонной прямой (изохроны). Точки пересечения их с вертикальной осью указывают на значение Sr^{87}/Sr^{86} (значение SrI) в период образования магмы. Угол наклона изохроны соответствует возрасту магматических пород



вался из таких источников веществ, которые по сравнению с первичной мантией имеют более высокие соотношения Rb/Sr. Наклон полосы распределения на этом же рисунке указывает на значение Rb/Sr, что характерно для некоторых видов андезитов. Очевидно, особое значение имеет пересечение упомянутой полосы с полосой стронция первичной мантии с возрастом около 4 млрд. лет и бо-

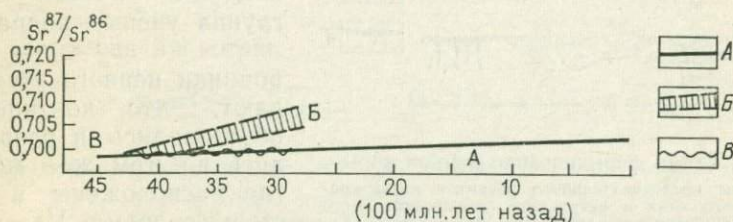


Рис. 31. Распределение значений Sr I в гранитах раннего и среднего архей

A — линия изменения Sr внутри первичной мантии; Б — ареал распределения значений SrI в гранитах раннего и среднего архей; B — значение изотопов Sr в плагиоклазах Луны

лее. Это означает, что андезит в эти периоды образовался из первичных мантийных веществ путем дифференцированного плавления.

Таким образом, в эпоху зарождения Земли из примитивных веществ при частичном плавлении образовалось огромное количество андезитовой магмы и в процессе превращения ее в магма-

тические породы формировалась первичная кора Земли. Выявленные свойства изотопов стронция в гранитах протерозоя являются подтверждением вышесказанного.

До сих пор мы рассматривали вопрос о первичной континентальной коре и поэтому было бы правильным именовать ее первичной континентальной корой, чем просто первичной корой. Остается неясным, что представляла собой первичная кора океанов.

Первично-континентальная и первично-океаническая кора

Проблема происхождения и эволюции материков и океанов является одной из основных в науках о Земле и в то же время одной из самых трудных.

Существует две группы ученых: первая составляющая большую часть, отрицает возможность расширения Земли, вторая — поддерживает. Среди первой группы отмечаются различные научные направления.

Автор, как упоминалось выше, стоит на позиции расширения Земли. Однако нельзя пренебрегать мнением большинства, и по-

этому прежде чем приступить к обоснованию своей позиции, целесообразно остановиться на некоторых положениях ученых, отрицающих возможность расширения Земли.

Представления ученых, не признающих расширение Земли. Эта группа ученых подразделяется на два типа. Сторонники первого утверждают, что континенты образовались и развивались на том же месте, где расположены в настоящее время. Часть из них считает, что континентальная кора и соответственно континенты

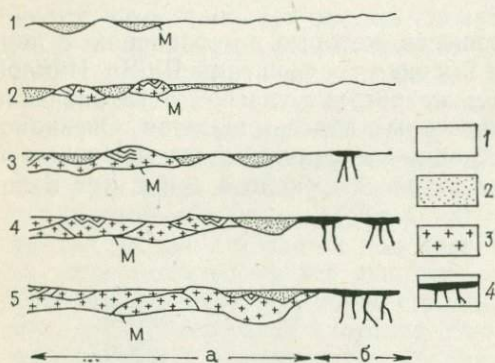


Рис. 32. Схема формирования земной коры

1—5 — этапы последовательного развития коры континентального типа в результате геосинклинального процесса (1 — первичные вещества, 2 — осадки, 3 — гранитные породы, 4 — базальты); М — поверхность Мохо; а — континентальная область, б — океаническая область

сформировались в результате геосинклинального процесса, а океаническая кора и океаны располагаются там, где такие процессы не протекали. Ранее автор также придерживался подобной точки зрения (рис. 32).

Советский ученый В. В. Белоусов считает, что в результате геосинклинальных процессов на всей поверхности Земли в течение нескольких сотен миллионов лет образовалась континентальная кора. В дальнейшем под воздействием процессов в мантии

она подверглась разрушению (базификации) и превратилась в океаническую кору. Эти представления перекликаются с гипотезой увеличения объема воды в Мировом океане по мере развития геологических событий на Земле. Однако представления В. В. Белоусова не лишены недостатков, главным из которых является отсутствие доказательств существования под современной океанической корой большого объема кислых пород, составлявших некогда континентальную кору.

Существует оригинальная гипотеза, утверждающая, что под действием размыва первичного материка и переноса обломочного материала в океан последний постепенно превращался в континент, а первичный материк — в океан, т. е. современные континенты сформировались на месте первичных океанов, а современные океаны — на месте первичных континентов.

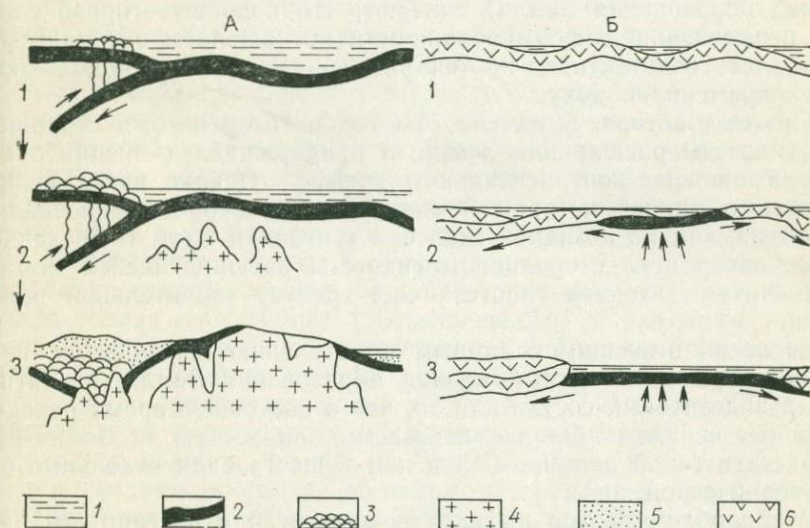


Рис. 33. Возникновение первичной коры Земли согласно гипотезе тектоники плит

1 — водный слой; 2 — кора океанического типа; 3 — андезитовые породы островных дуг; 4 — гранитные породы; 5 — осадки; 6 — кора континентального типа (граниты). А — кора океанического типа, Б — кора континентального типа. 1—3 — этапы развития земной коры

Согласно другому направлению, литосфера Земли разделена на значительные по размерам блоки (плиты), которые испытывали и испытывают большие горизонтальные перемещения. Последний этап этих перемещений начался в мезозое. На этой основе возникла гипотеза тектоники плит.

Относительно континентальной и океанической коры в начальный период образования Земли существуют два мнения. Одно из них — существование первичной океанической (базальтовой) коры. Впоследствии эта кора распалась на два блока, один из кото-

рых погружался под другой, в результате чего в таких районах сформировались островные дуги. В дальнейшем в процессе ряда геологических событий, и в первую очередь андезито-гранитного магматизма, на месте островных дуг образовалась континентальная кора (рис. 33, А).

Согласно противоположному мнению, первоначально кора была кислой, континентальной. Она тонким слоем покрывала земной шар. Эта кора впоследствии разделилась на блоки различных размеров, которые в процессе горизонтальных перемещений погружались один под другой, формируя тем самым толстую континентальную кору. В расщелинах между континентальными блоками постепенно происходили излияния базальтовой магмы, которые впоследствии образовали блоки океанической коры (рис. 33, Б).

Следовательно, сторонники гипотезы тектоники плит (т. е. возникновения континентальной и океанической коры в начальный период образования Земли) считают, что подобные горизонтальные перемещения с формированием и поглощением океанической коры достаточно активно протекали после мезозоя и продолжают в современную эпоху.

Гипотеза автора. В начале 70-х годов автор не был сторонником гипотезы расширения Земли, а придерживался мнения о послемезозойском континентальном дрейфе. Однако при решении вопроса о ранней истории Земли он стоял скорее на позициях фиксизма, чем на позициях гипотезы тектоники плит. В последнее время автор стал сторонником гипотезы расширяющейся Земли, хотя считает, что эта гипотеза еще требует значительной доработки.

Согласно имеющимся данным по строению континентов, первичная кора в начальный период образования Земли, вероятно, имела андезитовый состав или то, что в настоящее время нередко называют «сиалем». Однако неизвестно, полностью ли Земля была одета в такой панцирь или в нем существовали отдельные окна океанической коры.

Эту проблему автор пытался решить исходя из гипотезы расширения Земли. Однако прежде чем излагать суть последней, рассмотрим предшествующие представления автора.

Как упоминалось, ранее автор допускал значительные горизонтальные перемещения. Но, в отличие от представлений сторонников гипотезы тектоники плит, он считал эти движения уникальными и существенными только после мезозоя. Автор и до сих пор придерживается мнения, что в послемезозойское время такие движения происходили. Тем не менее относительно начального этапа развития Земли его взгляды отличаются от представлений сторонников гипотезы плит. По его мнению, в период времени от зарождения Земли до конца палеозоя континентальный блок, занимавший одну треть поверхности Земли, существовал как единое целое. Исходя из этого им развивались идеи о возникновении континентальной и океанической коры. Суть их заключается в следующем.

Земля сформировалась путем конденсации первичных веществ прототуманности. В этот период зарождения первичной Земли конденсирующиеся вещества дифференцировались на два типа неоднородностей: содержащие в большом количестве гидратированные силикаты и гидроокислы и не содержащие таких соединений.

Первый из них впоследствии превратился в материк с корой континентального типа, второй, в пределах которого преобладали излияния основных магм,— в океаны с первичной корой океанического типа.

Прежде чем приступить к обоснованию проблемы расширения Земли, отметим, во-первых, что большие части Атлантического и Индийского океанов, а также восточная половина Тихого океана, вероятно, образовались в результате расширения земного шара в послемезозойский период, во-вторых, современные континенты образовались из первичного материка в течение нескольких миллиардов лет в результате сложных геологических процессов.

Как указывалось выше, Луна в начальный период ее образования была равномерно покрыта первичной корой, состоящей в основном из плагиоклаза. В дальнейшем в результате ударов крупными метеоритами на поверхности Луны возникли впадины, в пределах которых изливалось огромное количество базальтовой лавы, это привело к образованию так называемых «морей». Таким образом моря с их базальтовыми покровами сформировались на месте возвышенных участков Луны, сложенных породами типа плагиоклаза, которые можно уподобить земным материкам. Соотношение между материками (возвышенности) и впадинами (моря) на Луне приблизительно составляет 3:2. Подобное же соотношением между теми и другими отсчитается на Марсе. Следовательно, можно предполагать, что и на Земле в начальный период ее образования наблюдались аналогичные пропорции между сушей и океаном. Но, в отличие от Луны и Марса, первичная кора Земли в среднем состояла, по-видимому, из андезитов (сиаль). Она равномерно покрывала всю Землю. Но примерно 4 млрд. лет назад приблизительно на 2/5 ее поверхности образовалась огромная впадина, в пределах которой в результате излияния базальтов сформировалась кора океанического типа. Одновременно эта впадина заполнялась водой, в результате чего возник первичный океан.

Некоторые исследователи возражают против предположения о формировании впадин Луны путем столкновения с ее поверхностью и взрыва гигантских метеоритов. Они считают, что впадины вероятнее всего образовались в результате расширения Луны под влиянием глубинных процессов. Однако автор относится скептически к идее о возможном расширении Луны.

Если представить земной шар в начальный период его образования таким, каким он описывается выше, то можно приблизительно оценить его размеры того времени. Так, площадь поверхности Земли в этот период равняется сумме площадей первично-

го континента (кора континентального типа) и первичного океана: $180 \times 10^6 \text{ км}^2 + 120 \times 10^6 \text{ км}^2 = 300 \times 10^6 \text{ км}^2$.

Радиус, соответствующий этой поверхности, составляет около 4900 км, что почти на 1500 км меньше диаметра современной Земли. Площадь континентальной коры современной Земли составляет около $200 \times 10^6 \text{ км}^2$, т. е. за 4 млрд. лет она значительно увеличилась. Разумеется, эти цифры являются сугубо гипотетическими.

Еще одна вероятность. К настоящему времени накопилось много данных о строении Луны, однако остается еще много нерешенных вопросов. Например, неизвестна мощность плагиоклазового слоя под базальтовыми покровами морей Луны. Одни предполагают ее довольно значительной, другие считают, что он отсутствует. Трудность решения вопроса объясняется прежде всего недостаточностью сейсмических данных, являющихся ключом к его пониманию. Следовательно, необходимо искать другие пути решения и возможность его объяснения по-другому. В частности, это можно объяснить исходя из неоднородностей состава в горизонтальном направлении приповерхностного слоя первичной Земли.

Представлений о возможных неоднородностях первичного вещества Земли во время его концентрации в вертикальном и горизонтальном направлениях придерживаются многие исследователи, в том числе автор. Кроме того, высказывается предположение о вариациях температуры в горизонтальном направлении. Если это было так, то в районах с низкой температурой происходила более активная концентрация частиц типа гидратов, а в участках с низкой температурой они должны были быстро разлагаться и, следовательно, условия для их накопления здесь отсутствовали.

Коротко остановимся на происхождении атмосферы и гидросферы.

Происхождение атмосферы и гидросферы

Планеты типа Земли и Луны, расположенные на сравнительно небольшом расстоянии от Солнца, имеют небольшую массу, но высокую плотность. В этом отношении они резко отличаются от планет типа Юпитер, значительно удаленных от Солнца.

Как известно, около 2/3 поверхности Земли покрыто океаном. Это является своеобразной особенностью Земли, отличающей ее от других планет. Не зря Землю называют «звездой, насыщенной водой». Индивидуальные особенности каждой из планет земного типа в основном связаны с различным количеством и составом первичных веществ и различным процессом их эволюции.

Дегазация в начальный период формирования Земли. Согласно гипотезе неоднородной концентрации, первичные вещества, составляющие Землю, аккумуляровались в условиях перепада температуры от нескольких тысяч до 300°C (см. табл. 2.). В этом случае в составе первичной туманности должны были оставаться различные компоненты в газообразной форме. К их числу относятся водород, метан, аммоний и редкие газы, характеризующиеся хими-

ческой инертностью. Однако часть летучих компонентов должна была концентрироваться в виде твердых фаз, соединяясь с различными металлами и накапливаясь во внутренних частях Земли. Например, водяной пар, вступая в реакцию с силикатными и окисными веществами, мог образовывать различные гидратированные силикатные и окисные соединения, а сера, соединяясь с металлическим железом, могла формировать сульфид-железистые гранулы. Кроме того, часть из них могла адсорбироваться поверхностью твердых частиц в виде тонкой пленки и проникать внутрь Земли (например, редкие газы).

Атмосферу, которая покрывала первичную Землю, называют первичной; однако она составляет лишь небольшую долю от современной. Большая часть последней сформировалась в основном путем высвобождения под действием высоких температур и вулканической деятельности газообразных элементов, находившихся в связанном состоянии во внутренних частях Земли. Это явление называется дегазацией Земли. Таким образом, атмосфера Земли является в основном вторичным продуктом. Гидросфера Земли, в свою очередь, образовалась преимущественно путем конденсации воды из атмосферы.

Большая часть газов, выделявшихся на поверхность Земли, состояла из окисных форм, таких, как водяной пар, углекислый газ, азот, сернистый газ и др. Кроме того, в небольшом количестве содержались окись углерода и аргон. Последний образовался в результате радиоактивного распада K^{40} , содержащегося в некоторых силикатных породах коры и верхней мантии Земли. Количество свободного кислорода и азота, являющихся основными компонентами современной атмосферы, в этот период развития Земли было незначительным. Кислород стал основным компонентом воздуха через 2 млрд. лет после начала формирования Земли. Предполагают, что это связано с развитием жизни на Земле.

Вопрос о возникновении жизни на Земле является частью проблемы ее эволюции.

Атмосфера Марса и Венеры. Известно, что на Луне отсутствуют атмосфера и вода. В небольшом количестве они содержатся на Марсе. Большую долю его атмосферы составляет углекислый газ и небольшую — азот и аргон. Предполагают, что на Марсе имеется небольшое количество воды, которая в виде льда скапливается на его полюсах; она, возможно, содержится и во внутренних его частях. Остается открытым вопрос о составе атмосферы Венеры, которая является самой близкой к Земле планетой. Несмотря на примерно одинаковые размеры, они отличаются друг от друга по объему и составу атмосферы.

Издавна было известно, что атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа. В настоящее время точно установлено, что углекислый газ в ней составляет почти 95%. Давление его на поверхности планеты достигает 90 атм. Кроме углекислого газа в большом количестве имеются азот, кислород и водяной пар. Азот в атмосфере Венеры составляет всего 2%, а давление его на

поверхность — около 1,5 атм. Температура на поверхности достигает 500 °С. Поверхность лишена гидросферы, характеризуется сложным рельефом и покрыта плотным слоем атмосферы, состоящей, как только что упоминалось, из углекислого газа высокой концентрации.

Почему отсутствует вода на Венере, хотя эта планета располагается по соседству с Землей и имеет близкие с ней массу и размеры? По нашему мнению, на Венере отсутствовали условия для образования в большом количестве гидратированных силикатов и гидроокисных соединений, образующихся путем конденсации твердых частиц при низкой температуре, так как Венера формировалась в условиях высоких температур в связи с более близким расположением к Солнцу по сравнению с Землей.

Что касается углекислого газа, то между Венерой и Землей нет существенного различия по его валовому количеству. Большое количество этого газа, содержащегося в свое время в атмосфере Земли, впоследствии частично растворилось в воде, образовало соединения с другими веществами, закрепилось в виде карбонатных пород или вместе с азотом, водородом и кислородом вошло в состав органического мира. Если сжечь все карбонатные породы, составляющие кору Земли, и органические соединения, находящиеся на ее поверхности, то давление выделившегося при этом углекислого газа достигнет 50 атм.

В составе первичной атмосферы отсутствовала вода, поэтому объем углекислого газа в ней остался неизменным.

Гидросфера. При интенсивной дегазации коры и мантии в начальный период формирования Земли водяной пар, являвшийся количеством этого газа, содержащегося в свое время в атмосфере основным компонентом выделявшегося из-под земли газа, под влиянием низкой температуры превращался в жидкую фазу, которая снова поступала на поверхность Земли и явилась началом образования гидросферы. Первичная гидросфера отличалась высокой кислотностью, так как в образовавшейся жидкой фазе содержалось в растворенном состоянии довольно большое количество углекислого и сернистоокислого газов, хлористого водорода и других воднорастворимых газов. Подобная вода действовала на различные породы, залегавшие на земной поверхности, и растворяла многие металлические элементы.

Глава 3

ЭВОЛЮЦИЯ МАТЕРИКОВ

Геохронология Земли

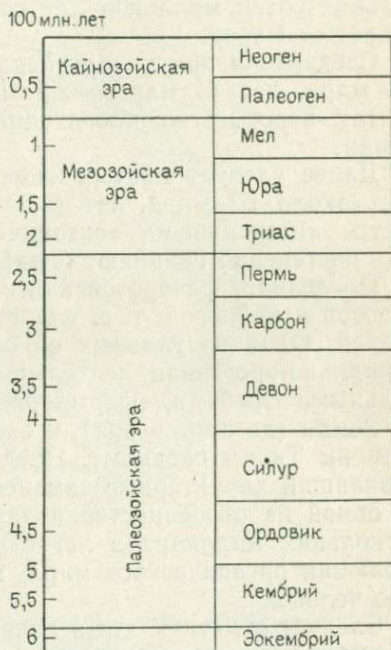
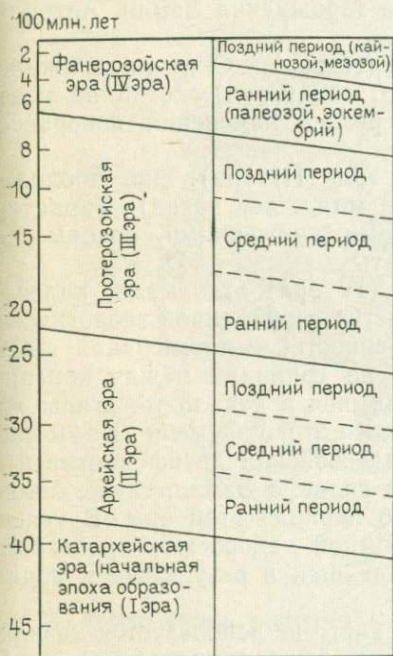
В данной главе будет рассмотрено развитие континентальной части Земли за 4 млрд. лет. Коротко остановимся на геохронологии.

Геологическая история Земли восстанавливается при помощи изучения окаменелостей. Последние наиболее изучены в пределах континентов. В океанах степень изученности окаменело-

стей значительно хуже, а имеющиеся сведения относятся в основном к настоящему времени. По этой причине геологическая история Земли представляет собой историю развития континентов. Однако большинство геологических явлений наблюдаемых на поверхности Земли, отражает состояние глубинных ее частей, и поэтому не будет большой ошибкой считать историю припо-

Таблица 10

Геохронология истории Земли



верхностных частей Земли историей Земли в целом. История Земли со временем претерпевала значительные изменения. Поэтому многие исследователи пытаются разделить ее на несколько периодов. Это очень напоминает историю развития человеческого общества, которую делят на несколько этапов: первобытнообщинный, рабовладельческий, феодальный, капиталистический, социалистический.

Аналогичным образом автор делит историю Земли на четыре больших эры, которые на основании присущих им особенностей в свою очередь подразделяются на несколько периодов (табл. 10).

В настоящее время имеется много материала по ископаемым остаткам мезо-кайнозоя, поэтому этот этап развития Земли разделен более подробно, чем домезозойский.

Абсолютный возраст каждой эры или периода определяется путем изучения радиоактивных изотопов, содержащихся в поро-

дах или минералах, и соотношения стабильных изотопов, образовавшихся в результате распада радиоактивных элементов (Th, U²³⁸, K⁴⁰, Rb⁸⁷ и др.).

Границы некоторых эр пересекаются с границами других эр (они изображены в виде наклонной линии), так как возраст границ между эрами на различных материках неодинаков (см. табл. 8).

Самая древняя эра — катархейская. Она является эрой формирования первичной земной коры. Продолжалась в течение нескольких сотен миллионов лет после зарождения Земли. Автор называет ее I эрой.

Следующая эра — архейская (II эра). Она продолжалась 1,5 млрд. лет (4 млрд.—2,5 млрд. лет назад), когда на континентах повсеместно происходили резкие изменения поверхности Земли.

Далее следует протерозойская эра (III эра). Она продолжалась около 1,7 млрд. лет (2,5—0,8 млрд. лет назад). Характеризуется интенсивными тектоническими движениями, которые, однако, постепенно начинают ослабевать.

Последняя, фанерозойская эра (IV эра) охватывает палеозой, мезозой и кайнозой, т. е. она является современной геологической эпохой. Одна из главных ее особенностей — интенсивная геосинклинально-орогенная деятельность на границах между континентальными глыбами, сформировавшимися в начальные этапы жизни Земли (до протерозоя), и океанами этого времени (в том числе древним Тихим океаном). Послепалеозойский дрейф континентов, вызвавший характерные изменения рельефа Земли, также является одной из особенностей позднего периода этой эры. В течение нескольких миллиардов лет с огромной скоростью происходила эволюция органического мира, приведшая в результате к появлению человека.

Следует отметить, что в данной книге не используется название докембрийская эра. Она объединяет эры, имевшие место до наступления палеозоя (катархейская, протерозойская эры и эокембрийский период). Однако неудобно рассматривать такой чрезвычайно длинный период, продолжавшийся около 4 млрд. лет, в качестве одной эры.

Первичный материк

Модель возникновения первичной коры, приведенная в предыдущей главе, основана, с одной стороны, на гипотезе неравномерной концентрации (гипотеза образования Солнечной системы и Земли), с другой — на предпосылке о расширении Земли, основывающейся на последних данных о строении Луны и других планет земного типа.

На рис. 34 показан континентальный сегмент земного шара в начальный период его образования — начале катархейской эры. Изображение основано на предположении о том, что диаметр Зем-

ли того времени был на 1500 км меньше, чем сейчас. В этот период еще не было четкой береговой линии. На рисунке она показана условно для того, чтобы отделить друг от друга материки и океаны (это сделано для удобства без соблюдения правил картографии).

Схематическая карта (см. рис. 34) отличается от рис. 35 (который составлен с учетом континентального дрейфа); последний составлен автором ранее. Этот рисунок имеет некоторое сходство с предыдущим, но в то же время отличается от него. Одной из от-



Рис. 34. Распределение континентов в начальный период формирования Земли (первичные континенты)

личительных черт является то, что на рис. 35 большое место занимают океаны, так как гипотеза перемещения континентов не признает расширения Земли. На рис. 34 Индостанский и Аравийский полуострова соединяются с Азиатским континентом, а на карте современного рельефа Земли они отделены друг от друга. Тот и другой полуострова вместе с Австралией и Антарктидой на юге в свое время входили в состав так называемого континента Гондвана. Между ним и Азией находился океан.

Следовательно, согласно теории континентального дрейфа, Индийский континент, располагавшийся значительно южнее, чем сейчас, переместился к северу на несколько тысяч километров и столкнулся с Азиатским континентом. Автор не разделяет этой гипотезы, так как, по его мнению, перемещение континентов произошло не путем горизонтального дрейфа литосферы, а в результате расширения Земли.

Мы рассматриваем изменения литосферы Земли в архее исходя

из того, что континенты в это время были расположены так, как изображено на рис. 34. Однако совершенно неизвестно, какие изменения происходили в пределах океанов.

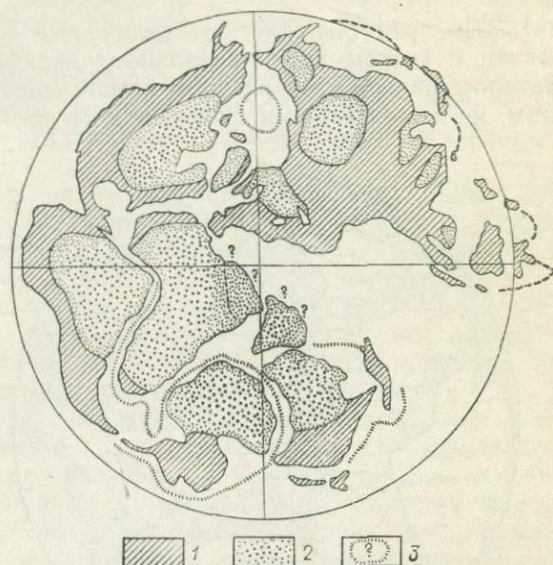


Рис. 35. Континенты, океаны и геосинклиально-орогенные зоны раннего периода IV эры (эокембрийский период — палеозой)

1 — геосинклиально-орогенные зоны; 2 — стабильные континенты; 3 — возможно существовавшие геосинклинали

Зона зеленокаменных пород архейской эры

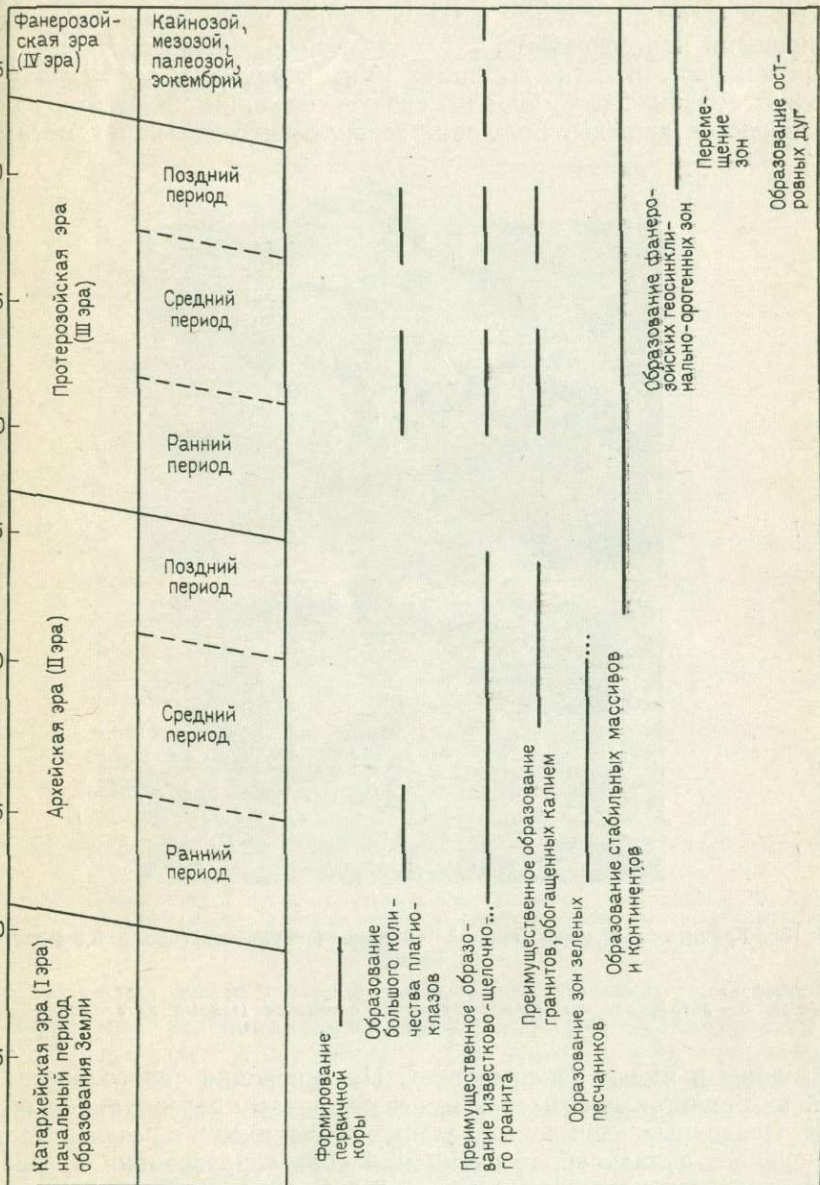
Архейская эра продолжалась в течение 1,5 млрд. лет (около 4,0—2,5 млрд. лет назад). Ее можно разделить на ранний, средний и поздний периоды на рубежах 4,0—3,5; 3,5—3,0; 3,0—2,5 млрд. лет назад. Деление этой эры на три части имеет определенный смысл, но об этом будет сказано позже (см. табл. 11).

Как указывалось выше, до сих пор не доказано, какие породы образовались в период зарождения Земли (в I эре). Обнаружен лишь один обломок гранито-гнейса, относящегося к отрезку времени 4,3—4,2 млрд. лет назад, но этот возраст вызывает сомнения и требует дальнейшего уточнения. На южной окраине Гренландии, на Кольском полуострове, в Родезии (Южная Африка), в штате Миннесота (США) и в других районах встречены породы, образовавшиеся 3,8—3,6 млрд. лет назад. Они также принадлежат к гранито-гнейсам (рис. 36). Эти породы пока встречены в определенных местах, но раньше, вероятно, имели более широкое распространение.

Что касается пород, образовавшихся около 3,5 млрд. лет на-

Основные геологические процессы

100 млн. лет



зад, то они встречаются на многих континентах. В основном это различные магматические, осадочные и метаморфические образования.

Наиболее древние из осадочных пород сформировались 3,5—3,2 млрд. лет назад, а более молодые 3,0—2,7 млрд. лет назад. Они сложены песчаниками, пелитовыми обломками или силикатными осадками, богатыми железной рудой и подстилаются ультраосновными или основными вулканическими породами. Нередко общая мощность пластов достигает 10 км и более. Иногда сверху залегают вулканические породы, снизу — осадочные. И такой разрез повторяется дважды. Большинство вулканических пород метамор-

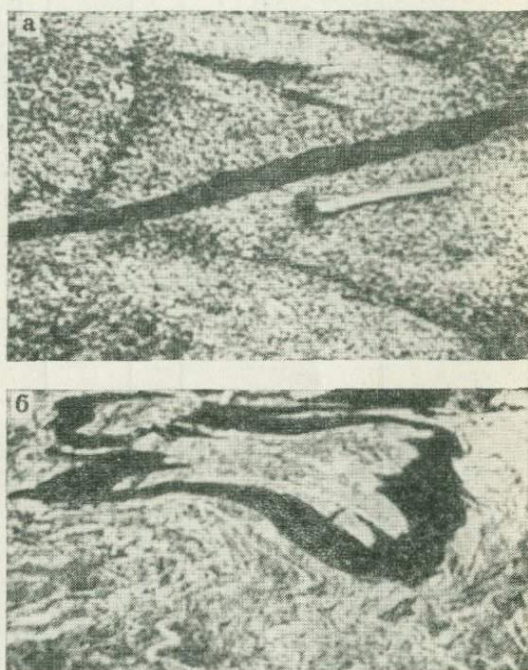


Рис. 36. Гранито-гнейсы на южной окраине Гренландии (около 3,8 млрд. лет назад)

а — литофация, подверженная незначительному изменению (темный цвет — дайки амфиболита), б — литофация, претерпевшая сильные изменения (темный цвет — дайки амфиболита)

физованы и имеют зеленый цвет. На основании такого цвета архейских пластов эти участки называют зонами зеленокаменных пород. Осадочные слои зоны „зеленых песчаников“ в результате интенсивного складкообразования или сбросообразования превратились в метаморфические породы. Вокруг зоны „зеленых песчаников“ располагаются граниты или гнейсы. Образно говоря, зоны „зеленых песчаников“ выглядят как острова в огромном море, сложенном гранитами и гнейсами (рис. 37).

Зоны «зеленых песчаников» архейской эры покрыты протеро-

зойскими или более поздними осадочными породами и пронизаны гранитами. В настоящее время они изолированы друг от друга. Вероятно, ранее эти породы встречались повсеместно во всех районах первичных континентов. Другими словами, в этот период на всех континентах многократно повторялись орогенно-геосинклинальные движения. По этой причине рассматриваемую эру называют эрой всеобщих колебательных движений.

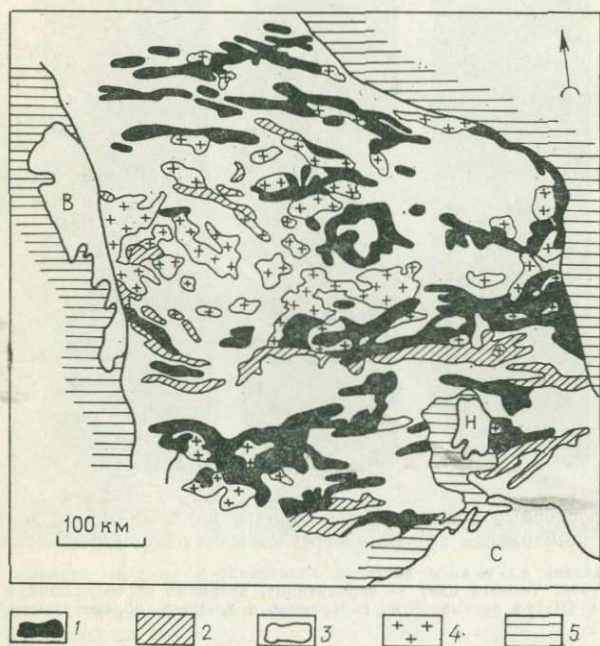


Рис. 37. Распределение зон зеленокаменных пород архея в западной части Канадского щита

1 — породы зеленых туфов со сравнительно низкой степенью метаморфизма; 2 — то же, сильно метаморфизованные; 3 — гранито-гнейсы архея; 4 — глыбовые гранитные породы; 5 — породы, образовавшиеся после протерозоя. С — о-в Спернор, Н — о-в Нипигон, В — о-в Виннипег

Фундамент зеленокаменных пород. На каком фундаменте сформировались „зеленые песчаники“? По этому поводу существуют два мнения. Первое из них сводится к тому, что первичная кора была океанической (базальтовой) и поэтому предполагается, что зоны „зеленых песчаников“ образовались на океанической коре. Согласно другому мнению, первичная кора была континентальной, на которой и происходило накопление „зеленых песчаников“. Автор придерживается второй точки зрения.

Как указывалось, на южной окраине Гренландии до формирования самой древней зоны „зеленых песчаников“ образовались гра-

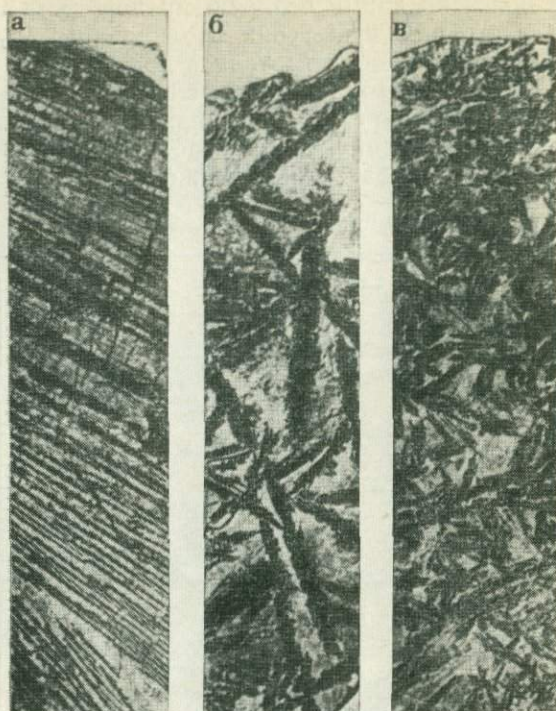


Рис. 38. Ультраосновные вулканические породы, извлеченные из зоны «зеленых песчаников» архейской эры на Канадском щите.

Структура кристаллов: а — в виде листовой пластинки, б — в виде крупных лучей, в — в виде мелких лучей. Темный цвет — серпентинит, вторично образовавшийся из оливина, серое — смесь из быстро застывшего гиперстена и хлорита, образовавшегося из стекла

Таблица 12

Архейское время на юге Гренландии

2—	— Образование карбонатидов, основные и ультраосновные дайки (стабилизация континентов)
2,5—	— Деформация и метаморфизм, образование гранитных пород
	— Накопление основных и кислых вулканических пород (зеленые туфы)
	— Период максимального проявления деформаций и метаморфизма
3—	— Образование гранитных пород
3,5—	— Интрузии слоистых основных пород (наряду с большим количеством плагиоклазов)
	— Накопление ультраосновных и основных вулканических и обломочных пород (зеленые туфы древнего периода)
	— Дайки основных пород (стабилизация земной коры)
	— Образование гранитных пород (древнейшие породы Земли, в настоящее время превращены в гнейсы)
4—	
млрд. лет	

нитные гнейсы (3,8 млрд. лет назад). В табл. 12 показана хронологическая последовательность геологических явлений в архейское время на юге Гренландии.

Кроме того, в древних зеленокаменных породах Южной Африки установлены песчаные и пелитовые осадочные породы, которые образовались из гранитов. Внутри них отмечаются обломки гранитов в виде гравия. Этот факт подтверждает справедливость мнения автора.

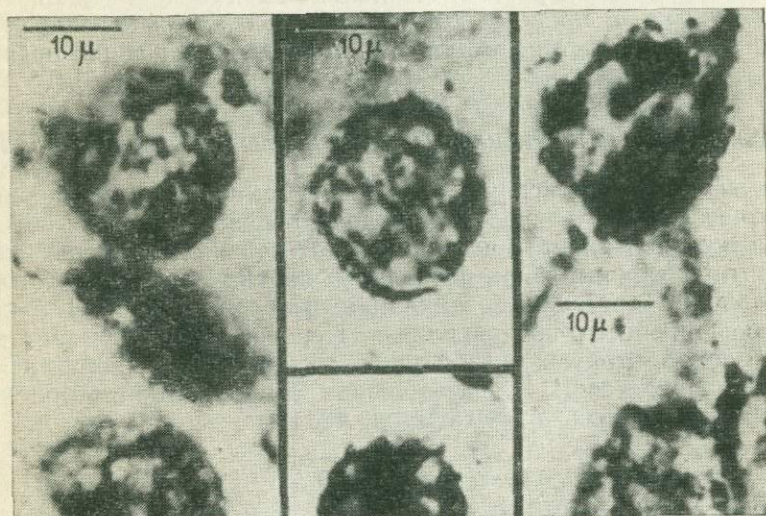


Рис. 39. Древнейшие остатки организмов (остатки низших водорослей, обнаруженные в кремнистых осадочных породах среднего архея в Южной Африке)

Отличительные особенности вулканических пород. Одной из особенностей „зеленых песчаников“ является наличие в их нижней части ультраосновных вулканических пород. Это стало известно сравнительно недавно и вызвало большой интерес у многих специалистов (рис. 38).

Очень редко встречаются вулканические породы упомянутого состава, относящиеся к протерозою и более поздним периодам. Вероятно, это свидетельствует о том, что в архейской эре температура недр была довольно высокой.

В последнее время установлено, что большинство гранитов и гнейсов раннего архея принадлежало гранитным или кварцевым диоритам, сравнительно богатым кальцием и натрием. После среднего архея появился классический гранит, весьма богатый кальцием. В метаморфизованных осадочных породах раннего архея заключены слои основных пород, сопровождаемые большим количеством плагиоклаза. Аналогичные породы, как указывалось в раз-

деле о Луне, составляют первичную кору Луны, что также заслуживает внимания.

В заключение коротко остановимся на ископаемых остатках организмов, обнаруженных в отложениях архея. В южной части Африки в слое, образовавшемся 3 млрд. лет назад, обнаружены окаменелые бактерии и низшие водоросли (рис. 39).

Согласно современным представлениям, сразу же после образования Земли на основании минеральных и органических соединений, растворенных в первичном океане, путем многократных и сложных химических реакций создались предпосылки для возникновения жизни. В процессе химической эволюции в течение последующего 1 млрд. лет на Земле возникли первые низшие организмы.

Подвижные зоны и стабильные материковые глыбы протерозоя

После эпохи интенсивных движений земной коры и активной магматической деятельности, продолжавшейся около 1,5 млрд. лет, на всех континентах наступил относительно стабильный период. Континентальный блок разделился на две зоны: 1) в который продолжались орогенно-геосинклинальные движения и 2) в которой такие процессы прекратились. Первую автор называет подвижной зоной, вторую — стабильной материковой глыбой (рис.40). С этого начинается III-я эра эволюции Земли, которая продолжалась, как отмечалось, 2,5—0,8 млрд. лет назад.

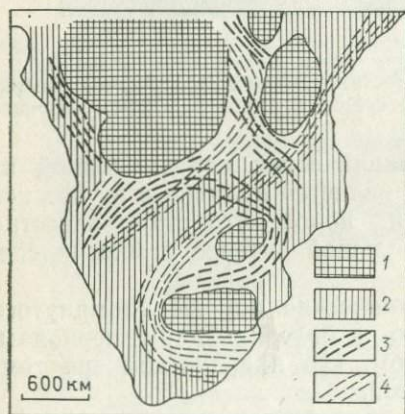


Рис. 40. Подвижные зоны протерозоя в Средней и Южной Африке

1 — архейские области; 2—4 — подвижные зоны (2 — раннего протерозоя, 3 — позднего протерозоя, 4 — позднего протерозоя и раннего палеозоя)

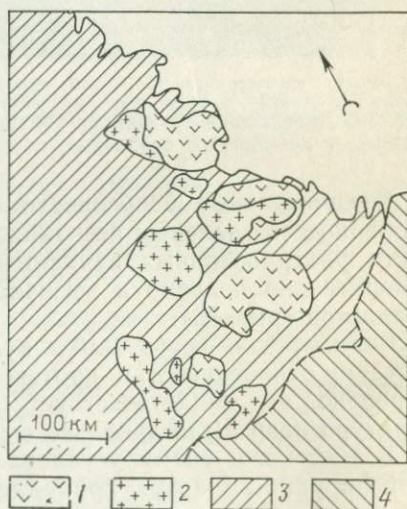


Рис. 41. Анортозиты протерозоя в восточной части п-ова Лабрадор

1 — плагиоклазы; 2 — гранит-диориты; 3 — архейские и раннепротерозойские области; 4 — позднепротерозойские зоны

Протерозойскую эру на рубеже 2,0—1,5 млрд. лет назад можно разделить на ранний и поздний периоды.

Подвижные зоны. Характерными особенностями протерозойских подвижных зон являются интенсивная базальтовая деятельность, формирование мощных геосинклинальных осадочных формаций, интенсивные складко- и сбросообразование, метаморфические процессы (образование кристаллических сланцев и гнейсов), формирование большого количества plutонических пород, главным компонентом среди которых был гранит, и др.

В этом отношении геологические процессы в подвижных зонах несколько напоминают геологические явления в зонах зеленокаменных пород архея. Однако при детальном изучении их обнаруживаются и некоторые различия. Одно из них заключается в бедности протерозойских подвижных зон ультраосновными вулканическими породами, столь характерными для зоны „зеленых песчаников“.

Согласно данным экспериментальной петрологии последних лет, для образования ультраосновной магмы в верхней части мантии необходима температура более 1500°. Следовательно, в протерозое температура верхней мантии была ниже, чем в архее. С этим, вероятно, связано и то, что в протерозое (в отличие от архея) интенсивные тектонические движения имели локальный характер.

Выявлены и различия, связанные с осадочными породами. В протерозое в большом количестве стали появляться известняки (известняк, доломит и др.), которые очень редко встречаются в архее. Кроме того, в протерозое встречены породы, окрашенные в красный цвет в связи с наличием в них мелких гранул красного или бурого железняка. Это вызвано тем, что в протерозое, как говорилось выше, возросло количество свободного кислорода в атмосфере. Наличие силикатных осадочных пород, содержащих большое количество железной руды, также является одной из особенностей протерозоя.

Возвращаясь к вопросу о вулканических породах, следует отметить, что в протерозойских подвижных зонах, кроме многочисленных гранитных интрузий, часто встречаются массивы крупнообломочных анортозитов с размерами от 10 до 100 км, что издавна привлекало внимание ученых и служило объектом многих дискуссий (рис. 41). Аналогичные породы отмечались и в архее в виде гигантских слоистых тел в метаморфических образованиях.

В таком большом количестве анортозиты не встречались ни в палеозое, ни в более поздние геологические эпохи, что также представляет большой интерес. С другой стороны, кора Луны, как уже говорилось, также сложена анортозитами. Следовательно, в последнее время проблема анортозитов стала центром внимания многих исследователей.

Стабильные материковые глыбы. Хотя мы называем материк стабильными глыбами, но в их пределах время от времени происходили и происходят различные по интенсивности тектонические подвижки с формированием внутриконтинентальных впадин с оса-

дочными толщами подчас огромной мощности, которые в дальнейшем осложнялись процессами складкообразования и дизъюнктивными дислокациями. Осадочные породы, в отличие от кристаллических сланцев и гнейсов, не подвергались процессам метаморфизма. Под воздействием глубинных тектонических процессов в пределах стабильных материковых глыб временами происходит активная базальтовая деятельность. Между вулканической и тектонической активностью существует тесная взаимосвязь.

Геосинклинально-орогенные зоны палеозоя и мезозоя

Характерной чертой конца протерозойской эры (III) являются интенсивные движения земной коры и активная магматическая деятельность, происходившие около 1 млрд. лет назад. Затем в течение 200—300 млн. лет в континентальных районах установилась стабильная обстановка. В таком состоянии Земля вступила в фанерозойскую (IV) эру. Начало последней приходится на так называемый эокембрийский или ранний период палеозоя. В этот период развиваются громадные геосинклинально-орогенные пояса на границах между архейско-протерозойскими континентами и

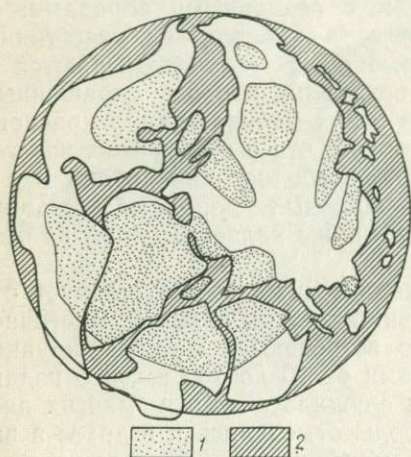


Рис. 42. Геосинклинально-орогенные зоны и стабильные континенты в начале фанерозойской эры

1 — стабильные континенты; 2 — геосинклинально-орогенные зоны



Рис. 43. Этапы формирования Европейского континента

1 — архейская и протерозойская области; 2 — каледонская зона; 3 — герцинская зона; 4 — альпийская зона; 5 — границы зон; 6 — направление основных складчатых поясов

океанами (в том числе Тихим океаном). На рис. 42 в обобщенном виде показано распространение геосинклинально-орогенных поясов в рассматриваемом периоде.

Ранее представления о геосинклинально-орогенных зонах основывались на изучении палеозойских зон Аппалачей (Северная Америка), Каледонии (Северная Европа), Альп (Западная Европа) и др. Подобные тектонические зоны имели место в протерозое и в архее в виде описанных выше подвижных поясов „зеленых песчаников“. По особенностям тектонических процессов геосинклинально-орогенные периоды обычно разделяются на геосинклинальные, охватывающие первую половину этих периодов и орогенные этапы, относящиеся к их второй половине.

Характерными особенностями геосинклинальных этапов являются интенсивная вулканическая деятельность, вертикальные колебательные движения фундамента и связанное с ними накопление преимущественно морских отложений мощностью до 10 км и более. Среди вулканических пород наблюдаются различные типы базальтов и риолитов. При активной магматической деятельности образуются ультраосновные породы, которые называют офиолитами. Сторонники гипотезы тектоники плит считают, что офиолиты характерны для древней океанической коры.

В орогенном этапе геосинклинальные осадочно-вулканические отложения подвергались сложным процессам складко- и сбросообразования, а также метаморфизма, в результате чего они превратились в кристаллические сланцы, гнейсы и другие метаморфические породы. В этот же период развивается активная магматическая деятельность с формированием преимущественно гранитных интрузий. Параллельно с этими процессами геосинклинальная зона испытывает мощные восходящие движения, в результате чего возникают крупные горные сооружения.

Изложенное является простым, схематическим представлением о геосинклинально-орогенном процессе. На самом деле он значительно сложнее. В частности, геосинклинально-орогенный период может быть разделен на ряд самостоятельных этапов (кроме собственно геосинклинального и орогенного), каждый из которых характеризуется своими особенностями развития.

Геосинклинально-орогенные зоны Европы делятся на архейско-протерозойскую, каледонскую, герцинскую и альпийскую (рис. 43).

Особенности магматических пород. Одной из характерных особенностей геосинклинально-орогенных периодов является химический состав так называемых геосинклинальных базальтов. Большинство базальтов, накапливавшихся в зонах „зеленых песчаников“ архея и подвижных зонах протерозоя, обеднено щелочными компонентами и принадлежит к так называемому толеитовому типу. В палеозойских геосинклинальных зонах появляются базальты, сравнительно богатые щелочными элементами, натрием и калием. Считают, что образование толеитовых или щелочных базальтов зависит от условий формирования магматических очагов в верхней мантии. Это, в свою очередь, указывает на то, что усло-

вия возникновения магмы в мантии претерпевали изменения в процессе развития Земли.

Что касается анортозитов, то следует отметить, что в геосинклинально-орогенных зонах, сформировавшихся после палеозоя, накопления этих пород в сколько-нибудь заметных объемах не происходило. Аналогичное можно сказать относительно гранитов. Классические типы гранитов, богатые калием, характерны для среднего архея — позднего протерозоя. Начиная с палеозоя формируются гранитные и кварцевые диориты.

Все вышеизложенное имеет тесную связь с проблемой эволюции верхней мантии, являющейся источником магмы.

Тектонические движения стабильных материков

На фундаментах архейских и протерозойских континентов происходило накопление различных по возрасту осадочных образований. По сравнению преимущественно с геосинклинальными комплексами они характеризуются меньшей мощностью, умеренной дислоцированностью, относительно слабо осложнены дизъюнктивными дислокациями. Часть из них образовалась в результате осадконакопления во внутриконтинентальных впадинах, другая, большая часть относится к осадочным отложениям, чехлу, равномерно покрывающему кровлю древнего фундамента. Эти породы содержат большое количество ископаемых, которые позволяют осадочным

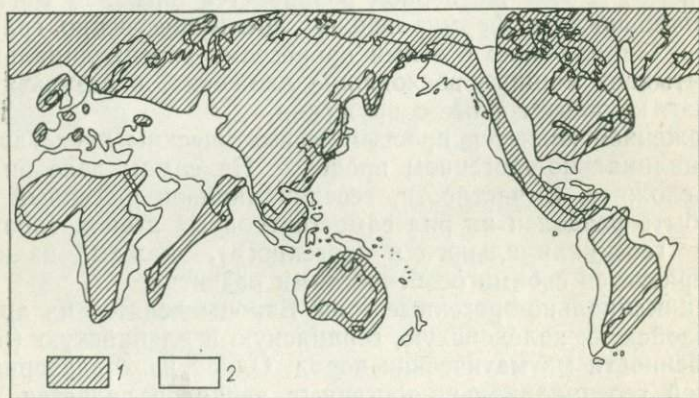


Рис. 44. Распределение морей и континентов в меловом периоде

1 — континенты; 2 — океаны

чехол разделять на отдельные толщи. Изучая эти толщи, можно высказать различные предположения об особенностях эпиконтинентальных морей, регрессий и трансгрессий моря и др. На рис. 44 показан один из примеров палеогеографических реконструкций.

В результате обобщения всех имеющихся в литературе материалов установлено, что регрессии и трансгрессии повторяются через определенные промежутки времени в виде пульсаций. При детальном изучении установлено, что трансгрессии в целом имели тенденцию к убыванию со временем, в результате чего океаны и материки приобрели современные очертания (рис. 45).

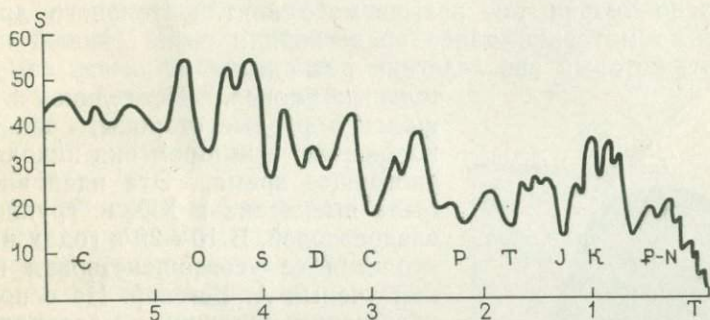


Рис. 45. Изменение площади океанов на континентах в палеозое — кайнозое

Є — кембрийский период, О — ордовик, S — силур, D — девон, C — карбон, P — пермь, Т — триас, J — юра, К — мел, P-N — кайнозой

Если считать сказанное выше справедливым, то возникает вопрос: куда исчезла морская вода, которая когда-то покрывала континенты? Этот вопрос представляет большой интерес с точки зрения истории формирования Земли и мы к нему вернемся с позиции расширяющейся Земли в главе 5. Сейчас коротко остановимся на магматической деятельности, проявляющейся на стабилизированных материках.

Как уже упоминалось, на древних континентах не происходило активных складкообразовательных движений, но проявлялись дизъюнктивные дислокации, сопровождавшиеся магматической деятельностью. Наиболее интенсивно эти процессы отмечались с докембрия до начала палеозоя, в результате чего накопились огромные толщи базальтовых магм. Подобные явления наблюдались также с середины мезозоя до середины кайнозоя (миоцена), когда во внутренних частях всех континентов изливались различные виды базальтовых магм (от толеитовых до щелочных) и других щелочных вулканических пород. В прилегающей к Тихому океану зоне происходило очень активное формирование различных типов известково-щелочных вулканических и плутонических гранитных пород. Этот период является наиболее активным по интенсивности магматической деятельности за несколько миллиардов лет.

Согласно утверждению сторонников гипотезы дрейфа, вышеописанные процессы имеют тесную связь с перемещением континентов. В противоположность этому автор считает, что перемещение континентов наблюдалось лишь в поздний период IV эры (в мезозое).

Перемещение материков как уникальное геологическое явление

Согласно теории так называемого континентального дрейфа, современные материки ранее представляли собой единый прото-континент, который впоследствии раскололся на шесть самостоятельных блоков. Последние, перемещаясь в разные стороны, заняли то положение, в котором они находятся в настоящее время. Эта идея впервые была высказана в XIX в. группой исследователей. В 10—20-х годах нашего столетия ее усовершенствовал немецкий ученый А. Вегенер. На основании обобщения различных материалов по геологии, биогеографии, палеометеорологии и другим наукам он высказал следующую точку зрения.



А. Вегенер

Первоначальный материк (Пангея) распался на несколько блоков, которые затем разошлись в разных направлениях (рис. 46). Эта гипотеза вначале вызвала огромный интерес у многих исследователей, но затем стало выясняться, что она противоречит многим из существующих научных

фактов. Поэтому интерес к ней постепенно начал угасать, и с середины 30-х годов она была предана забвению.

Возобновление интереса к гипотезе континентального дрейфа. В начале 50-х годов начали предприниматься попытки пересмотреть гипотезу континентального дрейфа. Это было связано прежде всего с большими научными достижениями в области изучения земного магнетизма. Известно, что в горных породах, особенно в магматических, в разных количествах содержатся магнетит и другие породы с сильным магнитным свойством. Оно отражает особенности магнитного поля того периода, когда формировались те или иные горные породы, и того района земного шара, где они формировались. Это явление обычно называют остаточным намагничением.

Следовательно, изучая его, можно найти положение магнитных полюсов Земли соответствующего геологического прошлого и местоположение образца горной породы, остаточное намагничение которого для того времени мы определили.

Подобные исследования частично начали проводиться еще до начала второй мировой войны, но бурное развитие они получили лишь с 1950 г. С тех пор накопилось довольно много фактических материалов. Наиболее интересными из них являются данные о миграции магнитных полюсов Земли.

В результате изучения остаточного магнетизма палеозойско-кайнозойских пород Европейского континента установлено, что современное местоположение северный магнитный полюс занял после перемещения по кривой 1 (рис. 47). При изучении магнитных свойств пород того же возраста Северной Америки установлено, что северный магнитный полюс перемещался по линии 2.

Согласно динамической гипотезе происхождения геомагнетизма трудно признать возможность существования одновременно двух северных магнитных полюсов. По-видимому, полюс был один, а его перемещения по различным направлениям являются кажущимися и вызваны миграцией в пространстве и времени материковых блоков Европы и Северной Америки, по горным породам которых построены кривые 1 и 2 на рис. 47. Сходные результаты получены при изучении магнитных свойств пород других континентов. При изучении остаточного магнетизма мезозойских и кайнозойских базальтов Индии установлено, что она ранее находилась в южном полушарии, но затем переместилась на север и заняла современное положение.

Таким образом, на основании изучения палеомагнитных свойств горных пород гипотеза Вегенера получила новые подтверждения.

С 1960 г. до последнего времени широкое применение получила гипотеза тектоники плит, которая, основываясь на результатах геологических и геофизических исследований в Мировом океане в модифицированном виде, утверждает представления о громадных горизонтальных перемещениях литосферных плит.

Автор не поддерживает идеи тектоники плит, однако на базе

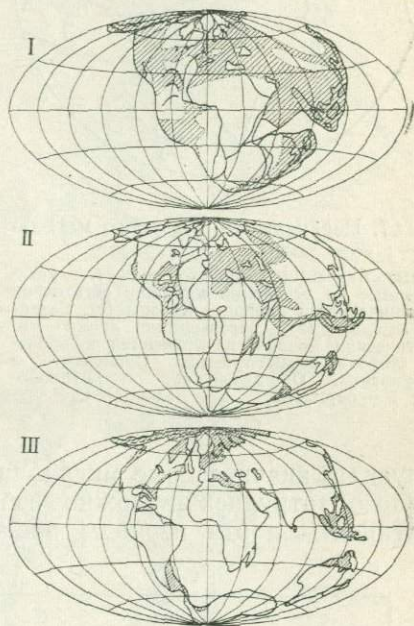


Рис. 46. Перемещение континентов (по А. Вегенеру)

I — поздний карбон, II — начало неогенового периода, III — начало четвертичного периода

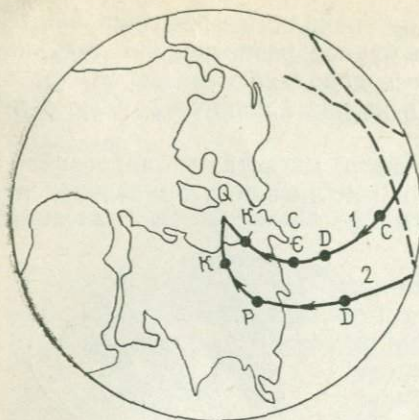


Рис. 47. Перемещение северного магнитного полюса в фанерозое

Кривые миграции северного полюса, установленные на основании изучения остаточной намагниченности пород: Европы (1), Северной Америки (2). Прерывистая линия — гипотетическая кривая, приуроченная к обратной стороне земного шара. Периоды: С — кембрийский, D — девонский, C — карбоновый, P — пермский, K — меловой, Q — четвертичный

гипотезы расширяющейся Земли признает горизонтальные перемещения материков.

Обоснование гипотезы перемещения материков. Наиболее веским подтверждением гипотезы перемещения материков являются данные о характере ледников в конце палеозоя на континентах Гондваны (Африка, Австралия, Индостан, Антарктида и Южная Америка). Здесь широко распространены карбоновые и пермские ледниковые отложения и формы рельефа, образовавшиеся в основном не в высокогорных, а в равнинных условиях вблизи полюсов Земли.

Если считать, что все эти материки остались на тех же местах, где они образовались первоначально, то необходимо

допускать значительные миграции магнитных полюсов Земли. Подобного затруднения можно избежать, если предположить, что континенты в эти периоды представляли собой единый массив,

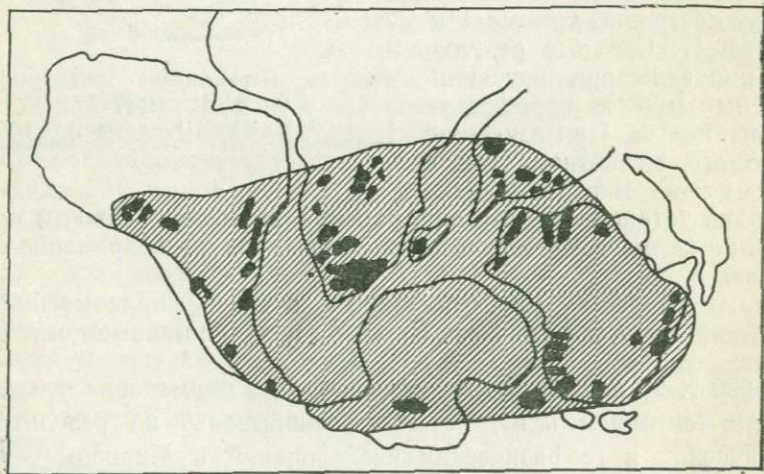


Рис. 48. Распределение ледников в конце палеозоя на материке Гондвана
Темные пятна — районы, где обнаруживаются ледники, серое пятно — гипотетический район развития ледников

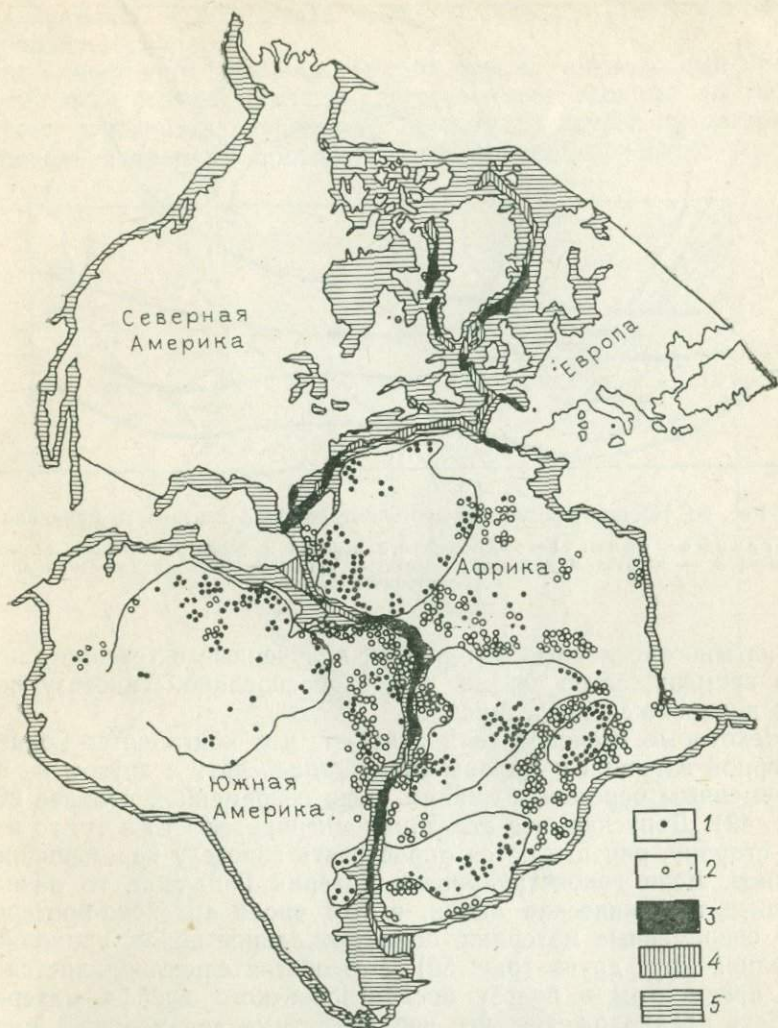


Рис. 49. Реконструкция Гондваны, по Булларду

Возраст пород: 1 — более 2 млрд. лет; 2 — около 600 млн. лет; 3 — зоны, в которых края континентов при совмещении перекрываются; 4 — абиссальные участки; 5 — континентальный шельф

внутри которого располагался южный полюс (рис. 48). Северный полюс в этом случае должен был занимать место на севере древнего Тихого океана, что хорошо согласуется с незначительным развитием ледников равнинного (предположительно околополюсного) типа на Евразийском континенте.

Издавна существует мнение о том, что большинство ледниковых отложений являются не полярными, а высокогорными. Опира-

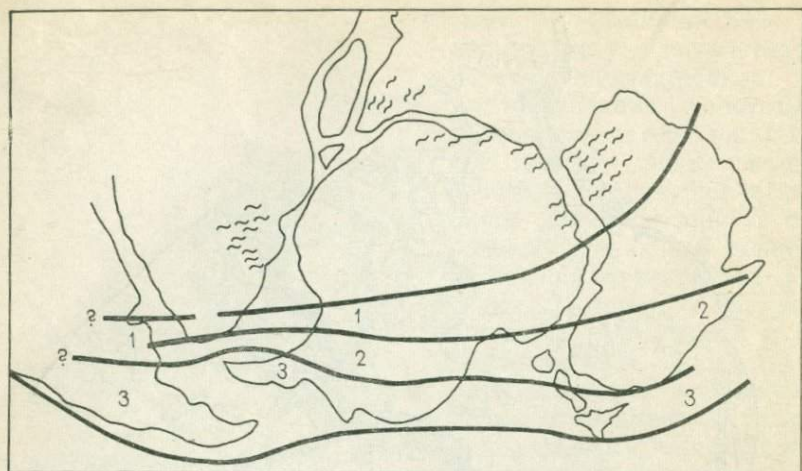


Рис. 50. Постпротерозойские орогенные зоны на континенте Гондвана

Орогенные зоны: 1 — эокембрийского периода и раннего палеозоя; 2 — позднего палеозоя; 3 — мезозоя и кайнозоя. Волнистые линии — общее направление архейских тектонических зон

ясь на многочисленные материалы, полученные в течение длительного времени, автор считает более обоснованной гипотезу полярного происхождения ледников.

Некоторые исследователи считают, что континенты Гондваны, Северной Америки и Европы совмещались друг с другом не по их современным береговым линиям, а по современной изобате 2000 м (рис. 49). Допуская, что эта линия мигрировала то в ту, то в другую сторону, они пытаются опровергать гипотезу перемещения материков. Если реконструировать материк Гондвана, то разновозрастные тектонические линии, в том числе архейско-протерозойские современные материки, образуют единое целое, продолжая и дополняя друг друга (рис. 50). Это обстоятельство является веским аргументом в пользу послемезозойского дрейфа материков.

Есть предположение, что неоднократные перемещения материков имели место в протерозое и в более поздние (докембрийские) периоды.

Островные и континентальные кайнозойские дуги как зоны зеленых туфов

На границе между северо-западной частью Тихого океана и Восточной Азией расположено несколько хорошо развитых дугообразных островных гряд (рис. 51). Такого же типа острова имеют место в Индонезии к востоку от Австралии. Их форма и струк-

тура сложились в результате тектонических движений палеоген-неогенового периода.

Вдоль восточной границы Тихого океана аналогичные гряды островов отсутствуют. Однако здесь имеются сходные по геологическому строению с островными дугами структуры, представленные цепочкой хребтов, протягивающихся вдоль берега от Аляски

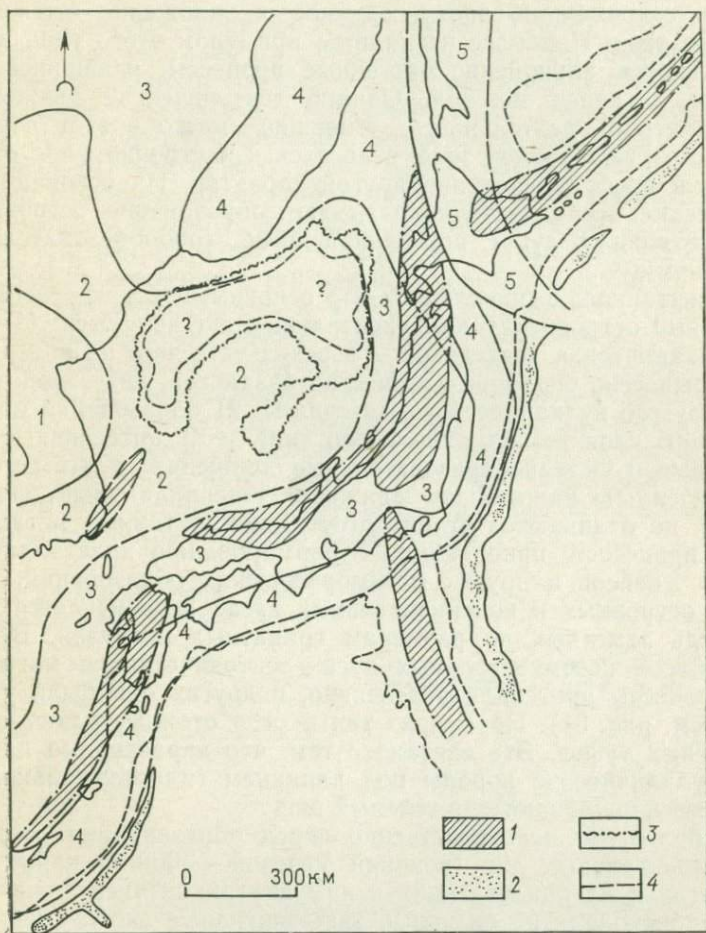


Рис. 51. Зоны зеленокаменных пород вблизи Японских островов

1 — зоны зеленых туфов; 2 — глубоководные желоба; 3 — изобата 2500 м; 4 — изобата 3000 м

1—2 — области распространения пород (1 — архейского и раннепротерозойского возраста, 2 — позднепротерозойского возраста); 3—5 — орогенные зоны (3 — позднего палеозоя и раннего мезозоя, 4 — позднего мезозоя и раннего кайнозоя, 5 — кайнозоя)

на севере до южной оконечности Южной Америки на юге. В отличие от островных дуг эти структуры автор называет континентальными дугами. Одна из ветвей такой дуги в виде Антильского

архипелага соединяется с Атлантическим океаном в районе Карибского моря, другая через о-в Скотия соединяет Южную Америку с Антарктидой (см. рис. 50).

Островные и континентальные дуги образовались в результате специфических тектонических процессов и магматической деятельности вокруг Тихоокеанского бассейна преимущественно после неогенового периода. Особенно активно их формирование происходит в современную эпоху, однако их заложение относится к концу мезозоя. Наиболее наглядным примером этого типа движений являются альпийские орогенные процессы, начавшиеся, как известно, в конце мезозоя. Однако тектонические движения и магматическая деятельность, имевшие место в этот период в Альпийско-Гималайской зоне, относятся к внутренним частям континента и носят совершенно другой характер. На основании этого японские исследователи связывают образование островных и континентальных дуг с постальпийскими горообразовательными движениями.

Из сказанного выше следует, что основными характерными особенностями островных и континентальных дуг являются: 1) активная вулканическая деятельность, в результате чего на поверхность Земли вынесено огромное количество базальтов, андезитов, риолитов и другого вулканического материала, 2) образование мощного осадочного слоя геосинклинального типа и 3) интенсивные дизъюнктивные и складкообразовательные движения. В этом отношении они сильно накладывают движения геосинклинально-орогенного типа, но отличаются от них отсутствием активных метаморфических процессов, приводящих к формированию кристаллических сланцев, гнейсов и других метаморфических образований. Кроме того, в островных и континентальных дугах не отмечается сколько-нибудь заметных по размерам гранитных интрузий. В одних островных и континентальных дугах тектонические и магматические процессы протекали интенсивно, в других они были умеренными (см. рис. 51). Первый их тип иногда отождествляют с зонами зеленых туфов. Это связано с тем, что характерные для этой зоны вулканические породы под влиянием гидротермальной деятельности окрашиваются в зеленый цвет.

До палеогена непосредственно перед образованием островных и континентальных дуг (поздний мезозой — ранний кайнозой) в этих дугах и на прилегающих к ним внутриконтинентальных участках происходили интенсивные дизъюнктивные дислокации и связанная с ними кислая магматическая деятельность, которая привела к накоплению огромного количества кислых вулканических пород и гранитов. Движения, вызвавшие формирование островных и континентальных дуг, можно отнести к одной из разновидностей движений геосинклинально-орогенного типа.

Современные островные и континентальные дуги заложилась, как указывалось, в конце неогена и продолжают формирование в настоящее время. Тектонические процессы, с которыми связано их образование, иногда называют островодужными движениями.

Землетрясения и вулканические извержения, которые часто наблюдаются в Японии и в других островных и континентальных дугах в наше время, являются движениями этого типа.

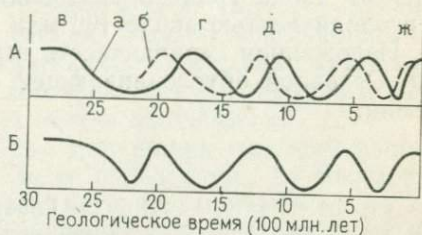
Периодичность движений земной коры и магматической деятельности

Заканчивая изложение истории развития континентальной части Земли, остановимся на представлениях о периодичности движений земной коры и магматической деятельности. Известно, что геологические изменения повторяются с периодичностью в 100 млн. лет. Другими словами, интенсивные процессы сменяются периодами относительного покоя через длительные промежутки времени. Подобные явления отмечались около 3 млрд. лет назад после позднего архея. Какие процессы происходили до этого времени, т. е. в раннем и среднем архее и в начальный этап образования Земли, неизвестно, так как наши сведения скудны.

Выше указывалось, что в архее на континентах происходили интенсивные движения земной коры и интенсивная магматическая деятельность, в связи с чем эту эру называют периодом глобальных колебательных движений. Однако до сих пор не ясно, не прекращались ли упомянутые геологические процессы в течение всего протерозоя, который продолжался около 1,5 млрд. лет, или эпоха сравнительно интенсивных движений сменилась периодом относительного затишья. По нашим представлениям, подобная периодичность была особенно характерной для архея.

Рис. 52. Движение земной коры и периодичность магматической деятельности

А — в геосинклинально-орогенных зонах (а — орогенный период, б — геосинклинальный период), Б — на континентах (в — кеноранские, г — гадсонские, д — эренбургские, е — каледонско-герцинские, ж — альпийские движения)



На рис. 52 А показана периодичность геологических процессов в геосинклинально-орогенных зонах. Как излагалось выше, характерными элементами их развития являются вулканическая деятельность с интенсивными излияниями базальтов: резкие колебания фундамента, сложенного мощными геосинклинальными осадочно-вулканогенными толщами, и последующее активное горообразование с интенсивным складко- и сбросообразованием, метаморфическими процессами и образованием огромного количества интрузий гранитов.

Непрерывная линия на рис. 52 А показывает периодичность орогенных процессов. Она построена на основании установленных

периодов формирования гранитов и метаморфических пород. Прерывистая линия указывает на периодичность геосинклинальных процессов. Она основана на известных геологических данных о том, что геосинклинальный период обычно начинается приблизительно на 20 млн. лет раньше орогенного. Этот метод выбран из-за отсутствия данных о времени формирования геосинклинальных базальтоидов.

Из рис. 52 А видно, что геологические движения геосинклинально-орогенного типа повторялись с периодичностью в сотни миллионов лет. На рисунке видна лишь смена интенсивных геологических процессов периодами спокойного режима и поэтому амплитуду кривой нельзя рассматривать как абсолютный размах движения.

На рис. 52 Б представлена периодичность базальтовой деятельности, происходившей в пределах протерозойских стабильных континентальных глыб начиная с палеозоя. Построение кривой основано на известных данных о периодах формирования и накопления магматических пород. И в этом случае также выявляется периодичность в сотни миллионов лет.

При сопоставлении кривых А и Б выясняется, что геологические движения в геосинклинально-орогенных зонах хорошо согласуются с таковыми на стабильных материковых глыбах и континентах.

Следует отметить, что в периоды интенсивной базальтовой вулканической деятельности в процессах стабильных глыб и континентов отмечается активизация аналогичных вулканических процессов и в геосинклинально-орогенных зонах, за которыми обычно следует эпоха гранитообразования. Такие процессы повторяются с периодичностью около 100 млн. лет.

Изложенная периодичность выявлена автором в последнее время. Основной обуславливающей ее силой он считает расширение Земли.

Глава 4

ЭВОЛЮЦИЯ ОКЕАНОВ

Тайна эволюции океанов

Вопросы об океане рассматривались в разных разделах настоящей книги. В частности, в главе 2 затрагивалась проблема происхождения океанической коры в связи с образованием коры континентального типа. В настоящем разделе остановимся на вопросах эволюции Мирового океана.

Ложе Мирового океана представляет собой ту его часть, где глубина до его дна превышает 4000 м. Как указывалось в главе 2, эта часть Мирового океана характеризуется корой, совершенно

отличной от коры континентального типа. Отсюда следует, что океаническая кора не является простым понижением поверхности континентов и что она образовалась совершенно по-иному, чем кора материков.

Кроме того, океаническая кора, по-видимому, во все геологические эпохи имела такое же строение, как и в наше время. Например, как излагалось в разделе о континентальном дрейфе, первичный континент, который до позднего палеозоя представлял собой единый блок, в начале мезозоя расчленился, и отдельные его глыбы разместились в тех районах, где они находятся в настоящее время, т. е. Атлантический и Индийский океаны сформировались после мезозоя, ранее их не было.

С другой стороны, в пределах континентальных окраин, прилегающих к современному Тихому, к Северному Ледовитому океанам и к северной части Атлантического океана, расположены геосинклинально-орогенные пояса, образовавшиеся в начале фанерозоя (эокембрий — ранний палеозой). Это свидетельствует о том, что в начале фанерозоя в районах современного Тихого, Атлантического и Северного Ледовитого океанов размещались океанические зоны, хотя они имели совершенно другие формы. Их назовем соответственно древними океанами. Как говорилось во второй главе, автор считает, что в начальный период формирования Земли площадь первичных континентов и океанов соотносилась как 3:2. Если принять во внимание это предположение, то можно сделать вывод, что Тихий и Атлантический океаны образовались в результате длительного развития первичного океана в архее и протерозое.

Кроме того, нельзя даже представить себе характер океанической акватории того времени, так как геосинклинально-орогенные зоны соответствующих геологических эпох, подобно архейским зонам «зеленых песчаников» и протерозойским подвижным поясам, формировались во внутренних частях континентов.

В связи с изложенным некоторые сторонники гипотезы расширения Земли считают, что с начала ее образования до эокембрия (что составляет примерно половину истории планеты) на ее поверхности не было участков с океанической корой (хотя были моря), и лишь в раннем палеозое началось формирование древних океанов (например, Тихого океана). В мезозое образовались восточная часть Тихого океана, Атлантический и Индийский океаны, которые приобрели впоследствии современные контуры. В этом случае можно предположить, что геосинклинально-орогенные пояса, образовавшиеся в раннем палеозое, возникли вдоль пограничной зоны первичного континента с древним Тихим океаном. Хотя эта идея высказана сторонниками гипотезы расширения Земли, на позициях которой стоит автор, он, тем не менее, не разделяет ее. Для обоснования своего возражения автор считает целесообразным вначале рассмотреть ряд вопросов о строении океанов.

Подводные срединноокеанические хребты — гигантские сооружения морского дна

На основании данных, полученных при исследовании дна Мирового океана, созданы различные концепции, например, гипотеза расширения дна океана, тектоника плит и др.

Ниже мы остановимся на некоторых наиболее важных проблемах геоморфологии океанического дна. К их числу относится мировая система срединноокеанических хребтов. Их ширина колеблется от нескольких сотен до тысячи километров, длина соизмерима с окружностью земного шара. Они возвышаются над соседними глубоководными впадинами океана на 3000—4000 м. На материках подобные хребты отсутствуют.



А. Холмс

Из рис. 53 видно, что большинство хребтов размещается примерно на равном расстоянии от прилегающих континентов. В связи с этим их называют Срединно-Атлантическим, Срединно-Индийским, Срединно-Тихоокеанским хребтами. В осевых частях хребтов прослеживаются грабенообразные впадины. Эти хребты под большими углами осложнены многочисленными разрывными зонами — трансформными разломами, по которым отдельные участки срединноокеанических хребтов смещены в ту или другую сторону.

Величина теплового потока Земли вблизи хребтов, как правило, выше, чем в прилегающих глубоководных котловинах. Особенно характерны высокие значения теплового потока для осевых частей хребтов. Это объясняется подъемом здесь из глубоких частей Земли высокотермальных веществ в результате восходящих потоков так называемой мантийной конвекции.

Еще до начала второй мировой войны английский геолог А. Холмс выдвигал гипотезу о том, что континенты расчленились и разошлись в разные стороны под действием восходящих потоков высокотермальной мантийной конвекции, взаимодействующей с нижней частью континентальной коры.

Существование рассматриваемых хребтов послужило основанием для подтверждения справедливости гипотезы мантийной конвекции и способствовало ее распространению.

Расширилось ли дно океана? Важной особенностью срединноокеанических хребтов является тот факт, что от их осей расходятся в разные стороны так называемые полосовые магнитные аномалии. Они представляют собой систему чередующихся положительных и отрицательных аномалий, параллельных срединноокеа-

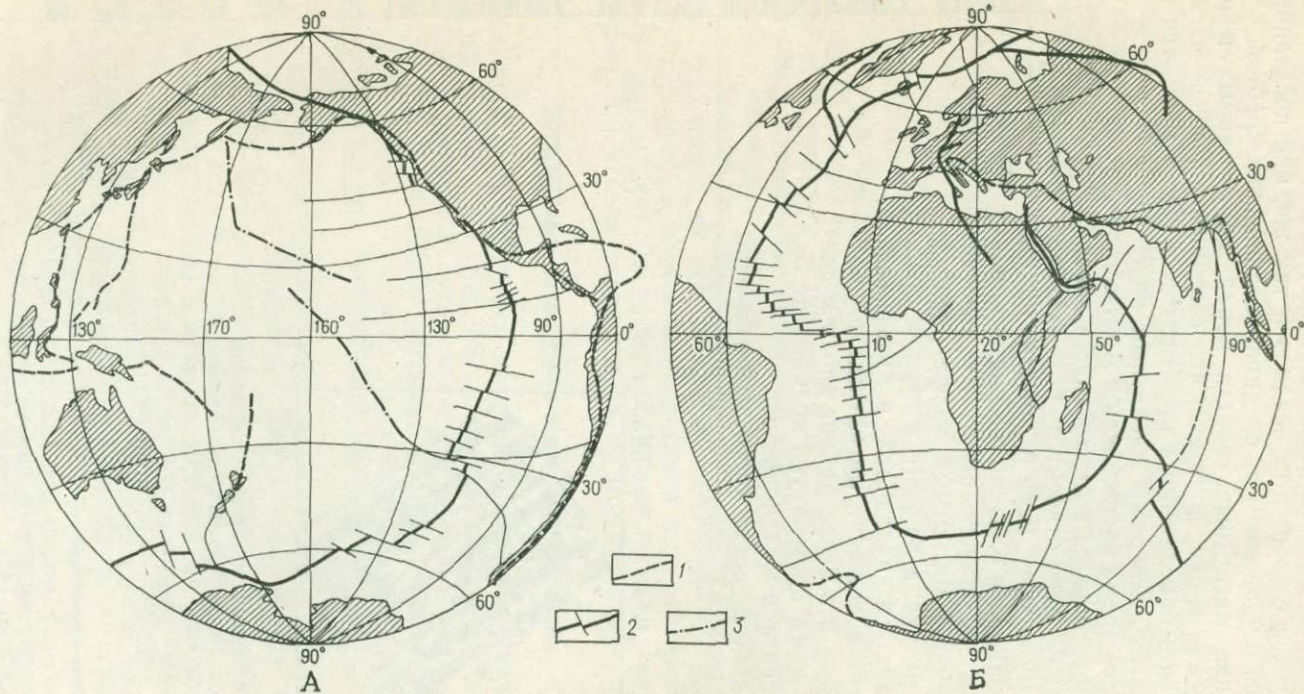


Рис. 53. Кайнозойские тектонические зоны
 1 — островные и континентальные дуги и Альпийско-Гималайский пояс; 2 — зона океанических хребтов и грабенов (рифты); 3 — вулканические хребты в центральной части Тихого океана

ническому хребту (рис. 54). Как известно, возраст осадков по мере удаления от хребтов возрастает. Возраст магнитных аномалий коррелируется с возрастом осадков и так же, как последний, увеличивается с удалением от срединноокеанических хребтов.

Изучение магнитных свойств пород, образованных в разные геологические эпохи, показало, что северный и южный магнитные полюса через определенные промежутки времени меняются местами. Например, северный магнитный полюс в настоящее время расположен в Арктике, а раньше он находился в Антарктиде. Сказанное в равной мере относится и к южному магнитному полюсу. Если в качестве примера взять наиболее близкий к нашему времени период, то, скажем, около 700 тыс. лет назад северный магнитный полюс располагался в Арктике, а до этого в течение около 1,5 млн. лет он находился в Антарктиде. Смена местоположения магнитных полюсов происходила и в более ранние эпохи и повторялась через промежутки времени от одного до десятков миллионов лет.

Если вектор остаточного намагничивания ориентирован на север и определяемое

Геохронология

Плейстоцен

Плиоцен

Миоцен

Олигоцен

Эоцен

Палеоцен

Меловой период

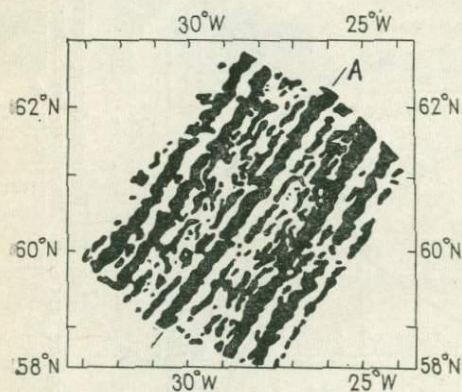


Рис. 54. Полосовые магнитные аномалии, параллельные осям срединноокеанических хребтов. Изображен хр. Рейкьянес на юго-западе Исландии; черные полосы — положительные аномалии, белые — отрицательные; А — ось хребта

Рис. 55. Инверсия магнитного поля позднего мезозоя (черный цвет — прямое намагничение, белый — обратное намагничение)

местоположение северного полюса совпадает с Арктикой, а южного — с Антарктикой, то говорят о прямом намагничении. Если северный магнитный полюс, наоборот, расположен в Антарктиде, а южный — в Арктике, то такое намагничение называется обратным (рис. 55).

Процесс формирования полосовых магнитных аномалий сторонники гипотезы расширяющегося океана трактуют следующим образом. В осевых долинах срединноокеанических хребтов, располагающихся над восходящими потоками мантии, на дно моря непрерывно поступают из верхней мантии базальтовые магмы. По мере поступления на дно моря они растекаются в разные стороны и раздвигают вместе с собой океанические литосферные плиты.

Удаляясь от оси срединноокеанических хребтов, магма постепенно застывает и фиксирует в виде вектора остаточного намагничения направление на магнитный полюс. Так как магнитные полюса меняются своими местами, блоки базальтовой магмы оказываются намагниченными то прямо, то обратно. Эта схема тесно связана с механизмом формирования новообразований океанической коры в результате спрединга (расширения дна океана). На критике этой гипотезы остановимся в главе 5. Здесь лишь отметим, что если изложенная трактовка справедлива, то полосчатость магнитных аномалий должна быть ограничена удалением от оси хребта на несколько сотен километров, максимум на 200. На больших удалениях от оси хребта полосчатость чрезвычайно усложняется и вряд ли может быть уложена в рамки простой системы полосовых магнитных аномалий. Кроме того, по мнению автора, расширение осевой части хребта не может превышать 100 км.

Вулканические острова и подводные горы

В океанах распространены многочисленные вулканические острова и подводные горы (рис. 56). Большинство вулканических островов небольшие, хотя существуют и крупные, такие, например, как Исландия и Гавайские острова. Если их рассматривать совместно с подводными частями, то они часто оказываются крупными вулканическими постройками, которые редко можно встретить на суше.

Так называемые морские горы представляют собой крупные вулканические конусы, полностью погруженные в воду. Среди них встречаются плосковершинные горы (гайоты). Они особенно характерны для западной части Тихого океана (рис. 57).

Вулканические породы в океанах. Основными породами, слагающими вулканические острова и подводные горы, являются базальты и в небольшом количестве различные щелочные вулканисты. Большинство их образовалось в кайнозойе, но среди пород, слагающих гайоты, встречаются позднемезозойские. Все эти вулканические породы в петрологическом отношении близки к кайнозойским вулканическим породам островных и континентальных дуг (для них характерны известково-щелочные породы, такие, как ан-

дезит, риолит и др.). Они сходны и с кайнозойскими вулканитами внутренних частей континентов, отличаясь от них лишь некоторыми свойствами.

Большинство базальтов, составляющих крупные вулканические острова, такие, как Исландия и Гавайские острова, относятся к толеитам. Вместе с тем на вершинах Гавайских островов встречается лава, изливавшаяся на конечной стадии вулканической деятельности и относящаяся к щелочным базальтам и различным видам основных пород. Небольшие вулканические острова также

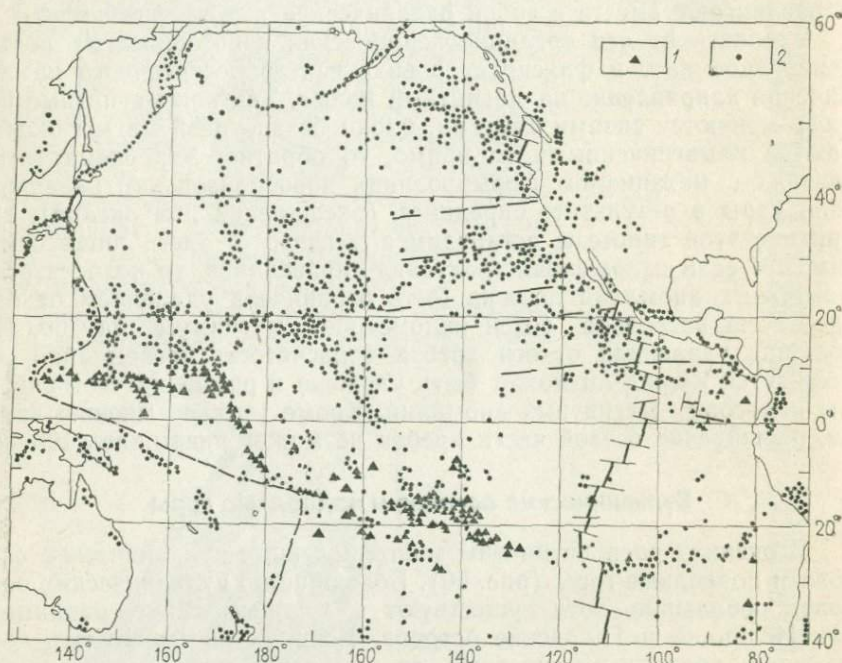


Рис. 56. Вулканические острова и подводные горы Тихого океана

1 — вулканические острова; 2 — подводные горы и наземные вулканы

сложены щелочными базальтами и другими основными породами, однако нижняя их часть, погруженная под воду, представлена главным образом толеитовыми базальтами, и в этом отношении они сходны с Гавайскими островами. Кроме того, многие породы, драгированные с подводных хребтов и глубоководных котловин, также принадлежат к одной из разновидностей толеитового базальта. В последнее время установлено, что вулканиты, поднятые при бурении в глубоководных частях океана, также относятся к толеитам. Таким образом, можно сделать вывод, что большая часть дна океана сложена кайнозойскими толеитовыми базальтами.

Как уже указывалось в главе 2, базальты, поднятые при глу-

боководном бурении, относятся ко второму океаническому слою. Однако до сих пор неизвестны состав и время формирования третьего слоя, являющегося основной частью океанической коры. От степени изученности этого вопроса в значительной мере зависит решение проблемы происхождения океанов.

Тайна плосковершинных морских гор. Плоские вершины морских гор в настоящее время располагаются на глубинах от 500 до 1000 м. На них нередко находят отложения мелководных морей, устанавливаемых по органическим остаткам. Это, по-видимому, свидетельствует о том, что вершины этих гор ранее возвышались над уровнем моря.

Интересно отметить, что чем глубже современное море, тем более древние ископаемые организмы встречаются на вершинах таких гор. Так, ископаемые организмы, найденные на плоской вершине одной из гор на глубине 1000 м, относятся к позднему мезозою (рис. 58). Это объясняется постепенным повышением уровня океана. Но относительно причин этого явления существует лишь ряд гипотез и отсутствует единая точка зрения. Одно из объяснений основано на увеличении объема морской воды, другое предполагает поднятие уровня океана под влиянием крупных вертикальных движений земной коры. Для признания второй гипотезы необходимо допускать, что или морское дно должно было подняться на обширной территории (например, в результате образования морских хребтов), или должны были значительно подняться континенты.



Рис. 57. Распределение гайотов и атоллов в Тихом океане

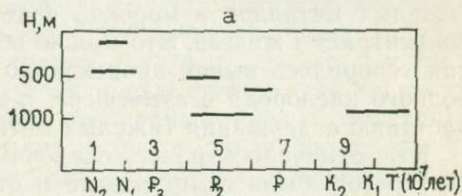


Рис. 58. Зависимость между возрастом ископаемых организмов, обнаруженных на вершинах гайотов, и глубиной воды до дна моря в районах их нахождения (а — поверхность моря)

Изменение объема морской воды в течение геологической истории Земли

Химический состав. Прежде всего рассмотрим вопросы, связанные с химическим составом морской воды. К настоящему вре-

мени достаточно хорошо известно, какие компоненты и в каком количестве содержатся в современной морской воде. Состав древних морских вод предположительно определялся на основании анализа химического состава морских осадков.

Как упоминалось, не совсем ясна история геологического развития районов, ныне занятых океанами. Что же касается континентов, то здесь дело обстоит лучше, так как отдельные их участки в различные отрезки времени затоплялись морями, от которых остались «следы» в виде осадочных толщ с содержащимися в них ископаемыми остатками. Согласно имеющимся данным, состав морской воды почти не подвергался изменению за два последних миллиарда лет, т. е. со времени среднего протерозоя. Это связано с тем, что все компоненты, приносимые в море речными водами, впоследствии осаждаются на дне моря и тем самым удаляются из морской воды.

С другой стороны, существует предположение о том, что около 2 млрд. лет назад произошло резкое повышение количества тяжелых металлов в морской воде при одновременном снижении концентрации железа. Это можно объяснить тем, что в этот период, как говорилось выше, происходило повышение концентрации свободного кислорода в атмосфере, и это, вероятно, приводило к возрастанию содержания тяжелых металлов в морской воде.

Как отмечалось ранее, осадочные породы, образовавшиеся до протерозоя, были силикатными и отличались высоким содержанием железа, что также имеет определенное отношение к вышеизложенному.

Изменение объема. Как уже излагалось в главе 2, в начальный период образования Земли из ее недр интенсивно выделялась газообразная фаза, и в результате накопления водяного пара на поверхности Земли образовалась морская вода. Вода продолжала поступать из недр Земли и в последующую историю развития. Возникает вопрос, каково соотношение первичных и вторичных вод?

На этот вопрос существуют три ответа. Наиболее заслуживающим внимания из них является тот, который предполагает, что больше половины воды накопилось при дегазации Земли в начальный период ее становления и что образовавшаяся впоследствии вода составляет незначительную долю (рис. 59, кривая 1). Другая гипотеза утверждает, что вода в Мировом океане накапливалась постепенно (см. рис. 59, кривая 2). Согласно третьей точке зрения, основное количество воды накопилось в последний отрезок геологического развития Земли (см. рис. 59, кривая 3).

Решение рассматриваемого вопроса представляет значительные

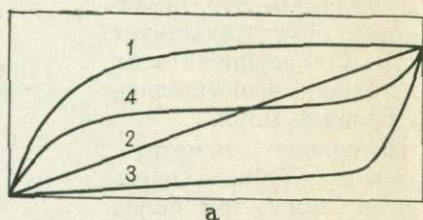


Рис. 59. Изменение количества морской воды (а — время)

трудности, так как он непосредственно связан с другими явлениями, такими, как осадконакопление, тектонические движения, изменение размеров океанической впадины и др.

На основании изучения накопленных материалов автор ранее выдвигал точку зрения, сходную с первой и третьей гипотезами (см. рис. 59, кривые 1 и 4).

Глава 5

РАСШИРЕНИЕ ЗЕМЛИ

Разумное и неразумное направления в научном познании

В настоящее время среди ученых, изучающих Землю, сторонники теории ее расширения составляют небольшое число, но, по мнению автора, эта гипотеза, тем не менее, сыграет большую роль в развитии наук о Земле.

Большинство исследователей считают, что при своем зарождении Земля имела такие же размеры, объем и массу, какие она имеет сейчас. Следует оговориться, что многие геологи по разным причинам не выступают категорически против гипотезы расширения Земли. Они лишь находятся под влиянием устаревших представлений о неизменности и постоянстве размеров Земли, т. е. придерживаются общепринятых представлений.

Уместно здесь напомнить слова А. Эйнштейна: «Знание является функцией времени». Эти слова им были произнесены в начале нашего века при опубликовании гипотезы относительности и адресованы многим физикам, выступавшим против этой гипотезы.

Вероятно, расширение Земли противопоставлено бытующим представлениям о развитии Земли, но оно имеет убедительные основания. Раньше существовала идея о том, что движущей силой перемещения континентов, возможно, служит расширение вещества верхней части мантии. Но она отличается от тех представлений, в основе которых лежит идея постепенного расширения Земли. Изучением вопроса о возможном расширении Земли автор специально занимался более 40 лет.

Еще до второй мировой войны некоторые исследователи высказывались о расширении Земли (например, немецкий ученый О. Хильгенберг). После войны, в основном с 1950 г., этот вопрос начал возникать снова. К числу сторонников этой гипотезы послевоенного периода можно отнести венгра Л. Эгита (1956 г.), австралийца С. Кэри (1955 г.), советского ученого А. С. Кириллова (1958 г.), американца Б. Хизена (1959 г.) и др. Впоследствии статьи о расширяющейся Земле начали появляться во многих журналах научных обществ, а в последнее время по этому вопросу были опубликованы специальные книги, написанные С. Кэри (1976 г.) и Р. Джорданом (1971 г.). Нельзя сказать, что все вышеперечисленные исследователи подходят к вопросу о расширении Земли одинаково.

Хотя автор признает так называемое перемещение континентов, он не может согласиться с тектоникой плит. В поисках выхода из кажущегося на первый взгляд противоречия автор постепенно становится на сторону гипотезы расширяющейся Земли. Следует отметить, что не только сам автор, а почти все сторонники этой гипотезы относятся к тектонике плит скептически. Исключение не составляют и такие ученые, как А. Холмс (1965 г.), которые, признавая некоторые аспекты гипотезы расширения Земли, в основном все же стоят на позициях гипотезы тектоники плит или признают расширение Земли, но возражают против перемещения континентов и т. д.

Критика гипотезы тектоники плит. Миф о субдукции

Гипотеза тектоники плит была впервые провозглашена в 60-х годах нашего столетия как синтез двух других гипотез — дрейфа и расширения морского дна. Этому способствовало накопление геофизических и геологических материалов о строении Мирового океана.

Первоначально гипотеза тектоники плит разрабатывалась для объяснения явлений недавнего геологического прошлого. В связи с этим среди сторонников тектоники плит встречаются ученые, которые указывают на то, что эту гипотезу можно применять к послепалеозойским геологическим событиям, и сомневаются в ее соответствии более древним геологическим явлениям. Однако в последнее время стали появляться многочисленные публикации, свидетельствующие о механическом применении гипотезы тектоники плит для объяснения геологических процессов в палеозое и более ранних периодах. Такая тенденция наблюдается и в капиталистических, и в социалистических странах.

Критика тектоники плит была опубликована в статье З. Фунзита из университета в Ниигата (Асахи, 1978, № 6), в которой выдвигаются интересные представления.

Основные положения гипотезы тектоники плит. Тектоника плит исходит из предпосылки о том, что поверхностный слой Земли представлен литосферой (кора плюс самая верхняя часть мантии) толщиной около 100 км. Под ней расположен слой, находящийся в расплавленном состоянии (низкоскоростной слой). В современную эпоху литосфера расколота приблизительно на 10 больших плит, огромные горизонтальные перемещения которых над низкоскоростным слоем мантии в значительной мере определяют различные движения коры.

Если упомянутую перемещающуюся литосферу венчает континентальная кора, то говорят о перемещении дна океана.

Согласно гипотезе тектоники плит, размер Земли является постоянным. Фронтальная часть перемещающейся плиты по тектонике плит непрерывно погружается под соседнюю плиту. Это явление называется субдукцией. В соответствии с этим считается, что островные и континентальные дуги вокруг Тихоокеанского бассей-

на и Альпийско-Гималайский геосинклинально-орогенный пояс совпадают с современными зонами субдукции. Погружение плиты непрерывно компенсируется ее наращиванием в срединноокеанических хребтах в результате выноса мантийного материала (преимущественно базальтов).

Что же играет главную роль в горизонтальных перемещениях плит?

По этому поводу существуют две точки зрения. Первая из них предполагает, что движущей силой является восходящий поток мантийного материала в срединноокеанических хребтах. Мантийный материал, поднимаясь к дну океана в результате восходящего конвективного потока, раздвигает новообразованные океанические плиты в обе стороны от срединноокеанических хребтов. Согласно второй гипотезе, наоборот, движущей силой является субдукция плиты, вследствие чего в осевых частях срединноокеанических хребтов происходит непрерывное наращивание океанических плит. Та и другая гипотезы предполагают, что подъем мантийного материала в срединноокеанических хребтах и субдукция океанической плиты являются взаимодополняющими парами единого тектонического процесса. В этом заключается одна из основных идей тектоники плит.

Миф о субдукции — один из основных недостатков гипотезы тектоники плит. Как упоминалось, многие подводные хребты располагаются примерно на одинаковом расстоянии от соседних континентов. А в некоторых районах, как, например, на западе Северной Америки, они проникают внутрь материка. Мировая система срединноокеанических хребтов в целом выглядит как система колец, окружающих континенты.

С другой стороны, основная часть островных и континентальных дуг развивается в пограничной зоне между Тихим океаном и соседними материками. Одно из ответвлений островных дуг протягивается между Юго-Восточной Азией и восточной частью Индийского океана. Она простирается в северо-западном направлении и через Алаканский хребет в Бирме соединяется с Гималайско-Альпийской складчатой зоной.

Выше отмечалось, что срединноокеанические хребты, с одной стороны, а островные или континентальные дуги — с другой, представляют собой взаимодополняющую пару. Однако если рассматривать этот вопрос в масштабе всей Земли, то это оказывается далеко не всегда так. Например, не выглядят взаимодополняющими парами Срединно-Индийский хребет и расположенные по обе стороны от него континенты Антарктида, Африка, Азия, Австралия (рис. 60), если последние уподобить островным или континентальным дугам.

Взаимодополняющее расположение хребтов и дуг отмечается лишь в отдельных районах. Например, в таких соотношениях находятся Восточно-Тихоокеанский хребет и континентальная дуга западного побережья Южной Америки.

Центральные части срединноокеанических хребтов осложнены

грабенообразными структурами, называемыми рифтами. Ширина их и соответственно толщина новообразованных литосферных плит изменяются от нескольких десятков до 100 км. Автор считает, что трудно представить себе субдукцию древней литосферы, имеющей такую толщину. Трудно также согласиться с тем, что новообразованная литосфера, имея такую толщину, простирается на несколько тысяч километров и более.

Как неоднократно упоминалось ранее, в конце палеозоя первичный континент расчленился на несколько частей, которые затем разместились в тех районах, которые они занимают в настоя-

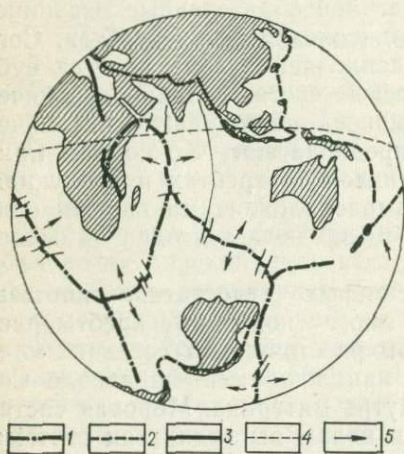


Рис. 60. Срединноокеанические хребты, островные и континентальные дуги в Индийском океане и прилегающих акваториях

1 — зона рифтов; 2 — зона островных дуг и желобов; 3 — трансформные разломы; 4 — экватор; 5 — направления движения океанических плит

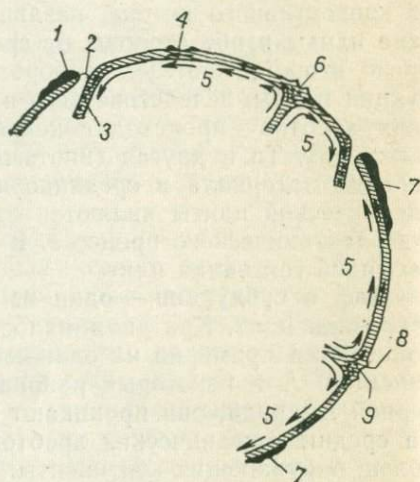


Рис. 61. Схематическое изображение основных особенностей гипотезы расширения океанического дна

1 — островная дуга; 2 — глубоководный желоб; 3 — субдуцирующая часть океанической литосферы; 4 — вулканические острова; 5 — мантийная конвекция; 6 — срединно-океанический хребет; 7 — континент; 8 — зарождающаяся литосфера; 9 — рифтовая зона срединноокеанического хребта

щее время. Атлантический и Индийский океаны с этих позиций являются новообразованными морфоструктурами. В этом случае, согласно тектонике плит, утверждающей неизменность размеров Земли, дно древнего Тихого океана в соответствии с его расширением должно субдуцировать под соседнюю континентальную литосферу. Так, под континенты Южной и Северной Америки погружается литосферная плита древнего Тихого океана размерами в несколько тысяч километров. При погружении ее под Южноамериканский континент она должна быть пододвинута до Атлантического океана. Следует заметить, что неизвестно, соответствует сказанное действительности или нет.

Рис. 61 объясняет основные положения тектоники плит. Однако особенности погружения океанической литосферы под океан на этом рисунке изображены недостаточно детально. Более детально этот процесс изображен на рис. 62.

Под береговыми хребтами Южной Америки наблюдаются средне- и глубоководные землетрясения с глубиной около 300 км.

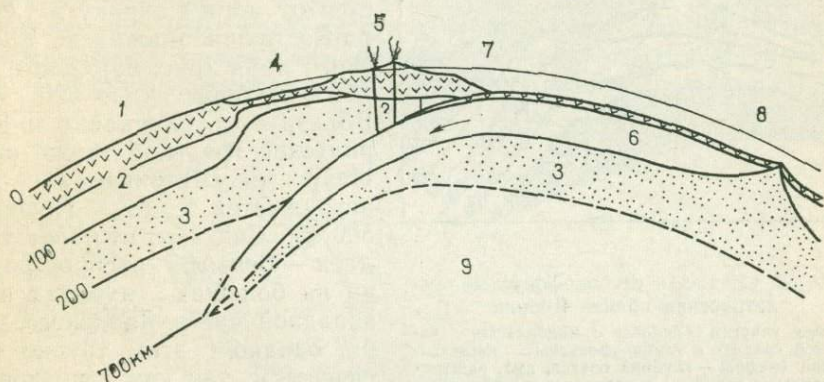


Рис. 62. Модель верхних частей Земли при столкновении двух плит

1 — континент; 2 — континентальная литосферная плита; 3 — астеносфера; 4 — крайнее море; 5 — островная дуга; 6 — океаническая плита; 7 — глубоководный желоб; 8 — срединноокеанический хребт; 9 — мезосфера

Более глубокие землетрясения (до глубины 500 км) размещаются на внутренней стороне хребта. Эти землетрясения приурочены к слою, наклоненному от океана в сторону Южноамериканского континента. Этот слой часто отождествляется с океанической литосферой, погружающейся под континент. Согласно другой точке зрения, упомянутые землетрясения возникают в результате взаимодействия между собой океанической и континентальной литосфер.

Рассматриваемые слои обычно называют зонами Беньофа — по имени автора, детально изучавшего их в послевоенное время. Однако пионером, исследовавшим впервые причину возникновения средне- и глубоководных землетрясений еще в 1930 г., является С. Вадати. Поэтому мы считаем правильным называть рассматриваемый слой зоной Вадати — Беньофа.

Зона Вадати — Беньофа отсутствует под Тихоокеанским побережьем Северной Америки, но она



С. Вадати

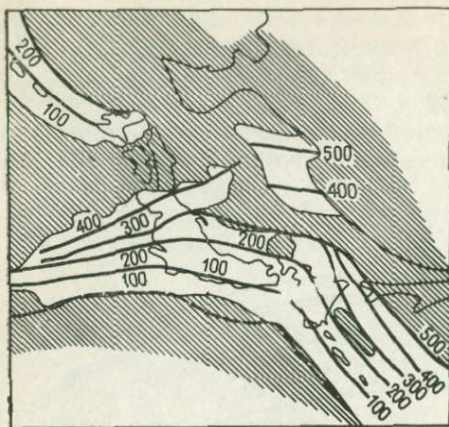


Рис. 63. Средне- и глубоководные землетрясения вблизи Японии

Белые участки — районы с наибольшей частотой средне- и глубоководных землетрясений (цифры — глубина очагов, км), заштрихованные — районы с незначительной частотой землетрясений, пунктирная линия — ось глубоководного желоба

хорошо прослеживается под островными дугами северной и западной частей Тихого океана, а также под Индонезийской дугой. В районе Японии зона средне- и глубоководных землетрясений простирается от моря Санрику и Северо-Восточной Японии до Японского моря (рис. 63), достигая здесь глубины около 300 км. Вблизи о-ва Хоккайдо и Курильской гряды, а также о-ва Идзу рассматриваемая зона погружается до глубины 500 км. Считают, что зона Вадати — Беньофа распространена на больших глубинах и в западной части Японского моря, однако с этим трудно согласиться, так как глубоководные землетрясения здесь практически отсутствуют.

Таким образом, нет убедительных доказательств, подтверждающих одно из положений тектоники плит о совпадении островных и континентальных дуг с зонами субдукции.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

По мнению автора, современные центральные части срединно-океанических хребтов, в которых происходит новообразование океанической литосферы, имеют ширину от нескольких десятков до 100 км. Если предположить, что процессы новообразования литосферы, как считают сторонники тектоники плит, происходили в таких крупных масштабах, то вряд ли можно согласиться с существованием зоны субдукции.

Величина расширения Земли

Как уже упоминалось в главе 2, диаметр Земли, по мнению автора, в начальный период образования был на 1500 км меньше, чем в настоящее время. Кора образовалась путем длительных и сложных преобразований вещества первичного континента. Но его масса осталась неизменной, несмотря на увеличение площади и объема. В послепалеозойский этап развития в результате расширения глубинных частей Земли образовалось дно океана. Первичный континент расчленился на несколько частей, которые разошлись в разные стороны.

Однако нельзя категорически утверждать отсутствие расширения до мезозоя. Вероятно, тенденция к незначительному расшире-

нию, которое служило движущей силой для тектонических и магматических процессов, все же имела место.

Относительно вышеприведенного первого аргумента возникает вопрос: насколько реально предположение о соотношении между континентальной и океанической частями, равное 3:2? Подобное соотношение площадей континентов и океанов между повышенными и пониженными частями рельефа отмечается на Луне и Марсе. Однако по отношению к первичной Земле оно является сугубо гипотетическим. На основании этого предположения диаметр современной Земли может быть больше приблизительно на 1500 км, чем в начальный период ее образования. При возрастании диамет-

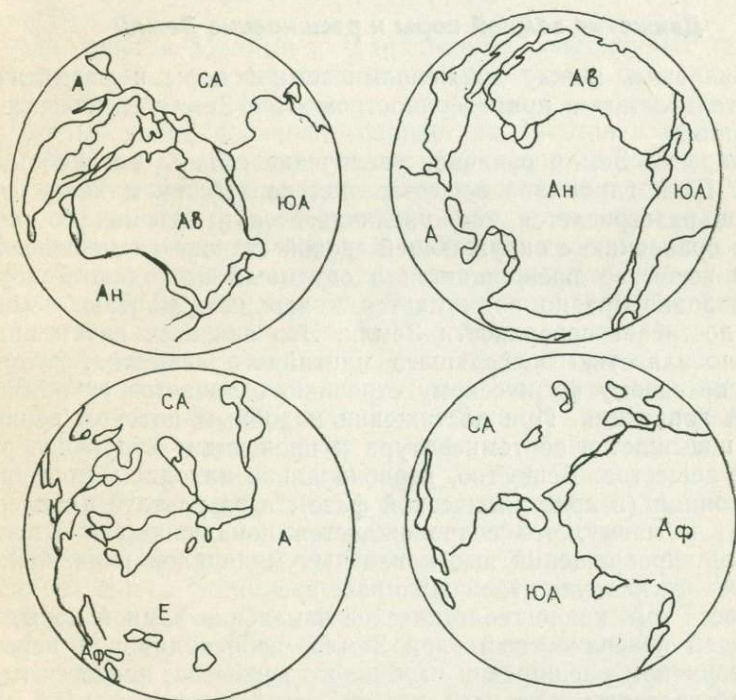


Рис. 64. Карта, составленная из предположения, что вся поверхность первичной Земли была покрыта континентальной корой (А — Азия, Е — Европа, СА — Северная Америка, ЮА — Южная Америка, АВ — Австралия, Ан — Антарктида, Аф — Африка)

ра на такую величину объем Земли должен увеличиться почти в два раза. Как будет ясно из дальнейшего рассмотрения, с момента образования Земли до позднего палеозоя в течение 4 млрд. лет и более ее диаметр увеличился на 30%, а после мезозоя — на 70%.

Масштаб объемного расширения Земли, если исходить из современного уровня знаний, на первый взгляд, кажется слишком

преувеличенным, но с точки зрения гипотезы расширения эта величина не представляется очень большой.

По мнению С. Кэри, со времени образования до позднего протерозоя Земля была покрыта только континентальной корой, и лишь после палеозоя под влиянием эффекта расширения образовалась кора океанического типа. Диаметр Земли, по С. Кэри, при этом увеличился примерно на 2600 км, а объем — почти в пять раз, что резко отличается от представлений, основанных на современных знаниях о строении и развитии Земли. Рис. 64 представляет собой схему первичной Земли, составленную на основании вышеизложенных представлений. Для иллюстрации ее связи с современными континентами показаны их береговые линии.

Движения земной коры и расширение Земли

Какова связь между движениями земной коры и магматической деятельностью в приповерхностном слое Земли в процессе ее расширения?

Расширение Земли означает увеличение объема ее глубинных веществ. Если глубинное вещество под воздействием каких-либо процессов разогревается, оно увеличивается в объеме, его плотность по сравнению с окружающей средой становится меньше. Разогретое вещество превращается в огромный восходящий поток, который волнообразно поднимается в верхнюю мантию, земную кору и достигает поверхности Земли. Это является ничем иным, как разновидностью восходящего мантийного вещества, которое, однако, по своему физическому строению отличается от обычной тепловой конвекции. При достижении подобным потоком верхней мантии повышается ее температура и происходит вторичное расширение вещества. Вещество, первоначально находящееся в твердом состоянии (в кристаллической фазе), в результате плавления переходит в магму, что сопровождается понижением плотности. В процессе превращения высокоплотных минералов в низкоплотные возникает явление вторичного расширения.

Вопрос о том, какие геологические изменения земной коры, составляющей поверхностный слой Земли, происходят при первичном и вторичном расширении глубинного вещества, является главной темой настоящего раздела.

Результатом расширения глубинного вещества является общее поднятие поверхности земной коры (литосферы). В связи с неоднородностью движения глубинных веществ Земли и коры поднятие ее поверхности происходит неравномерно. Следовательно, появляются приподнятые и пониженные участки рельефа. Если земная кора подвергается растяжению, она утоняется, и на этом месте возникают понижения в рельефе поверхности Земли.

Так как земная кора состоит из твердых веществ, лишенных способностей к саморасширению, в наименее прочных местах или в участках максимальных растягивающих усилий появляются разрывы с нарушением сплошности среды. При неравномерном под-

нятии нескольких блоков земной коры прилегающие блоки подвергаются горизонтальным деформациям. Один блок надвигается на другой, в результате чего возникает флексуроподобная структура. Если дно океана подвергается резкому поднятию, то осадочные отложения, расположенные над поднимающимся блоком, скользят вниз по склону и, скапливаясь в депрессиях, подвергаются дополнительному сжатию. По возникающим в зонах наибольших растяжений разрывам коры и мантии на поверхность Земли изливаются магматические расплавы, которые, в свою очередь, вызывают вторичные геологические процессы.

Выше были изложены наиболее вероятные геологические изменения, которые могут возникать при расширении глубинных веществ Земли.

Зоны рифтов. Одними из характерных современных тектонических форм Земли, возникших после неогенового периода, являются так называемые рифтовые зоны. Рифты — обобщенное название осевых долин срединноокеанических хребтов и континентальных грабенов. Последние часто формируются на продолжении срединноокеанических хребтов или представляют собой их ответвления. Например, грабен Красного моря, зажатый между Аравийским полуостровом и Африкой, является продолжением Срединно-Индийского хребта; одна из ветвей последнего известна в Северо-Восточной Африке как зона Великих грабенов. Система осевых рифтов в срединноокеанических хребтах — наиболее крупная из всех, встречающихся на поверхности современной Земли.

Континентальные грабены, так же как рифты срединноокеанических хребтов, формируются под действием сил растяжения. Перед их образованием обычно отмечается общее поднятие района, в котором закладываются грабены. Для грабенов срединноокеанических хребтов характерна интенсивная вулканическая деятельность с излиянием в основном базальтовой магмы.

Островные и континентальные дуги. Выше мы говорили о несостоятельности гипотезы тектоники плит и о том, что островные и континентальные дуги, расположенные на окраине Тихого океана или на востоке Индийского океана, являются, по мнению сторонников этой гипотезы, зонами субдукции. Геологические явления, происходящие в таких местах, они связывают с погружением под островные и континентальные дуги океанической коры (литосферы).

При столкновении поднимающегося мантийного диапира с подошвой земной коры окраины материка ее верхняя часть поднимается и подвергается растяжению, в результате чего образуются котловины оседания. В таких местах проявляются интенсивная вулканическая деятельность и мощное осадконакопление (рис. 65).

Как отмечалось ранее, под островными и континентальными дугами возможно частичное выклинивание океанической коры (литосферы). Но это, по нашему мнению, не является субдукцией, как думают сторонники тектоники плит, так как связано с неравномерным расширением глубинного вещества. Процессы расшире-

ния под континентами и океанами протекают различно, вследствие чего континентальный блок часто оказывается надвинутым на океанический. В стыке между двумя блоками поднимается мантийный диапир, в результате чего здесь происходят процессы, приводящие к формированию зеленых туфов.

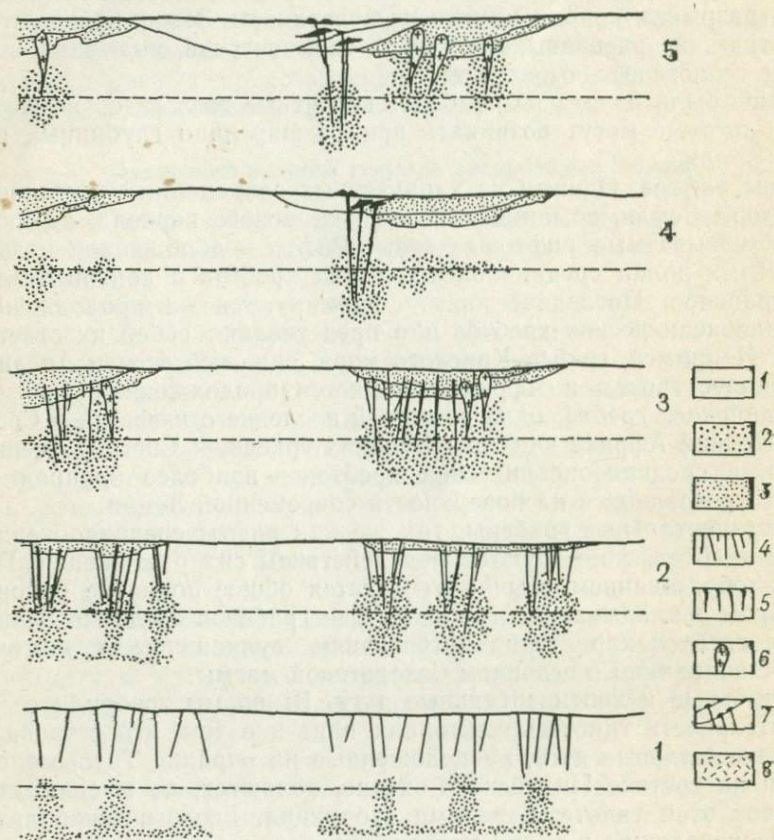


Рис. 65. Развитие зоны земных туфов (1→5)

1 — поверхность Мохо; 2 — участки коры и мантии, измененные под влиянием мантийных диапиров; 3 — вулканические слои (зеленые туфы); 4 — тектонические нарушения; 5 — вулканические породы; 6 — кислые вулканические и плутонические образования; 7 — грубозернистые базальтовые породы; 8 — мобильные зоны

Островные и континентальные дуги издавна привлекали внимание многих исследователей как зоны интенсивной сейсмической активности. В последнее время причины повышенной сейсмической активности объясняются с позиций тектоники плит. Проблемы, связанные с прогнозом землетрясений, также пытаются решать исходя из этой гипотезы. Одной из возможных причин возникно-

вения землетрясений являются мантийные диапиры. В Японии от северо-восточных районов о-ва Хонсю до моря Санрику различаются три группы землетрясений (рис. 66):

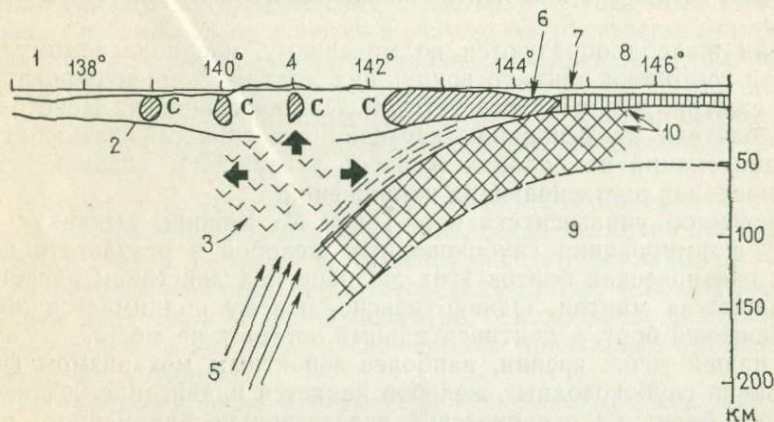


Рис. 66. Схема возникновения землетрясений на примере Северо-Восточной Японии

1 — Японское море; 2 — поверхность Мохо; 3 — интрузии магматических пород; 4 — хребт; 5 — мантийный диапир; 6 — Японский глубоководный желоб; 7 — поверхность моря; 8 — западная часть Тихого океана; 9 — мантия высокой вязкости; 10 — океаническая литосфера

1) проявляющиеся вдоль нескольких разрывов сравнительно неглубоко под морем Санрику и в Северо-Восточной Японии,

2) возникающие в основании континентального блока над погружающейся под него океанической плитой,

3) происходящие внутри погружающейся океанической плиты. Две последние группы землетрясений связаны с зоной Вадати — Беньофа.

Все приведенные группы землетрясений характеризуются различным механизмом возникновения. Трудно объяснить эти три группы землетрясений с позиций тектоники плит, но исходя из представлений о поднимающемся мантийном диапире сейсмологу Нагумо из Сейсмологического института при Токийском университете удалось дать ответ на этот вопрос.

Глубоководные желоба расположены параллельно островным и континентальным дугам на расстоянии 100—200 км от них. Осевая часть их глубже дна ложа океана на 2—3 км и более. По континентальным бортам глубоководных желобов проводится граница между материковым и океаническим блоками литосферы.

Издавна многие исследователи пытались установить, в результате каких движений возникли желоба. Но этот вопрос оказался чрезвычайно сложным и до сих пор остается открытым.

В течение нескольких лет после 1930 г. и после второй мировой войны была широко распространена гипотеза, согласно кото-

рой желоба образовались в результате прогибания земной коры под действием нисходящего потока мантийной конвекции. Гипотеза тектоники плит формирование желобов объясняет погружением под островные или континентальные дуги океанической литосферы.

Если желоба образуются по механизму, предполагаемому гипотезой тектоники плит, то вокруг них должны концентрироваться зоны сжатия, что не соответствует действительности. Некоторые исследователи на основании изучения особенностей дизъюнктивных дислокаций на склонах желобов утверждают возникновение в их пределах растягивающих напряжений.

Профессор университета в г. Токаи М. Хошино выдвинул гипотезу формирования глубоководных желобов в результате поднятия океанических бортов этих желобов под действием расширения вещества мантии. Однако неясно, почему поднимается лишь океанический борт, а континентальный остается на месте.

С нашей точки зрения, наиболее вероятным механизмом формирования глубоководных желобов является надвигание континентального блока на океанический вследствие неравномерного расширения глубинных веществ Земли.

Геосинклинально-орогенные области. Представление о геосинклинально-орогенных областях появилось в процессе изучения специфических структурных зон, образовавшихся в палеозое и позже. Однако еще раньше, в архее и протерозое, также происходили аналогичные геологические процессы, о чем говорилось в главе 3.

Изучение процессов развития геосинклинально-орогенных областей было главной темой изучения геологии начала XX в. Выдвигалось большое количество гипотез о происхождении этих областей и о их связи с геологическими движениями.

Как уже упоминалось в главе 3, выделяются ранний, геосинклинальный, и поздний, орогенный, периоды развития рассматриваемых областей.

Еще до второй мировой войны и длительное время после нее господствовала гипотеза, согласно которой некоторые участки земной коры лентообразной формы под действием нисходящей мантийной конвекции резко прогибались книзу, а в образовавшихся депрессиях происходило накопление морских осадков мощностью более 10 км. Одновременно с депрессией внутри коры образовались многочисленные трещины, которые инициировали интенсивную вулканическую деятельность с выносом больших объемов базальтовой магмы. Однако эта гипотеза не подтверждена фактическим материалом и представляется мало обоснованной. Это объясняется тем, что при вступлении геосинклинальной области в орогенную стадию развития она подвергается воздействию интенсивных тектонических и магматических процессов, вследствие чего трудно установить, какие геологические явления происходили в геосинклинальную эпоху и особенно в начальный период ее развития.

В последнее время часто стали появляться публикации, основанные на результатах детальных геологических исследований периода заложения геосинклинальных систем, что вызывает большой интерес.

Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что геосинклинальные прогибы формируются в результате растрескивания и растягивания блоков литосферы. Однако есть данные о том, что до начала этого процесса происходит общее поднятие территории. Об этом говорилось при описании рифтовых систем островных и континентальных дуг. Остановимся коротко на некоторых их примерах.

Считают, что Японские острова и прилегающие к ним акватории были вовлечены в геосинклинальное развитие после среднего палеозоя. Автор называет эту геосинклиналь геосинклиналью Хонсю. В предшествующий период (средний силур — девон) эта территория представляла собой поднятие, осложненное большим числом разрывов, с которыми было связано проявление интенсивного кислого магматизма.

В каменноугольном и пермском периодах (местами вплоть до триаса) отмечались прогибания фундамента, накопление мощных морских осадков и базальтов. В пермском периоде, заключающем геосинклинальное развитие, как и в силуре — девоне, формировались разрывы, сопровождавшиеся растягиванием земной коры и проявлением базальтового вулканизма. Это относится к формированию так называемой зоны Микабу.

В другой аналогичной по возрасту геосинклинальной области притихоокеанья — Тасманово-Восточно-Австралийской — становление геосинклинали также сопровождалось разрывами растяжения и проявлением базальтовой вулканической деятельности. О происхождении этих районов и геосинклинальной области Аппалачи в Северной Америке и Каледонии в Северной Европе существует предположение, основанное на гипотезе тектоники плит.

Результаты исследований последних лет свидетельствуют, что на стадии возникновения палеозойских геосинклинальных областей Азиатского континента, таких, как Уральская, Монголо-Охотская и другие, также неоднократно отмечались крупные разрывы земной коры, сопровождавшиеся растяжением, проявлением основного и ультраосновного магматизма или так называемым офиолитообразованием.

Процесс образования внутриконтинентальных геосинклинально-орогенных областей сторонники гипотезы тектоники плит объясняют следующим образом. Прежде всего континентальная литосфера разделяется на два блока, между которыми формируется океаническая кора. Вследствие этого оба континента перемещаются в противоположных направлениях, а новообразованная океаническая литосфера субдуцирует под эти континенты. В зоне субдукции возникает геосинклинально-орогенная область. Затем оба континента сталкиваются и приобретают современную форму. Ряд упомянутых процессов сторонники гипотезы тектоники плит назы-

вают по именам авторов. Существует, например, цикл Вильсона. Они также утверждают, что характерные для рассматриваемых зон офиолитовые ассоциации, основные или ультраосновные конгломераты являются остатками погружившейся под континенты океанической коры, которые сохранились внутри геосинклинальных осадочных толщ. Кроме того, офиолитовые комплексы, встречающиеся в составе осадочных толщ краевых континентальных

геосинклиналей, сторонники гипотезы тектоники плит также считают частями океанической коры (литосферы), перенесенной из отдаленных районов.

По нашему мнению, не признающему гипотезы тектоники плит, изложенная выше трактовка представляется ничем иным, как сказкой. Ниже коротко остановимся на проблеме офиолитов.

После появления гипотезы тектоники плит, утверждающей, что офиолиты являются остатками океанической литосферы, вопрос об офиолитах вызвал много споров. Как неоднократно упоминалось выше, мы считаем, что стадия становления геосинклинали характеризуется разрывом континентальной литосферы, ее растяжением и проседанием. Растяжение в горизонтальном направлении, вероятно, приводило к уменьшению ее мощности. Эти представления базируются на анализе тектонических процессов в грабенах. Вероятно, так формировались Рейнский грабен, Вос-

точно-Африканские рифты, грабен Красного моря и др. Под такой зоной граница Мохо, как правило, оказывается приподнятой по сравнению с прилегающими районами (рис. 67).

По мнению автора, наиболее активно подобные процессы протекают в период заложения геосинклиналей. Местами они характеризуются почти полным исчезновением континентальной коры под геосинклинальной областью. В таких условиях могут легко возникнуть перемещения вещества верхней мантии, подстилающей геосинклиналь и состоящей из базальтов, что приводит к формированию офиолитов.

Следует отметить, что согласно гипотезе тектоники плит океаническая литосфера может то исчезать, то возникать заново. Ги-

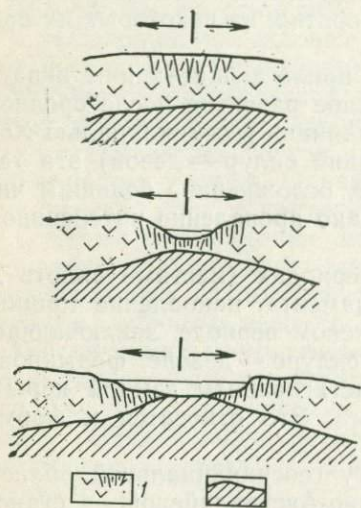


Рис. 67. Уменьшение мощности земной коры при расширении внутреннего вещества Земли с последующим ее развитием и растяжением

1 — континентальная кора; 2 — верхняя мантия

потеза расширения Земли, признавая новообразование литосферы океана, считает, что последняя не может исчезать, а может только расширяться.

Зоны зеленокаменных пород архея. Имеются данные, указывающие, что в протерозое происходили события, похожие по своему характеру на описанные выше геосинклинальные процессы. Однако мы располагаем очень скудными материалами по этому вопросу и поэтому остановимся лишь на архейских зеленокаменных породах.

Архейскую эру называют эрой всеобщих колебательных движений, которые во многом отличаются от постпротерозойских тектонических процессов. Однако в промежутках между этими этапами отмечались и сходные явления, к числу которых относятся процессы формирования зоны зеленых туфов архея. В последнее время выдвигались различные гипотезы о происхождении зеленокаменных пород архея, в том числе основанные на гипотезе тектоники плит и отрицающие возможность применения этой гипотезы к архею.

Существует также гипотеза, связывающая происхождение зеленокаменных пород со взрывом при столкновении с Землей крупного метеорита. Эта гипотеза, вероятно, возникла под влиянием представлений, объясняющих возникновение лунных кратеров.

На Луну доставлены пилотируемые и беспилотные измерительные приборы, на Луне побывал человек, на Землю доставлены и тщательно исследованы образцы лунного грунта, что позволило решить много загадок, касающихся ее строения и происхождения. Однако вопрос о природе лунных кратеров и морей еще требует своего решения.

Что касается зон „зеленых песчаников“, то до сих пор нет убедительных доказательств их формирования в результате столкновения с Землей метеорита.

В последнее время в печати появились интересные данные о процессах формирования зон „зеленых песчаников“ в Западной Австралии и Южной Африке. Согласно этим данным, зеленые туфы возникли в результате разрыва литосферы, растяжения и излияния основных и ультраосновных магм. Аналогичные процессы происходят в настоящее время в районе Красного моря (см. рис. 67). Автор придерживался этого же мнения о формировании зеленых туфов, так как оно базируется на реальных геологических данных. Большой интерес представляют процессы формирования зеленых туфов, проходившие несколько миллиардов лет назад, сходные с тектоническими явлениями более поздних геологических эпох.

Происхождение геосинклинально-орогенных областей можно объяснить исходя из гипотезы расширяющейся Земли, но прежде чем приступить к этому, рассмотрим некоторые вопросы, связанные со стабильными материковыми глыбовыми и стабильными континентами.

Стабильные материковые глыбы и стабильные континенты. Ха-

раактерными геологическими процессами палеозойского периода являются поднятия протерозойских материковых глыб и континентов или их погружение на обширных пространствах с формированием осадочных толщ различной мощности. В Японии подобные движения называют континентообразованием. На наш взгляд, этот термин кажется не совсем удачным.

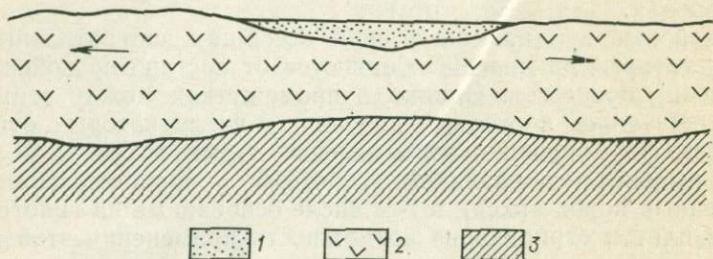


Рис. 68. Схема формирования осадочной впадины при расширении внутреннего вещества Земли и уменьшении мощности коры

1 — впадина; 2 — континентальная кора; 3 — верхняя мантия

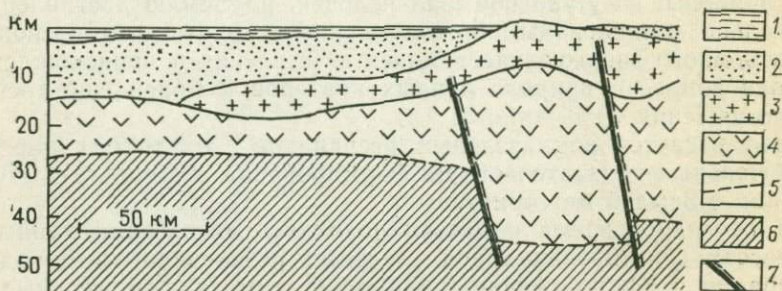


Рис. 69. Строение земной коры Черного моря и прилегающих районов

1 — водная толща; 2 — осадки; 3 — гранитный слой; 4 — базальтовый слой; 5 — поверхность Мохо; 6 — верхняя мантия; 7 — глубинные разломы

Заслуживает внимания вопрос о формировании осадочных впадин. Обычно считают, что это связано с прогибанием поверхности земной коры. Однако на самом деле основание коры под впадинами, как правило, меньше, чем в окружающих структурах. Примером может быть Московская синеклиза, хорошо изученная сейсмическими исследованиями (рис. 68). Другим примером подобно-го типа является Черное море, представляющее собой крупную внутриконтинентальную осадочную котловину. Как показано на рис. 69, кора под морем значительно тоньше, чем под окружающими территориями; местами она практически лишена гранитного слоя. Аналогичным строением характеризуются гигантские базаль-

товые плоскогорья, такие, как плато Декан в Индии и Колумбийское в Южной Америке. Под ними поверхность Мохо обычно приподнята кверху и толщина коры, по сравнению с соседними структурами, сокращена.

Обобщая сказанное выше, следует отметить, что рифтовые зоны и геосинклинально-орогенные области являются своеобразными и во многом отличными друг от друга структурами. Но они имеют и некоторые сходные особенности формирования, к их числу относятся, например, явления растяжения литосферы, ее разрыва и проседания. Этим процессам в том и в другом случаях предшествует общее поднятие земной коры. Формирование континентов также связано с процессами растяжения верхних частей Земли.

Автор полагает, что процессы растяжения, растрескивания и проседания земной коры, а также базальтовая магматическая деятельность тесно связаны с расширением глубинных частей Земли. Этими же процессами обусловлены разнообразные движения мантийного вещества, структуро- и континентообразование.

Акцентируя внимание на некоторых общих явлениях в формировании упомянутых структур, мы ни в коем случае не настаиваем на том, что все эти процессы протекали одинаково. Например, несомненно, что формирование рифтовых зон и геосинклинальных областей связано с различными этапами общего геологического процесса.

В заключение еще раз вернемся к вопросу о расширении Земли. В связи с возрастанием объема внутренних частей Земли увеличивается ее поверхность. Например, Рейнский и Восточно-Африканский грабены в процессе формирования растянулись в ширину до 100 км. В таких районах в больших объемах изливались на дневную поверхность базальты, формировавшиеся, вероятно, в верхней мантии. Подобные явления, как отмечалось, сопровождали геосинклинальные процессы. В период горообразования происходит вынос из верхней мантии огромных количеств гранитной магмы. В течение нескольких геологических периодов в материко-

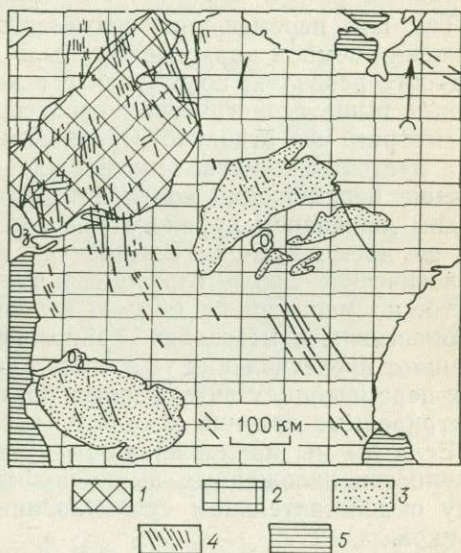


Рис. 70. Базальтовые дайки в северо-западной части Канадского щита

1 — породы архейского возраста; 2 — подвижные зоны раннего протерозоя; 3 — формации позднего протерозоя; 4 — базальтовые дайки; 5 — палеозойские формации, Oz — озера

вую кору внедрялись многочисленные базальтовые дайки, что, вероятно, вызывало поверхностное и объемное расширение земной коры на соответствующую величину (рис. 70). Однако на основании вышеописанных геологических явлений трудно установить насколько увеличилась площадь поверхности Земли и до какой степени она расширилась. По сравнению с глобальным расширением, с которым связано перемещение континентов, увеличение поверхности Земли в этом случае должно быть, грубо говоря, на целый порядок меньше.

Перемещение материков и расширение Земли

Так как перемещение континентов является одним из видов движения земной коры, можно было этот вопрос разобрать в предыдущих разделах, но в связи с некоторым отличием его от описанных выше геологических процессов мы сочли целесообразным рассмотреть его отдельно. Остановимся лишь на точке зрения автора настоящей книги. Она прежде всего выражается в том, что явление перемещения континентов является уникальным геологическим движением крупного масштаба, которое происходило один раз за время истории Земли — после палеозоя. В более ранние геологические эпохи горизонтальные перемещения также имели место, но масштаб их обычно невелик (не превышал 100 км) и несопоставим с мезозойско-кайнозойскими перемещениями. Автор отрицает представления тектоники плит о глобальных горизонтальных перемещениях литосферных плит. Попытаемся объяснить рассматриваемые явления исходя из теории расширения Земли.

Если бы мы придерживались позиции фиксизма, исходя из совокупности изложенных выше положений, мы пришли бы к выводу о действительном существовании явления перемещения материков.

Первичный континент, который находился в виде единого блока в течение позднего палеозоя — начала мезозоя, впоследствии расчленился на несколько частей, которые разместились в тех районах, где они находятся в настоящее время. Это свидетельствует о том, что Атлантический и Индийский океаны или большая их часть образовались не сразу, а после мезозоя. Этот процесс связан не с глобальным горизонтальным перемещением литосферных плит, а с расширением глубинного вещества Земли. Иначе говоря, часть мантийного вещества поднялась вверх и внедрилась в пространство между расчлененными материками и тем самым вызвала перемещение континентов. В связи с этим возникает вопрос: можно ли назвать обсуждаемое явление континентальным перемещением или дрейфом? Издавна термин «перемещение», или «дрейф», применялся для горизонтальных подвижек. Автор предлагает заменить термин «перемещение» термином «раздвижение континентов». Но так как до сих пор в данной книге использовался термин «перемещение», то и будем называть этот процесс этим термином.

Теперь о площади дна новообразовавшихся Атлантического и Индийского океанов. Северная часть современного Атлантического, Северный Ледовитый и восточная часть Индийского океанов образовались до мезозоя. Они заложились в начальный период существования Земли, и если считать, что новообразованные части океанов составляют 70% от площади современного Мирового океана, то площадь дна новообразованных акваторий Атлантического и Индийского океанов, грубо говоря, составляет $100 \times 10^6 \text{ км}^2$. Если сопоставить эту величину с площадью земного шара, равной $510 \times 10^6 \text{ км}^2$, то площадь Земли до начала перемещения континентов будет составлять $360 \times 10^6 \text{ км}^2$, а ее радиус — около 5400 км. Приведенные размеры Земли больше, чем ее размеры в

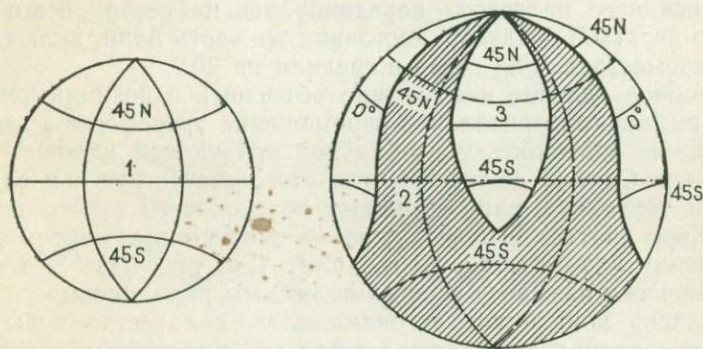


Рис. 71. Асимметричное расширение Земли

1—2 — современный экватор, 3 — древний экватор; пунктирные линии — древние параллели и меридианы

начальный период образования (см. главу 2) на $60 \times 10^6 \text{ км}^2$ по площади и на 500 км по радиусу. Если верить этим цифрам, то за период после образования Земли и до позднего палеозоя (до начала перемещения континентов) Земля расширилась на приведенную выше величину, т. е. за 100 млн. лет ее радиус в среднем увеличивается на 10 км. Указанная величина по сравнению с глобальным расширением, вызвавшим послепалеозойское перемещение континентов (увеличение в радиусе около 1000 км), на целый порядок меньше, и это служит основанием считать, что перемещение континентов является уникальным геологическим событием, когда-либо происходившим в истории Земли.

Как уже отмечалось, перемещение континентов происходило от центра, представленного материком Гондвана, располагавшимся в южном полушарии. Если перемещение происходило в результате расширения Земли, то оно должно быть значительно больше в южном полушарии, чем в северном. Такое явление называют асимметричным расширением (рис. 71). Оно имеет важное значение для решения проблемы перемещения магнитных полюсов: многие точки на Земле по мере ее расширения отдалялись от южного

полюса и с этим были связаны представления о мнимых перемещениях магнитного полюса.

На основании изучения палеомагнитных свойств (см. главу 3) мезозойских и кайнозойских вулканических пород п-ова Индостан установлено, что в мезозое Индия находилась в южном полушарии и, постепенно перемещаясь на север, заняла современное положение. Хотя сказанное основано на представлениях тектоники плит, перемещение Индийского материка от южного полюса можно объяснить и с позиции гипотезы расширения Земли.

Возможность такого двоякого объяснения относится только к п-ову Индостан. Встречаются и непредвиденные обстоятельства, которые трудно объяснить с позиций гипотезы тектоники плит. Так, континенты, которые по данным изучения палеомагнетизма пород позднего палеозоя передвинулись на север всего на несколько десятков градусов, восточная же часть Азии, включая Японию, переместилась на север в среднем на 20° .

Подобное явление невозможно объяснить с позиций тектоники плит, так как горизонтальное перемещение литосферы в этом случае должно завершиться глобальной субдукцией вблизи северного полюса. Однако доказательства этого отсутствуют, и сами сторонники тектоники плит отрицают возможность такого процесса.

С. Кэри считает вышеизложенное важным аргументом для опровержения гипотезы тектоники плит (см. рис. 71). Это явление он иронически называет «северо-полюсным парадоксом».

Согласно концепции тектоники плит, количество воды в Мировом океане может (должно) остаться одинаковым, так как она по мере эволюции плит перемещается из районов древней океанической коры в районы с новообразованной океанической корой. Если исходить из того, что перемещение континентов возникало вследствие расширения Земли, то легко можно объяснить увеличение количества морской воды в процессе развития Земли. Это связано с тем, что по мере расширения Земли происходило крупномасштабное разрастание океанического дна.

В главе 4 говорилось о том, что основная доля морской воды образовалась на двух геологических стадиях: в начальный период образования Земли и в современную геологическую эпоху в результате выноса вод из глубоких частей Земли.

Остается открытым вопрос: имело ли место увеличение объема морской воды в сравнительно недавнее геологическое время? Большинство ученых современных научных школ отрицают такую возможность. Этот вопрос, наряду с проблемой изменения химического состава морской воды, является предметом дальнейших исследований.

Механизм и причина расширения Земли

Вопрос о физическом механизме и причине расширения Земли представляется наиболее трудным и почти неразрешимым. Поэтому остается только высказывать вероятные предположения.

Историко-геологический взгляд. Как уже излагалось в главе 3, геологические процессы на Земле подчиняются определенной периодичности: интенсивные движения земной коры и активная магматическая деятельность через промежутки времени около 100 млн. лет сменяются периодами относительного покоя, а постпалеозойский период развития Земли ознаменовался крупными перемещениями континентов, масштабы которых значительно превышали подобные явления в предыдущие геологические эпохи.

Если исходить из предположения о возможности первичного и вторичного увеличения объема глубинного вещества Земли, основными факторами, определяющими эти геологические явления, будут, во-первых, периодичность увеличения объема глубинного вещества и, во-вторых, возможность быстрого роста темпов увеличения объема глубинного вещества по мере приближения к современному геологическому периоду (рис. 72).

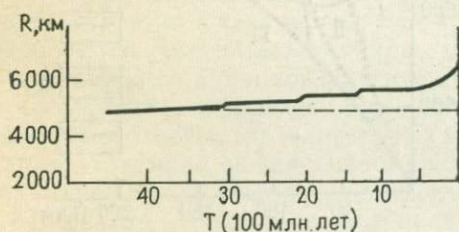


Рис. 72. Изменение расширения Земли во времени
R — радиус Земли (км); T — возраст Земли (100 млн. лет)

К аналогичному выводу пришел и С. Кэри. По его мнению, расширение Земли было непостоянным и с течением времени оно возрастало экспоненциально с максимальным проявлением в послепалеозойский период. Однако он не затрагивает вопрос о периодичности этого процесса.

Если считать, что в геологической истории Земли действительно имели место такие процессы, то это является очень важным фактором, которым нельзя пренебрегать при выяснении механизма и причин расширения Земли.

Механизм вторичного расширения. Остановимся на вторичном расширении, которому могло быть подвержено вещество верхней мантии Земли. Ранее мы говорили о том, что под действием первичного расширения глубинного вещества возникает восходящий тепловой поток, который в верхней мантии вызывает вторичное расширение. Однако упомянутое явление, вероятно, происходит и под действием обычной восходящей мантийной конвекции. Рассмотрим, какие процессы могут возникать при подъеме горячих мантийных веществ.

Общезвестно, что породы, составляющие земную кору и мантию, находятся в определенном состоянии, зависящем от температуры и давления. Например, безводная кремнекислота в условиях обычных температур и давления, характерных для коры и самой верхней части мантии, превращается в кварц, а в более глубоких

слоях она представлена более плотным минералом — корзитом, а еще глубже — стишовитом, характеризующимся еще более высокой плотностью. Углерод на глубине 100 км превращается в графит, а в более глубоких слоях — в алмаз (рис. 73). Такие явления называются полиморфностью минералов, а превращения одного минерала в другой с сохранением одинакового химического состава — фазовыми переходами.

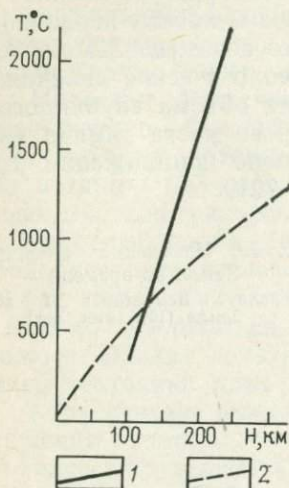


Рис. 73. Фазовый переход графита в алмаз

1 — линия фазового перехода графита в алмаз; 2 — распределение температуры во внутренних частях Земли

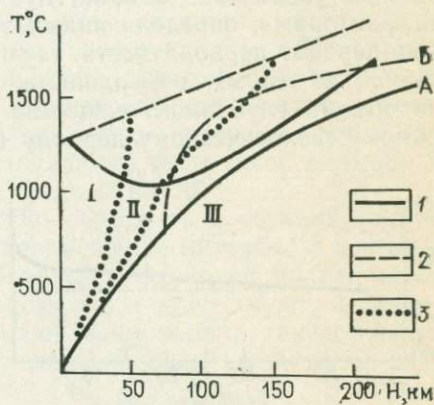


Рис. 74. Плавление перidotитового вещества верхней мантии под влиянием локального повышения температуры

I — плагиоклаз — перidotит; II — шпинель — перidotит; III — гранат — перidotит. 1 — линия твердой фазы перidotита (при наличии воды); 2 — то же, при отсутствии воды; 3 — линия перехода пород из одного фазового состояния в другое. А — кривая распределения температуры под континентами; Б — локальное распределение температуры

Выше рассматривались случаи превращения чистых минералов. В действительности земная кора и мантия представлены породами, состоящими не из одного минерала, а из их совокупности. Например, базальт в верхней части земной коры, в которой еще имеется в некотором количестве вода, состоит из роговой обманки и плагиоклаза (амфиболит с плотностью $2,8 \text{ г/см}^3$), в нижней части коры — из авгита с плагиоклазом (гранит с плотностью $3,5 \text{ г/см}^3$), а в верхней части мантии из авгита с гранатом (эклогит с плотностью $3,5 \text{ г/см}^3$).

Как уже отмечалось в главе 3, основной породой, составляющей верхнюю мантию, является перidotит. На рис. 74 показаны условия фазового равновесия этой породы, а также видно, при какой температуре и при каком давлении происходит ее превра-

шение в другую породу и при какой температуре она плавится. Если температура земной коры и верхней мантии распределяется в виде кривой А, показанной на этом рисунке, то при переходе снизу вверх образуется следующий ряд: плагиоклаз (амфибол) — перидотит — шпинель — перидотит — гранит — перидотит. Если же по некоторым причинам в этом слое температура повысилась (см. рис. 74), то часть верхней мантии начинает плавиться, т. е. происходит процесс частичного плавления. Перидотит имеет плотность в среднем 3,2—3,5 г/см³, а при превращении в жидкую фазу в результате частичного плавления его плотность уменьшается и соответственно возрастает объем.

Если подобные явления происходят внутри верхней мантии в широком масштабе, то проявляющееся при этом объемное увеличение литосферы вызывает различные геологические процессы, такие, как структурообразование и т. д. Увеличение объема вещества верхней мантии оказывает на вышележащие слои всестороннее воздействие, а в тех местах, где происходит частичное плавление, образуются мантийные диапиры, которые при восхождении вверх могут служить причиной различных геологических процессов. Следует обратить внимание на то, что объемное расширение верхне-мантийного вещества варьирует в зависимости от степени его плавления. Объемное расширение в среднем составляет всего несколько процентов и, как правило, не превышает 10%.

Вероятно, с процессами, происходящими в верхней мантии, тесно связана упоминаемая выше периодичность геологических событий, повторяющихся, как указывалось, через каждые 100 млн. лет. Однако сказанным трудно объяснить послепалеозойское глобальное расширение Земли, сопровождавшееся крупномасштабным перемещением континентов. Для генерации подобных явлений величина объемного расширения должна достигать 2—5.

Характер фазового равновесия веществ, составляющих Землю, достаточно хорошо изучен, что позволяет дать исчерпывающее объяснение этому явлению. Однако на основании современных знаний трудно объяснить возможность двух- или пятикратного увеличения объема вещества. Это остается загадкой.

Механизм первичного расширения. После второй мировой войны почти все сторонники гипотезы расширения Земли обращали внимание на сверхвысокое уплотнение и металлизацию глубинных веществ Земли. Другими словами, они считали, что в глубинных частях Земли при сверхвысоком давлении, достигающем 1 млн. атм, обычные окисные и силикатные соединения приобретают свойства металлов. На основании этого предположения они пытались объяснить глобальное расширение Земли.

Как уже излагалось в разделе о глубинном строении Земли (глава 1), минералы (окислы, силикаты), имеющие кристаллическую структуру, под влиянием сверхвысокого давления теряют часть электронов. В результате этого уменьшается межъядерное пространство атомов и минералы переходят в металлическое состояние. Иногда сказанное используют для решения проблемы

глобального расширения Земли; в этом случае очень важны сведения о металлизации магнитных силикатов и окислов, в особенности о роли атомов кислорода.

Изложенная предпосылка позволяет дать следующее объяснение проблеме расширения Земли. Если по какой-либо причине понижается давление в глубинных частях Земли, металлизированные минералы подвергаются фазовым превращениям и становятся обычными окисными и силикатными соединениями; объем их резко возрастает. Одновременно с этим увеличивается объем мантии,

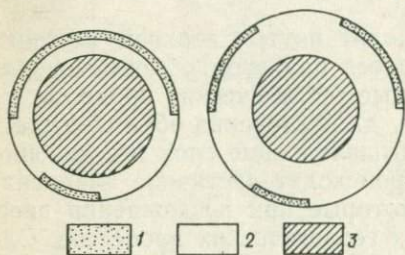


Рис. 75. Модель расширения Земли
1 — континентальная литосфера; 2 — океаническая литосфера и мантия; 3 — ядро

состоящей из силикатов и окислов, а объем ядра, сложенного, как предполагается, железом и никелем, наоборот, уменьшается (рис. 75).

Причины глобального расширения. Вопрос о причинах, приводящих к уменьшению глубинного давления, является весьма трудным. Их, вероятно, нужно искать не только внутри Земли, но и вне ее, т. е. в космосе. В связи с этим возникает проблема космического расширения. До второй мировой войны П. Дираком выдвигалась гипотеза о том, что при расширении космоса с течением времени уменьшается постоянная всемирного тяготения. В соответствии с ее уменьшением убывает масса Земли и, следовательно, на эту же величину понижается давление внутри Земли.

По мнению С. Кэри, постоянная всемирного тяготения уменьшается так же, как увеличивается коэффициент расширения Земли во времени по экспоненте. Будучи геологом, С. Кэри относится к учению об эволюции космоса весьма скептически.

В настоящее время мы не располагаем возможностью оценки реальности проблем расширения космоса, применения постоянной всемирного тяготения и др. Однако есть некоторые данные, основанные на установлении связи процессов расширения космоса с историей образования тепла Земли. Если температура поверхностного слоя Земли (до нескольких километров под Землей) понижалась со временем, то в более глубоких слоях она, наоборот, повышалась. На рис. 76 кривые I—III показывают изменение температуры глубинных частей Земли со временем. Кривая T — пограничная линия между фазами нормального состояния и металлизации окисно-силикатных соединений. В диапазоне температур и давлений, характерных для правой стороны от этой кривой, существуют условия для нахождения соединений в металлизированном состоянии, а в диапазоне температур и давлений, свойственных левой стороне, эти соединения сохраняют свои обычные свойства. Кривая T является гипотетической. В диапазоне низких тем-

ператур она занимает почти вертикальное положение, а по мере повышения температуры выполаживается и становится практически горизонтальной.

Из рис. 76 следует, что за всю историю Земли переход металлической фазы в фазу окисных и силикатных соединений происходил весьма редко. Так, переход от линии I к линии II имел место в крайне небольшом интервале, обозначенном буквой «а».

Однако при превышении температуры, соответствующей линии II, интервал перехода резко возрастает и при достижении линии III превращению в фазу окисных и силикатных соединений подвергается огромное пространство, что приводит к резкому увеличению объема вещества, заключенного в этом пространстве.

Изложенным мы пытаемся объяснить глобальное расширение Земли, а также послемезозойское перемещение континентов.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования по металлизации силикатов и окиси магния. Кривая T является предположительной и основана на явлениях, происходящих на границе между фазами металлов и молекулы, установленных при экспериментальном изучении превращения водорода в металл под дейст-



С. Кэри

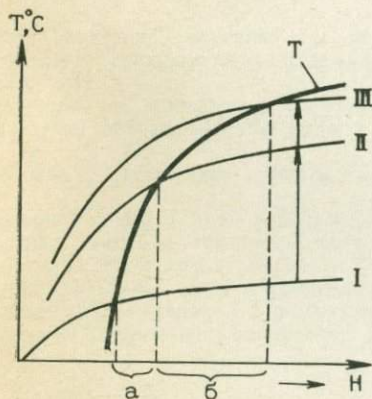


Рис. 76. Зависимость между изменением тепла и расширением Земли

I—III — распределение температуры во внутренних частях Земли; T — линия фазового перехода окислов (налево) в металлы (направо)

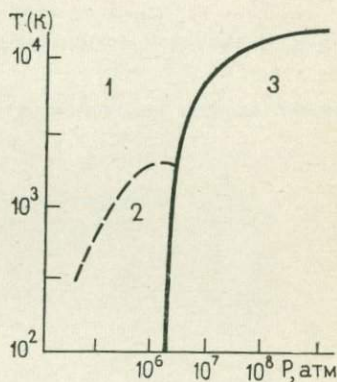


Рис. 77. Металлизация водорода под сверхвысоким давлением

1 — жидкий водород; 2 — молекулярный водород (твердая фаза); 3 — металлический водород (твердая фаза)

вием сверхвысокого давления (рис. 77). Особое внимание уделяется вопросу металлизации на планетах, аналогичных Юпитеру. Предполагают, что водород, составляющий основную часть Юпитера, на глубине более 2000—3000 км от ее поверхности находится в жидком состоянии, а на глубине 20 тыс. км — в металлической форме.

Некоторые исследователи также высказывают мнение о возможной металлизации водорода в глубинных частях Земли, но, с нашей точки зрения, этот вопрос не имеет столь важного значения для Земли, так как в глубинных ее частях водород содержится в небольших количествах. Более значительной представляется проблема металлизации кислорода в глубинных частях Земли, вернее, металлизации окисных и силикатных соединений. Она имеет важное значение для решения проблемы расширения Земли и дальнейшего развития наук о Земле.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора	5
Глава 1. Земля как планета	7
Солнечная система	7
Туманность первоначальной Солнечной системы	7
Метеориты	12
Внутреннее строение Земли	18
Зарождение Земли	21
Глава 2. Земля как звезда, насыщенная водой в начальный период ее формирования	24
Температура внутренних частей Земли	24
Суша и моря Луны	27
Строение земной коры и верхней мантии Земли	32
Формирование первичной земной коры	38
Первично-континентальная и первично-океаническая кора	44
Происхождение атмосферы и гидросферы	48
Глава 3. Эволюция материков	50
Геохронология Земли	50
Первичный материк	52
Зона зеленокаменных пород архейской эры	54
Подвижные зоны и стабильные материковые глыбы протерозоя	60
Геосинклинально-орогенные зоны палеозоя и мезозоя	62
Тектонические движения стабильных материков	64
Перемещение материков как уникальное геологическое явление	66
Островные и континентальные кайнозойские дуги как зоны зеленых туфов	70
Периодичность движений земной коры и магматической деятельности	73
Глава 4. Эволюция океанов	74
Тайна эволюции океанов	74
Подводные срединноокеанические хребты — гигантские сооружения морского дна	76
Вулканические острова и подводные горы	79
Изменение объема морской воды в течение геологической истории Земли	81
Глава 5. Расширение Земли	83
Разумное и неразумное направления в научном познании	83
Критика гипотезы тектоники плит. Миф о субдукции	84
Величина расширения Земли	88
Движения земной коры и расширение Земли	90
Перемещение материков и расширение Земли	100
Механизм и причина расширения Земли	102

МАСАО ГОРАИ

ЭВОЛЮЦИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛИ

Редактор издательства Т. А. Горохова
Обложка художника А. Е. Чучканова
Технический редактор Т. А. Герчикова
Корректор Р. Я. Ускова

ИБ № 5817

Сдано в набор 03.04.84. Подписано в печать 24.05.84. Формат 60×90/16
Бумага кн.-ж. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 7,0.
Усл. кр.-отг. 7,25. Уч.-изд. л. 7,3. Тираж 4300 экз. Заказ 1348/113-1.
Цена 1 р. 10 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19
Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

Уважаемый товарищ!

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
ГОТОВИТ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ**

МИРЛИН Е. Г.

Раздвижение литосферных плит и рифтогенез

М.: Недра, 1985—18 л., ил.— В пер.: 3 р. 10 к.

Раздвижение литосферных плит рассматривается как в теоретическом, так и в прикладном аспектах — с точки зрения процессов рудообразования. Анализируются явления, происходящие на границах раздвигающихся континентальных плит, интерпретируются данные о скоростях и амплитудах раздвижения плит в пределах различных рифтовых зон и о формировании материковых рифтовых впадин, об их глубинном строении и особенностях проявления магматизма рифтовых зон в зависимости от основных кинематических характеристик плит. Рассмотрены также явления, свойственные границам раздвигающихся океанических плит: образование срединноокеанических хребтов, продольных впадин и поднятий на их гребнях.

Для геологов различных специальностей, геофизиков.

ОРЛЕНКО В. В.

Физика и динамика внешних геосфер.

М.: Недра, 1985—15 л., ил.—2 р. 30 к.

Отражен новый этап обобщения и синтеза научных данных о внутреннем строении и физических полях Земли. Показано, что основу тектоники внешних геосфер составляют неравномерные в пространстве и во времени проседания перисферы в освобождающуюся по мере дегазации и вулканизма зону астеносферы. Механизм вертикальной ундуляции обусловлен термогравитационной контракцией планеты, вызванной уменьшением ее объема и массы за счет диссипации летучих, уплотнения протовещества. Установлено, что в финале эволюции происходит усиление дегидратации, вулканизма и опусканий сегментов перисферы и общая океанизация Земли. Дан критический анализ геофизических полей, методик их получения и способов интерпретации.

Для геологов различных специальностей, геофизиков.

УДИНЦЕВ Г. Б.

Рельеф и строение дна океанов.

М.: Недра, 1985—20 л., ил.—В пер.: 3 р. 40 к.

Приведены современные сведения о рельефе дна и строении земной коры океанических областей Земли. Основное внимание обращено на структурную морфологию дна, на связь рельефа дна океана с его внутренним строением. Рассмотрены черты рельефа, созданные экзогенными процессами. Обосновываются представления о тектонической неоднородности дна океанов, о многообразии тектонических процессов, формирующих структурный рельеф. Оценивается применимость к современным данным о рельефе дна океанов различных тектонических концепций. Обращается внимание на тектоническую обстановку нахождения различных полезных ископаемых океанического дна. Приложена карта рельефа дна Мирового океана.

Для геологов, геоморфологов, геофизиков, океанологов и всех специалистов, изучающих геологию и тектонику океанов и континентов.

ЧУДИНОВ Ю. В.

Геология активных океанических окраин и глобальная тектоника

М.: Недра, 1985—18 л., ил.—В пер.: 2 р. 90 к.

Показывается ведущее значение в развитии активных окраинных областей процесса выдвигания океанического крыла сейсмофокальных зон в сторону океана (эдукции). Обсуждается интерпретация сейсмологических и гравиметрических данных с учетом этого процесса, а также рассматривается возникновение и развитие окраинных геосинклиналей и островных дуг. Приводятся конкретные материалы по геологическому строению Северо-Востока СССР и некоторых других областей.

Обращено внимание на металлогеническое значение эдукционного процесса и его роль в глобальном развитии Земли.

Для геологов, занимающихся вопросами региональной геологии, тектоники и металлогении.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга-почтой» магазинов:

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;

№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

1 р. 10 к.

4250

2501

НЕДРА