

В. П. ГАВРИЛОВ
ПУТЕШЕСТВИЯ
В ПРОШЛОЕ
ЗЕМЛИ



СОДЕРЖАНИЕ

Путешествовать любят все	3
Что надо знать, собираясь путешествовать в прошлое Земли	5
Жизнь длиной в 5 млрд. лет	21
Межзвездные облака	25
Земля в тумане тайн	33
Бурная молодость планеты	44
В центре геологических событий	64
Итоги и закономерности	124
50 млн. лет вперед	135
Белые пятна на карте мира	143

В. П. ГАВРИЛОВ
ПУТЕШЕСТВИЯ
В ПРОШЛОЕ
ЗЕМЛИ



МОСКВА, «НЕДРА», 1976

Гаврилов В. П. Путешествия в прошлое Земли. М., «Недра», 1976, 144 с.

В популярной форме изложена история развития Земли с момента возникновения ее как планеты Солнечной системы; описываются тектонические движения, проявлявшиеся в геологической истории Земли и обусловившие изменение ее внешнего облика. Кратко освещается эволюция животного и растительного мира.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся современными представлениями о развитии нашей планеты.

Ил. 30, список лит. — 10 назв.

20802—439
Г 043(01)—76 74—76

© Издательство «Недра», 1976

ВИКТОР ПЕТРОВИЧ ГАВРИЛОВ

ПУТЕШЕСТВИЯ В ПРОШЛОЕ ЗЕМЛИ

Редактор издательства В. И. Макеев
Художественный редактор В. В. Евдокимов
Художник А. Д. Смеляков
Технический редактор В. В. Кириллова
Корректор Р. Т. Баканова

Сдано в набор 20/II-1976 г. Подписано в печать 11/VI-1976 г.
Т-11386. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 1. Печ. л. 4,5.
Усл. печ. л. 7,5. Уч.-изд. л. 7,72. Заказ № 490/5752-1.
Тираж 120 000 экз. Цена 25 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600610, гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

«Только тогда можно понять сущность вещей, когда знаешь их происхождение и развитие».

Аристотель
(384—322 гг. до н. э.)

ПУТЕШЕСТВОВАТЬ ЛЮБЯТ ВСЕ

Одни для этого снаряжают лодки, плоты и даже яхты, другие с рюкзаками за плечами идут в таежные дебри или в пустыни Средней Азии, третьи просто выезжают за город на субботу и воскресенье. Отправимся путешествовать и мы. Но наш маршрут пройдет не по горам и низменностям современной Земли, не по нынешним ее морям и океанам. Мы посетим Землю в период ее рождения и в раннюю стадию ее геологического развития, перенесемся в эпохи возникновения и расцвета органической жизни, попробуем заглянуть даже в будущее планеты. Путешествие необычное, необычными будут и средства передвижения, вернее «перенесения» в прошлое Земли. Воспользуемся для этого волшебной машиной времени, «изобретенной» английским писателем-фантастом Г. Уэллсом.

Несмотря на то что предлагаемое путешествие носит аллегорический характер, а средство для его осуществления — фантастическое, мы будем придерживаться научных фактов при восстановлении картины прошлой жизни Земли. Накопленные геологические знания, пополненные в значительной мере достижениями последних лет в области морской геологии, космических исследований, сравнительной планетологии, лягут в основу наших реконструкций. Может быть, мы не сможем полностью освободиться от субъективной оценки тех или иных научных данных, но это будет исключением из общего правила объективного подхода к существующему фактическому материалу. Как бы, однако, мы ни были строги в отношении фактов, все же вряд ли нам удастся избежать в ряде случаев гипотетичности в повествовании. Еще мало у нас данных, да и они зачастую противоречивы. В особенности это касается проблемы происхождения Земли, ее ранней истории, причин геологического развития. Гипотезы в науке неизбежны, они

свидетельствуют не о слабости науки, а о сложности проблем, которые она решает.

Какую же цель ставим мы перед путешествиями в прошлое Земли? Человек — часть природы, Земля — его дом. Надо знать дом, в котором мы живем. Не просто знать, но и беречь его. Хранить то, что создавалось в течение многих сотен миллионов лет. Разумно использовать минеральные ресурсы недр, оберегать природу от грубого и нерачительного вмешательства, могущего привести к необратимым процессам. Знание некоторых основ геологии становится сейчас таким же обязательным для любого образованного человека, как знание литературы и искусства. В одной из своих статей* академик А. В. Сидоренко писал: «В жизни общества роль геологии, создающей материальную основу для развития промышленности, велика и ответственна. Поэтому в будущем геологические знания станут достоянием самых широких кругов населения».

Человек, вооруженный основами геологических знаний, по-иному воспринимает окружающий мир, ему становится понятен язык застывших камней и геологических процессов. Итак, чтобы знать свою планету, историю ее возникновения и развития, отправимся в необычное путешествие в далекое прошлое, отделенное от нас сотнями миллионов и миллиардами лет.

* А. В. Сидоренко. Геология в 2000 году.— «Наука и жизнь», 1971, № 2, с. 32.



ЧТО НАДО ЗНАТЬ, СОБИРАЯСЬ ПУТЕШЕСТВОВАТЬ В ПРОШЛОЕ ЗЕМЛИ



Любое путешествие требует подготовки, тем более путешествие в глубь истории Земли. Наша подготовка будет заключаться в знакомстве с современными представлениями о строении Земли и с ее химическим составом; с основными структурами земной коры и теми движениями, которые она испытывает. Без этого наши путешествия будут не так эффективны — читатель не поймет многих геологических явлений.

Если представить земной шар расколотым пополам, то можно увидеть, что внутри он, подобно луковице, состоит из нескольких концентрических оболочек, вложенных одна в другую. Наиболее отчетливо выделяются три оболочки, или геосферы: земная кора, мантия и ядро (рис. 1).

Впервые идея о сферическом строении планеты в виде научно обоснованной концепции была высказана профессором Геттингенского университета Э. Вихертом еще в 1897 г. В начале текущего столетия австрийский геолог Э. Зюсс предложил выделить пять оболочек; силическую, симатическую, хрофесиму, нифесиму и нифе. Название их составлялось из первых букв элементов, слагающих ту или иную оболочку (силициум, алюминий, магний, хром, феррум, никель).

В дальнейшем эти идеи получили научное обоснование. Глубокие скважины и шахты дали возможность геологам изучить верхние слои земной коры. Однако глу-

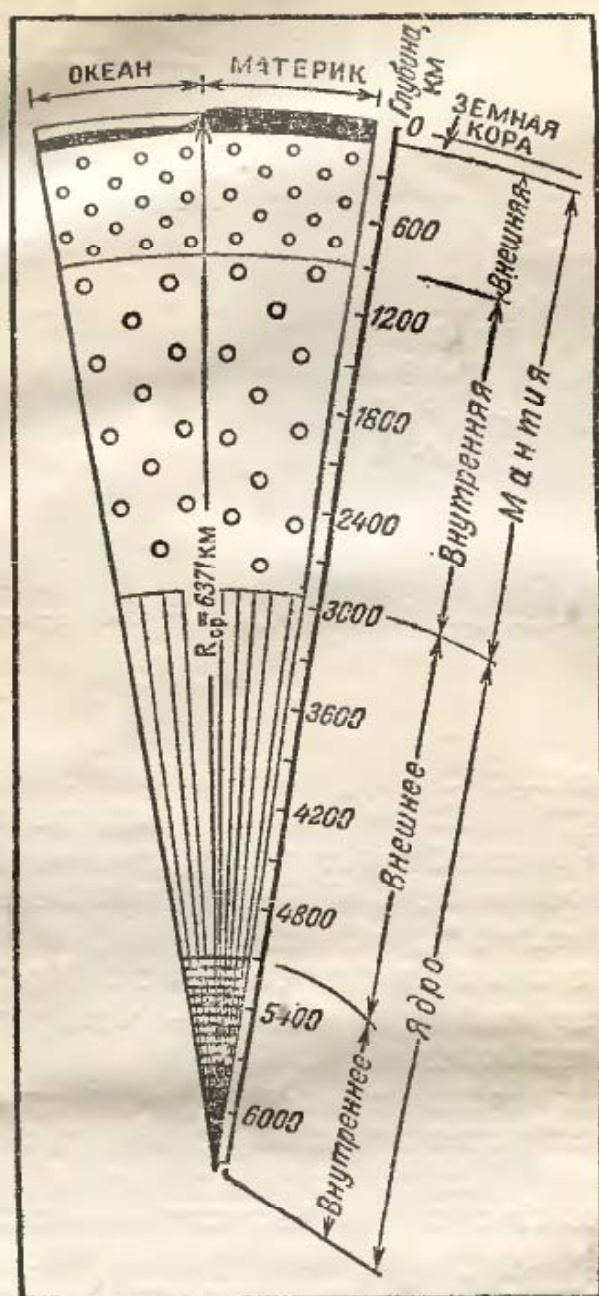


Рис. 1. Внутреннее строение Земли

бина этих горных выработок пока еще слишком мала. Самая глубокая скважина в Европе пробурена в СССР на глубину в 7263 м; в США в графстве Бэкхем (штат Оклахома) в 1972 г. была закончена бурением скважины на глубине 9583 м. Шахты проникают в недра на гораздо меньшие глубины. Рекордная глубина их 3428 м (шахта «Ист Рэнд» в Южной Африке). Сравните эти цифры со средней величиной радиуса Земли 6371 км и

вы поймете, что даже самая глубокая современная скважина проникает в тело планеты не глубже, чем булавочный укол в толстую кожу слона.

Изучение внутреннего строения Земли производится геофизическими методами и, прежде всего, сейсморазведкой. Суть этого метода в том, что на поверхности искусственно (например, путем взрыва) создают упругие колебания (сейсмические волны), которые со скоростью нескольких километров в секунду распространяются в глубь Земли. Приблизительно за 20 мин они могут пройти земной шар насквозь. В более плотной среде их скорость возрастает, в рыхлой — резко снижается, а в жидкостях упругие колебания практически не распространяются.

Проходя границу раздела двух сред с различной плотностью, упругие колебания частично отражаются, возвращаясь на поверхность Земли, а частично проникают далее в недра до следующей границы раздела. Колебания, возвратившиеся на дневную поверхность, регистрируют, изучают и по ним восстанавливают глубину залегания поверхности раздела и даже получают сведения о физических свойствах тех сред, сквозь которые прошли сейсмические волны. С этой же целью изучают землетрясения, которые вызывают упругие колебания естественным путем. Эти вопросы находятся в ведении науки «сейсмологии».

Тонкое покрывало Земли. Самая верхняя оболочка нашей планеты — земная кора представляет собой весьма тонкое покрывало, под которым скрыты беспокойные земные недра. Мощность коры меняется от 5 км (под океанами) до 70 км (под материками). Однако даже максимально толстая кора по сравнению с другими геосферами Земли кажется тонкой пленкой, в которую обернут земной шар. В среднем толщина коры составляет всего 0,006 (0,6%) от длины земного радиуса.

Резкое колебание мощности коры объясняется особенностями ее геологического строения. На континентах кора состоит из трех слоев: осадочного, гранитного и базальтового (рис. 2).

Осадочный слой покрывает планету с поверхности. Он сложен хорошо нам известными осадочными породами: песками, песчаниками, глинами, известняками,

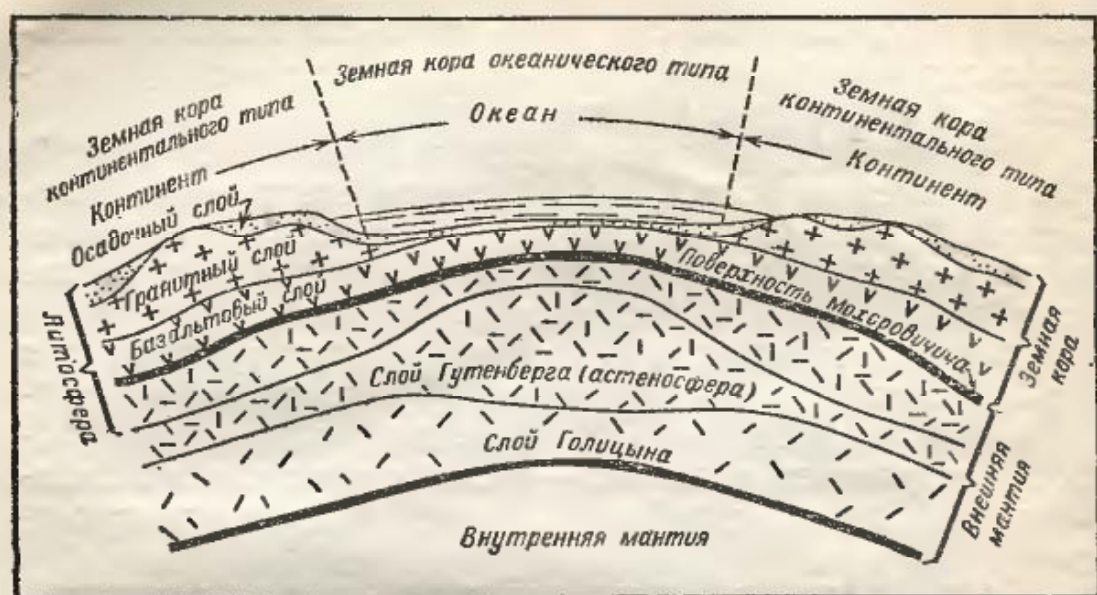


Рис. 2. Схема строения земной коры и внешней мантии Земли

каменной солью и т. д. Мощность слоя меняется от нуля до 10—15 км, достигая в редких случаях 20 км.

Гранитный или гранито-гнейсовый слой залегает под осадочным. Он назван так потому, что состоит из пород, близких по своему химическому составу и физическим свойствам к граниту. Это граниты, гранодиориты, гнейсы, слюдястые сланцы. В ряде мест слой выходит на дневную поверхность (Кольский и Скандинавский п-ова, некоторые районы Америки, Африки, Индии, Австралии, Азии). Мощность его достигает 30—40 км.

Базальтовый слой залегает в основании земной коры. На дневной поверхности достоверно он нигде не обнаружен, не вскрыт он и скважинами. О его свойствах можно судить лишь по геофизическим данным. Считается, что этот слой состоит из магматических пород типа базальта. Мощность его колеблется от 10 до 35 и даже 40 км.

Районы с более тонкой корой в рельефе материков выражены низменностями, тогда как областям с увеличенной мощностью коры соответствуют обычно горные страны.

Иное строение имеет кора под океанами: здесь полностью отсутствует гранитный слой, а мощность двух других намного сокращена: базальтовый имеет мощ-

ность порядка 5 км, а осадочный — в пределах 1—1,5 км. Резкое уменьшение толщины океанической коры фиксируется уступом в рельефе дна океанов, прослеживаемым по периферии материков (континентальный склон). Угол наклона его поверхности в среднем составляет 2—6°; местами достигая 45°, а его превышение над океаническим ложем 3—4 км при ширине 15—50 км. На географических картах континентальный склон отражается сгущением изобат (линий равных глубин), по его подножию проводят границу океанической коры с континентальной. В последние годы геофизическими методами установлено наличие в океанической коре третьего слоя, так называемого надбазальтового. Он даже вскрыт морскими скважинами. Оказалось, что этот слой, залегающий между осадочным и базальтовым слоями, состоит из желваков кремния и пластов пористых базальтов.

Океаническая кора, мощность которой колеблется от 5 до 10—15 км, характеризуется более монотонным строением, чем земная кора континентов. В районе океанических впадин (котловин) кора наиболее тонкая, по мере приближения к суше мощность ее увеличивается.

На долю океанической и континентальной кор приходится 80—85% от всей площади Земли. Остальные 15—20% занимает промежуточная кора, имеющая черты как океанической коры, так и континентальной. Она присуща многим островным дугам (типа Курильских, Японских, Антильских ов-вов), окраинным морям (типа Охотского, Японского морей), внутриконтинентальным морям (типа Средиземного, Черного морей).

Из чего состоит земная кора. В 80-х годах прошлого столетия американский ученый Кларк задался целью установить средний химический состав земной коры. Он собрал все известные анализы горных пород (около 6000) и вывел из них среднее содержание в коре различных элементов. Более поздние исследования показали, что цифры Кларка близки к истине, но в ряде случаев требуют существенных корректив. С тех пор многие ученые уточняли химический состав земной коры. В результате установлено, что наибольшую долю имеют три элемента: кислород (49,13%), кремний (26,0%) и алюминий (7,45%), в целом 82,58%. Значительную роль в

химическом составе коры играют железо (4,20%), кальций (3,25%), натрий (2,40%), калий (2,35%), магний (2,35%), водород (1,0%). В сумме эти девять элементов составляют 98,13% массы всей земной коры.

Менее всего в земной коре содержится инертных газов — гелия и радона. Это объясняется их высокой подвижностью. Они легко уходят в атмосферу, а затем рассеиваются (диссипируют) в космическом пространстве.

По среднему содержанию элементов можно рассчитать их абсолютные массы в том или ином объеме горных пород. Так, в 1 км³ пород содержится в среднем: железа $130 \cdot 10^6$ т, алюминия $230 \cdot 10^6$ т, меди $260 \cdot 10^3$ т, олова $100 \cdot 10^3$ т.

Химические элементы, входящие в состав земной коры, образуют естественные соединения, состоящие из одного, а чаще всего из нескольких элементов. Такие соединения, возникшие в результате природных процессов, получили название минералов. Известно несколько тысяч минералов, но существенное участие в строении земной коры играют лишь несколько десятков — такие минералы называют породообразующими. Наиболее распространены из них полевые шпаты (55,0%), некоторые другие силикаты (15%), кварц (12%), слюды (3%), магнетит и гематит (3%). Большинство этих минералов имеют кристаллическое строение.

В земной коре минералы группируются в естественные ассоциации — горные породы. По происхождению (генезису) различают магматические, осадочные и метаморфические породы. Первые образовались в результате остывания магмы в недрах Земли или на ее поверхности. В связи с этим различают глубинные, или интрузивные (гранит, диорит, сиенит, габбро, дунит, перидотит), излившиеся, или эффузивные (липарит, андезит, базальт, порфирит) магматические породы.

Осадочные породы формируются на поверхности Земли в морях, озерах, болотах, реках или непосредственно на суше.

Метаморфические породы возникли в результате преобразования магматических или осадочных пород под действием большого давления и высоких темпера-

тур. К ним относятся различные сланцы (глинистые, слюдяные), мраморы, кварциты, яшмы, гнейсы.

Мантия и ядро. Земная кора имеет довольно четко выраженную границу с подстилающей мантией. Скорость сейсмических волн выше этой границы не превышает 7,1—7,4 км/с, тогда как ниже она увеличивается до 8,2 км/с. Эта поверхность раздела была открыта в 1910 г. югославским геофизиком А. Мохоровичичем при изучении землетрясения в Хорватии. Впоследствии подошва земной коры получила название границы Мохоровичича, или Мохо. Ниже нее до глубины 2900 км располагается мантия Земли. Плотность вещества мантии больше плотности пород земной коры и колеблется от 3,3 г/см³ в верхней части до 6—9 г/см³ в низах мантии. В соответствии с этим скорость распространения упругих колебаний возрастает до 13,6 км/с. Однако нарастание скорости идет неравномерно; оно значительно быстрее в верхней части мантии до глубин 900—1000 км и чрезвычайно медленное и постепенное на больших глубинах. В связи с этим мантию делят на внешнюю и внутреннюю; граница между ними лежит на глубине 900 км.

Внешняя мантия изучена лучше внутренней. Но и в отношении ее многое еще неясно. В частности, большие споры вызывает химический состав внешней мантии. Одни ученые считают, что она сложена перидотитом — магматической породой, состоящей из оливина с примесью кремнезема. Другие предполагают, что внешняя мантия значительно богаче кремнеземом и по своему составу соответствует базальту, но с более плотной «упаковкой» атомов и, следовательно, с большей плотностью, чем обычный базальт. Такой глубинный базальт получил название эклогита. Достоверно ни в одной точке нашей планеты породы мантии не обнажаются, они перекрыты земной корой и не достигаемы пока даже при сверхглубоком бурении.

Характерной чертой строения внешней мантии является ее расслоенность, что устанавливается геофизическими методами. На глубине около 100 км под материками и около 50 км под океанами ниже подошвы земной коры находится слой мантии, установленный немецким геофизиком Б. Гутенбергом в 1914 г. Скорость распространения упругих колебаний в нем резко снижается, что свидетельствует о размягченном состоянии вещества.

Предполагают, что оно находится здесь в твердо-жидком состоянии, когда гранулы твердого вещества окружены пленкой расплава. Этот слой получил название астеносферы (ослабленный слой), или слоя Гутенберга. Возникновение астеносферы можно объяснить более быстрым нарастанием с глубиной температуры, чем параллельное увеличение давления, что и приводит к массовому равномерно рассеянному частичному плавлению породы. По мнению австралийского ученого А. Е. Рингвуда, в расплавленном состоянии здесь находится от 1 до 10% вещества.

Выше астеносферы породы мантии находятся в твердом состоянии, образуя совместно с земной корой литосферу, т. е. каменную оболочку Земли. Ниже астеносферы, на глубине примерно 400 км под океанами и 250 км под континентами, располагается слой Голицына, названный так в честь русского ученого Б. Б. Голицына, впервые указавшего на существование этого слоя. Для него характерно возрастание плотности вещества и соответственное увеличение скорости распространения сейсмических волн. Предполагают, что слой Голицына состоит из сверхплотных разновидностей кремнезема и силикатов. Опытным путем было доказано, что при больших давлениях и температурах кремнезем уплотняется, образуя новые минералы с плотнейшей упаковкой атомов. Так, в лабораторных условиях из кремния удалось получить при давлении в 145 000 атм и температуре 1400°С минерал стишовит с плотностью 4,35 г/см³.

Внутренняя мантия, располагающаяся в интервале глубин от 900 до 2900 км, характеризуется большей плотностью вещества и большей скоростью распространения упругих колебаний, чем внешняя. Предполагают, что внутренняя мантия Земли состоит из силикатов, обогащенных железом и магнием. Возможно, что здесь широкое развитие получили сульфиды железа.

Ядро Земли охватывает всю внутреннюю область планеты с глубины 2900 км. Важнейшей особенностью ядра является снижение скорости прохождения сквозь него сейсмических волн. На основании этого делается вывод о жидком состоянии вещества ядра. По-видимому, оно напоминает густой, вязкий материал, близкий к твердому, но все же гораздо более текучий, чем субстанция внутренней мантии. С глубины 5000—5200 км ско-

рость сейсмических волн возрастает. Это послужило основанием для датского исследователя И. Леманна в 1936 г. разделить ядро на внешнее и внутреннее. Весьма вероятно, что материал внешнего ядра находится в вязком состоянии, подобно веществу астеносферы, а внутреннего — в твердом состоянии. Плотность пород ядра достигает 13 г/см^3 .

О химическом составе ядра Земли существуют два основных мнения. Одни исследователи считают ядро железным, состоящим из никеля и железа («нифе» по Э. Зюссу). Другие же считают, что оно сложено силикатами, которые находятся в «металлизированном» состоянии. Предполагают, что под влиянием огромного давления в недрах Земли (до 3 млн. атм) атомы силикатов частично разрушились, от них оторвались отдельные электроны и произошло уплотнение вещества. Однако эксперименты последних лет не обнаружили металлизацию силикатов вплоть до давлений 5 млн. атм. Тем самым предположение о силикатном металлизированном ядре Земли поставлено под большое сомнение. Сейчас начинает преобладать промежуточная точка зрения, согласно которой внутреннее ядро — железно-никелевое, а внешнее — сложено сверхплотными силикатами.

Недавно геологи и геохимики Корнеллского университета (США) выступили с сенсационным заявлением. Они утверждают, что ими на поверхности Земли обнаружен новый минерал, который, по их мнению, каким-то образом был вынесен из внешнего ядра. Структура минерала, его плотность и химический состав говорят за это. В лабораториях университета выяснили, что минерал на 86% состоит из металлов, а на 14% из силикатов. Металлическая фракция сложена никелем (69,9%) и железом (30,1%). Минерал был найден в обломках гравия в горах штата Орегон. Его называли джозефинитом.

Движения, меняющие лик планеты. Каждый участок коры, каждая ее точка испытывает сложные движения, чаще всего медленные, реже довольно быстрые, приводящие к катастрофическим последствиям. Человек, как правило, не замечает этих движений, так как скорость их обычно не превышает десятых долей миллиметра в год. Если же ускорить движение земной коры в сотни и тысячи раз, то мы почувствовали бы себя как на палубе суденышка, попавшего в сильный шторм. Нас бросало

бы вверх, резко опускало вниз, мы неслись бы сначала в одну сторону, потом в другую. Вдруг палуба неожиданно коробилась бы, раскалывалась у нас под ногами и отдельные ее части начинали бы двигаться самостоятельно. Нечто подобное происходит с земной корой, но в очень замедленном темпе. Такие движения, которые вызывают изменение строения земной коры, перемещение ее вещества называют тектоническими.

На существование тектонических движений обратили внимание давно. Еще древнегреческий ученый Страбон (63 г. до н. э. — 20 г. н. э.) указывал, что вследствие землетрясений могут подниматься и опускаться отдельные участки суши. М. В. Ломоносов в середине XVIII в. выделял «земные трясения» и неощутимые людьми перемещения земной коры — «нечувствительные и долговременные землетрясения», вызывающие изменение береговых линий. В конце XIX в. американский геолог Г. Джилберт предложил выделять два главных вида тектонических движений: эпейрогенические (создающие континенты) и орогенические (создающие горы). В дальнейшем вопрос о тектонических движениях земной коры рассматривался многими зарубежными (Г. Штилле, Э. Хаарман, Р. Ван-Бемеллен) и отечественными (М. М. Тетяев, В. В. Белоусов, Ю. А. Косыгин, Н. И. Николаев, В. Е. Хаин) геологами.

Все многообразие тектонических движений можно свести к двум главнейшим типам: вертикальным (радиальным) и горизонтальным (тангенциальным) движениям. Первые направлены по радиусу Земли и выражаются в поднятии или опускании различных по масштабам блоков литосферы, вторые проявляются в виде горизонтального смещения этих блоков.

Существование различных типов тектонических движений земной коры сейчас строго доказано. Вертикальные движения особенно четко фиксируются в прибрежной зоне, так как с ними связано наступание моря на сушу (трансгрессия) или отступление его (регрессия). В некоторых районах мира эти явления угрожают жизни людей, благосостоянию целых городов и стран. В последние годы тревожные сигналы поступают из Венеции, которая неуклонно затапливается морем.* Разрушаются

* По последним сообщениям в районе Венеции наблюдается преобладание восходящих движений.

бесценные памятники старины. Уже сейчас около 80% городских зданий нуждаются в реставрации. Список произведений искусства, подлежащих спасению в первую очередь, состоит из 16 тысяч наименований. По предварительным подсчетам реставрация города и его защита от наступающего моря обойдется в 300 миллиардов лир.

Трансгрессии моря как результат нисходящих вертикальных тектонических движений активно проявляются на побережье Голландии и Бельгии. Скорость опускания дневной поверхности доходит здесь до 3 мм/год. Половина территории Голландии уже лежит ниже уровня моря. Чтобы защитить себя и плодородные земли побережий, жители этих стран, начиная с X в., возводят дамбы, высота которых сейчас уже достигает 20—25 м, а протяженность превосходит 1800 км.

Казалось бы, морская трансгрессия может быть объяснена общим подъемом уровня Мирового океана. Однако во многих прибрежных районах наблюдается обратная картина: море регрессирует. Об этом свидетельствуют различные древние портовые постройки, расположенные иногда от моря на значительном расстоянии. Так, развалины финикийского порта Утика обнаружены в 12 км от береговой линии Средиземного моря. На Новой Земле до сих пор сохранились избушки рыбаков, высоко поднятые сейчас над уровнем моря, и столбы, к которым рыбаки-поморы привязывали свои лодки. В пределах суши различными геодезическими методами также установлены поднимающиеся и опускающиеся участки земной коры.

Горизонтальные движения не менее широко развиты на Земле и фиксируются различными методами. Геодезическими методами, например, установлено горизонтальное смещение отдельных районов Западной Европы (Южная Бавария) со скоростью до 2,5 см за 100 лет. Скорость горизонтальных движений вдоль калифорнийского разлома Сан-Андреас составляет 1,5 см в год. С момента зарождения этого разлома (около 200 млн. лет назад) горизонтальное смещение по нему блоков земной коры составило 600 км! Советским геофизикам удалось установить сближение хребтов Гиссарского и Петра Первого со скоростью 20 мм в год и т. д.

Тектонические движения земной коры проявлялись

на протяжении всей геологической истории нашей планеты, в каждой точке ее поверхности. Однако интенсивность движений, их взаимоотношение друг с другом во времени менялось. Совокупность тектонических движений называют тектогенезом. Считают, что процесс тектогенеза протекает непрерывно-прерывисто, т. е. на фоне относительно спокойного проявления вертикальных и горизонтальных движений отмечаются эпохи их резкой активизации, которые приводят к существенным качественным изменениям и перестройке структуры земной коры. Такие максимумы тектонической активности называют тектоно-магматическими эпохами (эпохами складчатости, или эпохами диастрофизма). Тектоно-магматические эпохи в свою очередь состоят из более мелких вспышек интенсивности тектонической деятельности — тектоно-магматических фаз (фазы складчатости).

Геосинклинали и платформы — что это такое? Более ста лет назад американский геолог Дж. Холл изучал геологию штата Нью-Йорк (северная часть Аппалачей). Он обратил внимание на то, что пласты пород палеозойского возраста в районе Аппалачских гор имеют мощность в несколько раз большую, чем одновозрастные отложения в прилегающих низменностях. Дж. Холл сделал предположение, что на месте современных гор некогда был морской бассейн, дно которого интенсивно прогибалось в палеозое (250—350 млн. лет назад). Прогибание компенсировалось накоплением осадочных пород, мощность которых соответствует его амплитуде. В то же время районы современной Северо-Американской равнины прогибались во много раз медленнее.

Дж. Холл сделал вывод о существовании генетической связи между современными горными областями и зонами мощного осадконакопления в прошлом. Несколько позже, в 1873 г., другой американский геолог Дж. Дэна для обозначения таких областей, которые в начале испытывают активное прогибание амплитудой до 15—20 км, а потом горообразование, ввел термин геосинклиналь.

В дальнейшем аналогичное явление было установлено почти во всех горных районах мира. Например, мощность отложений каменноугольного возраста Уральских гор достигает 5—6 км, а в соседних районах Средне-Рус-

ской равнины она не превышает нескольких сотен метров; юрские отложения Кавказа имеют мощность до 8 км, а в степях Предкавказья не более 1—1,5 км.

Наряду с активными геосинклиналями существуют стабильные территории земной коры, которые испытывают прогибание с амплитудой всего несколько сот метров, реже несколько километров. Их стали называть платформами.

Таким образом, в зависимости от интенсивности и режима тектонических движений в строении земной коры различают геосинклинали и платформы.

В дальнейшем были установлены другие многочисленные отличия между этими основными структурами коры. Геосинклинали характеризуются линейностью, вытянутостью своих очертаний; широким развитием магматических пород в результате активной вулканической деятельности; распространением процессов метаморфизма; повышенной сейсмической активностью; повышенным значением теплового потока, идущего из недр. Пласты в геосинклиналях смяты в узкие протяженные складки, объединяющиеся в антиклинории и синклинории*. Платформы являются антиподами геосинклиналей.

Интересна и генетическая взаимосвязь этих структур земной коры. Развитие геосинклинали выглядит следующим образом. Вначале земная кора испытывает интенсивное прогибание, которое обычно полностью или в значительной мере компенсируется накоплением осадков в морских условиях. В это же время по трещинам из недр изливаются магмы. Формируются морские осадочные и магматические породы. Этот начальный этап развития геосинклинали получил название собственно геосинклинального, или главного геосинклинального этапа. Он сопровождается накоплением различных пород огромной мощности, вулканизмом и землетрясениями. С течением времени нисходящие вертикальные движения сменяются восходящими, начинают проявляться также сжимающие горизонтальные движения — геосинклиналь вступает в орогенный (горообразующий) этап развития. Накопленные многокилометровые толщи пород деформируются, сминаются в складки и как бы

* Антиклинорий — выпуклый пучок складок, синклинорий — вогнутый пучок складок.

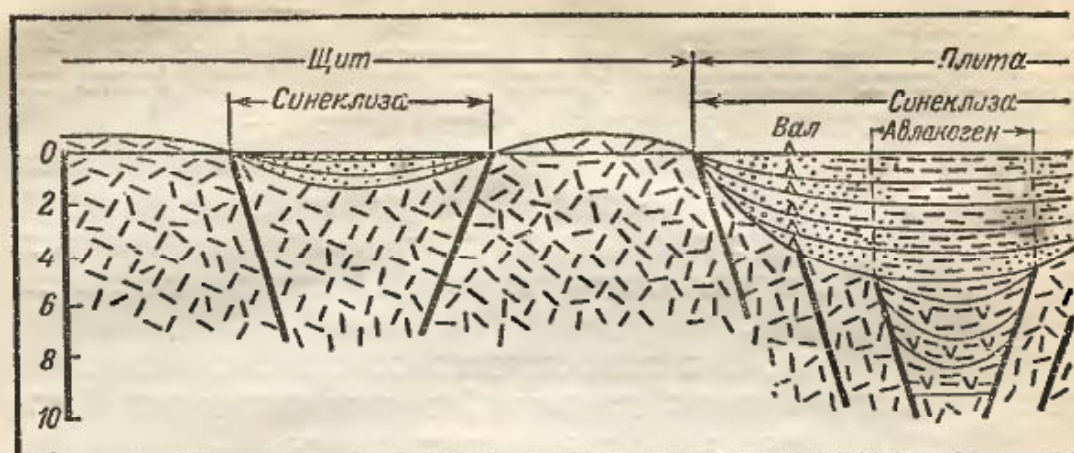


Рис. 3. Схематический разрез платформы (по В. Е. Ханину).

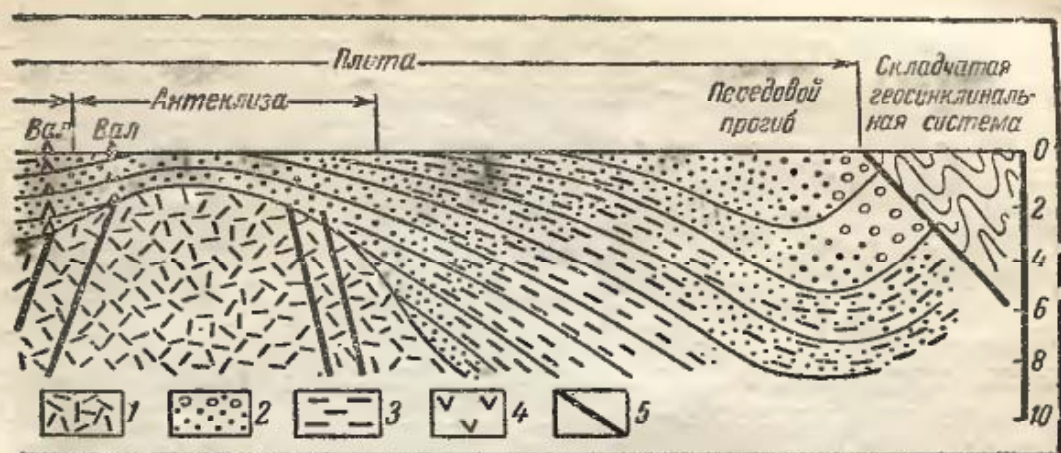
Хорошо заметно сокращение мощности чехла в районе антиклиз и на щитах, ных отложений.

1 — метаморфические и магматические породы фундамента; 2 — песчанистые ла; 4 — эффузивы, характерные для самых ранних толщ чехла; 5 — глубинные

«выпираются» вверх из первоначальной геосинклинальной впадины. Море отступает и начинают «расти» горы. Геосинклинальный морской или океанический бассейн распадается на изолированные мелкие водоемы, которые со временем прекращают свое существование. Горные цепи растут все интенсивнее, достигая нескольких километров в высоту.

Рост гор частично замедляется эрозионными процессами, протекающими на поверхности Земли. Причем чем выше поднимаются горы, тем интенсивнее они сглаживаются поверхностной эрозией. Когда рост гор приостанавливается, они целиком оказываются во власти разрушительных эрозионных процессов. Ветер, вода, колебания температуры, различные организмы сравнивают целые горные страны. Рельеф все более и более нивелируется, пока на месте гор не возникнет полого всхолмленная равнина — пенеплен. Такая равнина уже не испытывает в дальнейшем интенсивных геосинклинальных движений. Прогибание ее идет медленно, с небольшой амплитудой. Постепенно море затапливает пенеплен, образуя мелководные бассейны. Данный участок земной коры закончил свое геосинклинальное развитие и начался платформенный этап его существования.

Таким образом, развитие земной коры в геологическом смысле можно рассматривать как постепенный и



в то же время синеклизы характеризуются максимальной мощностью осадочных и галечниковые отложения чехла; 3 — глинистые и карбонатные породы чехла; разломы, рассекающие фундамент и частично захватывающие чехол

последовательный исторический процесс отмирания геосинклинального режима с заменой его платформенным.

В основании каждой платформы находятся отложения, сформировавшиеся в геосинклинальный период развития. Это в основном магматические и метаморфические породы, которые сильно дислоцированы, разбиты трещинами. Геосинклинальные отложения образуют фундамент (цоколь) платформы. Практически горизонтально на фундаменте залегают осадочные породы, накопившиеся на платформенном этапе развития, образуя платформенный, или осадочный чехол.

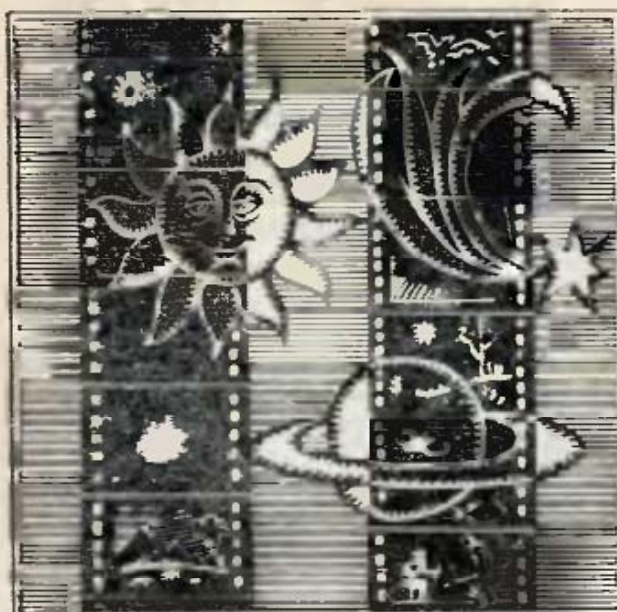
В развитии платформы, так же как и в развитии геосинклинали, выделяют различные этапы. Вначале на платформе образуются узкие провалы — грабены, которые заполняются песками, глинами континентального происхождения. Такие рвы на теле платформы впервые установил академик Н. С. Шатский, который назвал их авлакогенами (бороздой рожденные). Период образования авлакогенов некоторые ученые (например, В. Е. Хаин) предлагают называть авлакогенным этапом развития платформы.

В дальнейшем территория платформы все более втягивается в погружение, она затапливается морем и образующийся осадочный чехол перекрывает большую часть платформы. Такие платформенные территории,

где имеется осадочный чехол называют плитами, а время их образования — плитным этапом развития платформ. В составе платформ наряду с плитами существуют и щиты — области, которые испытывают восходящие движения. В их пределах осадочный чехол отсутствует, и породы фундамента выходят на дневную поверхность.

Плиты в свою очередь состоят из антеклиз и синеклиз. Первые характеризовались замедленным прогибанием, мощность осадочного чехла здесь резко сокращена и не превышает 1—2 км. Синеклизы представляют собой наиболее прогнутые области платформ, мощность чехла достигает 5—6 км и более. Синеклизы, как правило, располагаются над авлакогенами (рис. 3). Кроме этих крупнейших структур на платформах выделяют также еще ряд положительных (своды, валы, зоны поднятий) и отрицательных (впадины, прогибы) структурных элементов.

Важным элементом земной коры являются глубинные разломы, которые представляют собой узкие зоны повышенной подвижности коры, зоны повышенной ее трещиноватости и деформации. Ширина глубинных разломов 10—20 км, протяженность — многие сотни и даже тысячи километров, а проникновение в глубь Земли до 400—700 км. Глубинные разломы выполняют роль своеобразных эластичных швов между блоками литосферы, давая возможность им испытывать разнонаправленные тектонические движения. Часто глубинные разломы разграничивают платформы и геосинклинали, континенты и океаны. Характерной чертой глубинных разломов является их длительное развитие в течение многих десятков и сотен миллионов лет.



ЖИЗНЬ ДЛИНОЙ В 5 МЛРД ЛЕТ



Историческая летопись Земли насчитывает миллиарды лет. В настоящее время почти на всех материках установлены породы с возрастом более 3,5 млрд. лет, абсолютный возраст некоторых скальных пород Гренландии составляет 3,98 млрд. лет. Несомненно, что это не первичное вещество Земли. Предыстория этих древнейших пород в свою очередь длилась многие сотни миллионов, а может быть и миллиарды лет. В связи с этим можно считать, что жизнь Земли насчитывает не менее 5 миллиардов лет. Близкий возраст имеют и древние лунные породы (4,6 млрд. лет) и метеориты. Все это указывает на сравнительную одновременность образования Солнечной системы, возникшей 5—6 млрд. лет назад.

Десять томов летописи Земли. Часто геологическую летопись Земли уподобляют 10 томам по 500 страниц в каждом. В этом случае каждая страница соответствовала бы периоду времени в 1 миллион лет. Из этого количества фолиантов человек научился последовательно читать лишь последний, десятый том истории нашей планеты. Что же касается предыдущих девяти томов, то расшифровываются они с огромным трудом. Многие страницы этих томов окончательно утеряны, другие сильно попорчены временем, третьи перепутаны и искажены. Исследователя, рискнувшего попытаться проникнуть в тайны древней геологической летописи Земли, ждет долгий и кропотливый труд ради отыскания крупиц истины.

Не все способны выдержать трудные испытания на этом пути. Все же ученым удалось приподнять завесу тайны и представить себе хотя бы схематично происхождение Земли и самые ранние периоды ее жизни, изложенные в первых девяти томах. Это очень беглое и поверхностное знакомство с древней историей нашей планеты, напоминающее первое знакомство с книгой, когда мы читаем ее заголовок и оглавление, а в лучшем случае предисловие.

Начиная с палеозойской эры (570 миллионов лет назад), т. е. с последнего «тома» истории Земли, картина проясняется. Окаменевшие остатки животных и растений, сравнительно не измененные с момента своего образования горные породы, помогают не только воссоздать геологическую историю развития планеты, но и представить себе довольно четкую последовательность развития органического мира. Перелистывая страницы этого тома мы узнаем о геологических событиях, потрясавших нашу планету; о гибели одних представителей животных и растений и появлении других; об изменении очертания океанов и континентов; о росте новых горных стран и исчезновении прежних.

Не надо думать, что весь десятый том окончательно расшифрован. Здесь много еще непонятных страниц, которые читаются разными учеными по-разному. Есть еще над чем поработать геологам, которые как бы воскрешают события давно прошедшей жизни Земли. В своем сочинении* «Письма об изучении природы» А. И. Герцен образно писал об этом: «Мир прошедший, покорный мощному голосу науки, поднимается из могилы свидетельствовать о переворотах, сопровождавших развитие поверхности земного шара; почва, на которой мы живем, эта надгробная доска жизни миновавшей, становится как бы прозрачною; каменные склепы раскрылись; внутренности скал не спасли хранимого ими... Тогда все некогда живое воскреснет в человеческом разумении, все исторгнется от печальной участи бесследного забвения, и то, чего кость истлела, чего феноменальное бытие совершенно изгладилось, восстановится в светлой обители науки, в этой области успокоения и увековечения временного».

* Герцен А. И. Полн. собр. соч., т. 2. М., 1955, с. 96.

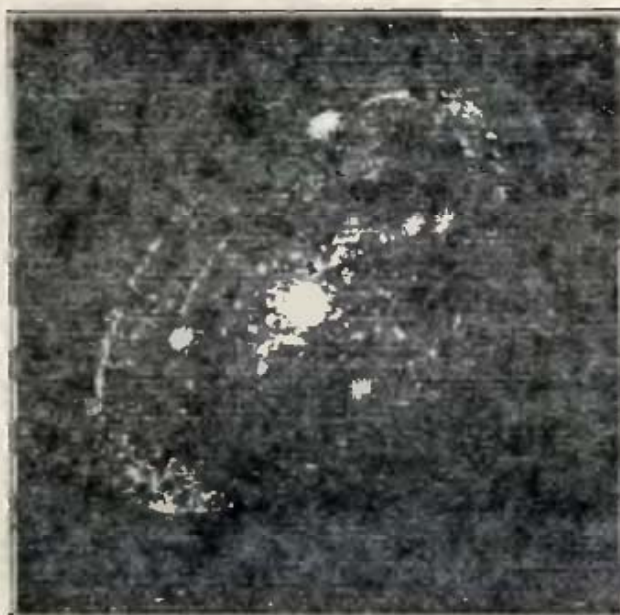
Волшебное кино. Человек слишком мало живет на Земле; но даже за свой относительно короткий срок существования он уже многое успел сделать в изучении геологической истории Земли. Чтобы нагляднее представить себе кратковременность существования человечества и трудности, возникающие в связи с этим при изучении всего периода жизни Земли, воспользуемся волшебным кино. Советский ученый П. Н. Кропоткин в предисловии к книге американских исследователей Д. Тарлинг и М. Тарлинг «Движущиеся материки» уже использовал этот прием; последуем его примеру.

Предположим, что нам удалось бы снять фильм, используя для сценария десять томов геологической летописи Земли. И вот... мы сидим в кино и смотрим этот фильм, в котором за одну секунду показываются события, происходившие на Земле за один миллион лет. На каждый том приходится немногим более 8 мин смотрового времени. Демонстрация всего фильма займет около полутора часов. За первые несколько минут мы увидели бы, как формируется Земля из сгустков космической пыли и газов. В течение последующих 70 мин перед нашими глазами прошли бы длительные начальные стадии эволюции Земли, образование атмосферы, океанов и континентов, появление первых примитивных организмов. Последний том геологической летописи Земли промелькнул бы перед нами менее чем за 10 мин. Мы едва смогли бы заметить рост горных стран и их исчезновение, изменение границ суши и моря, эволюцию животных и растений. И вдруг, за последние 2 секунды до конца фильма на экране мелькнет человек. Вся история цивилизации, насчитывающая 5—6 тыс. лет, уложится в одну двухсотую долю секунды. Мы просто не заметили бы цивилизованного периода жизни человечества, и в нашей памяти человек так и остался бы сутулым, обросшим волосами существом с дубинкой в непомерно длинных руках.

Тем не менее человек смог осмыслить и расшифровать, пусть не полностью и не окончательно, длительную историю развития Земли, начавшуюся за 5 миллиардов лет до его появления. Чтобы сделать это, ему пришлось воспользоваться большим опытом, накопленным многими исследователями; применить сложные современные приборы; лететь в космическое пространство; посетить

Луну; вести долгие наблюдения из обсерваторий за поведением небесных тел, изучить их состав и строение.

Попытки реконструировать геологическое прошлое Земли известны давно. Вначале это были наивные и очень схематичные представления. Однако в дальнейшем эта отрасль геологии оформляется в самостоятельную науку — историческую геологию, которая изучает историю и закономерности развития Земли и земной коры. Рука об руку с ней идут палеонтология (наука о древних животных и растениях), палеогеография (наука, изучающая климаты и ландшафты прошлых эпох), стратиграфия (наука, изучающая последовательность напластования горных пород), петрография (наука о горных породах). Таким образом, целая группа геологических наук занимается в настоящее время расшифровкой всех десяти томов летописи Земли, последовательно восстанавливая события жизни длиной в пять миллиардов лет.



МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ОБЛАКА



О чем писал Иммануил Кант. Несмотря на то что лишь совсем недавно человек получил в руки некоторый фактический материал, позволяющий ему строить научно обоснованные гипотезы о происхождении Земли, мысль о возможных причинах рождения планеты волновала умы древних философов еще за несколько тысячелетий до нас. Первые представления об этом основывались лишь на эмпирических наблюдениях за природой, поэтому они больше походили на фантастический вымысел, чем на реальность. Однако уже тогда возникали отдельные идеи, поражающие нас своим созвучием с нынешними представлениями о происхождении Земли. Знаменательны в этом отношении мысли древних римлян Тита Лукреция Кара, Плиния Старшего, Сенеки. В частности, Тит Лукреций Кар, известный как автор материалистического трактата «О природе вещей», думал, что вселенная бесконечна и в ней существует множество подобных нашему миров.

После падения Римской империи для Европы наступила тяжелая пора средневековья, пора господства богословия и схоластики. Средневековый застой науки сменился, начиная с XV в., эпохой Возрождения. Труды Леонардо да Винчи, Георга Агриколы, Николая Коперника, Джордано Бруно, Галилео Галилея подготовили появление прогрессивных космогонических идей в геологии, вы-

сказанных в разное время Р. Декартом, И. Ньютоном, Н. Стеноном, И. Кантом и П. Лапласом.

И. Кант в философском сочинении 1755 г. писал: «я полагаю, что вещество, из которого состоит тело нашей солнечной системы — все планеты и кометы, — до начала всех вещей было разложено на свои первичные элементы и заполняло весь тот объем вселенной, в котором движутся теперь образовавшиеся из них тела». Эти ранние представления И. Канта о том, что солнечная система образовалась в результате скопления первоначально дисперсного рассеянного вещества, кажутся сейчас удивительно правильными.

Несколько позже, в 1796 г., французский ученый П. Лаплас высказал сходные идеи о происхождении Земли, не зная о существовании философского трактата И. Канта. Появившаяся гипотеза о происхождении Земли получила название гипотезы Канта — Лапласа. Согласно этой гипотезе Солнце и планеты Солнечной системы образовались из единой раскаленной газовой туманности, которая, вращаясь, распадалась на отдельные сгустки вещества — планеты. Первоначально огненно-жидкая Земля остывала, покрывалась коркой, которая коробилась по мере остывания недр и уменьшения их объема.

Гипотеза Канта — Лапласа более ста пятидесяти лет преобладала в ряду других космогонических воззрений. Руководствуясь этой гипотезой, геологи объясняли все геологические процессы, протекавшие в недрах Земли и на ее поверхности. Французский ученый Ж. Бюффон, написавший 36 томов «Естественной истории», даже делал попытки рассчитать, сколько потребуется времени для остывания Земли. Вдали от Парижа, в старинном замке Монбарде, ученый поставил опыт. Он изготовил небольшие шары из различных горных пород, нагревал их в печи до каления, а потом наблюдал за остыванием крохотных моделей нашей планеты. По его расчетам, возраст Земли должен быть не менее 75 тыс. лет. Сейчас это звучит наивно, но тогда это казалось чудовищным кощунством, подрыванием устоев церкви. Идеи Ж. Бюффона вызвали резкие нападки со стороны духовенства, и ученый отказался от своих утверждений.

Английский физик В. Томсон путем математических вычислений получил иную цифру — 40 миллионов лет.

Столько времени, по его мнению, потребовалось Земле, чтобы остыть и превратиться из раскаленной туманности в твердое тело. Но и эта цифра ничтожно мала по сравнению с истинным возрастом Земли.

Камни с неба. Оставим пока в стороне многие и многие другие попытки ученых объяснить происхождение Земли, которые базировались на одних умозрительных выводах и наивных экспериментах. Казалось, человек никогда не проникнет в тайну начала начал мироздания. Следы разыгравшихся тогда событий безвозвратно канули в бездну времени. К счастью, человек сумел отыскать эти следы, и современные представления о происхождении Солнечной системы получили научную основу. Во-первых, мы имеем метеориты, «самые древние, — по выражению американского специалиста по метеоритике Дж. Вуда, — самые примитивные остатки планетного вещества, которыми мы располагаем сегодня»; во-вторых, уже накоплен определенный материал по изучению Луны, Марса, Венеры. Особенно большую роль в этом сыграли автоматические космические станции и посещение Луны человеком.

Метеориты падали на Землю всегда. Но далеко не всегда считали их пришельцами из космоса. Один из первых, кто правильно объяснил появление метеоритов, был немецкий юрист и физик Э. Хладни. В 1794 г. в своей книге он доказывал, что метеориты — это остатки болидов, имеющих неземное происхождение. По его мнению, метеориты являются странствующими в космосе кусками межпланетной материи, возможно осколками разрушенных планет. Однако такие идеи в то время разделяли далеко не все. Европейский ученый Т. Джефферсон, узнав в 1808 г. из сообщения американцев Силлимана и Кингали о падении метеорита в штате Коннектикут, заявил: «Легче поверить в то, что профессора-янки лгут, чем в то, что камни могут падать с неба». Теперь мы знаем точно: падать с неба могут не только камни, но и целые куски железа.

Изучая каменные и железные метеориты, ученые получили интересные данные, которые используются теперь при космогонических рассуждениях. Выяснили химический состав метеоритов — в основном это окислы кремния, магния, железа, алюминия, кальция, натрия. Следовательно, появилась возможность узнать состав

других планет — он сродни химическому составу Земли. Определили абсолютный возраст метеоритов: существенно он не отклоняется от $4,5 \cdot 10^9$ лет.

Не менее интересны данные о составе и возрасте пород Луны. Их исследование показало, что Луна начала формироваться $4,6 \cdot 10^9$ лет назад из холодного газопылевого облака. Эти факты указывают на материальное единство Солнечной системы и на единовременность ее образования.

Из этих и многих других данных постепенно складывалась научная основа современных космогонических гипотез. Огромную роль в разработке этих гипотез сыграли советские ученые, и прежде всего О. Ю. Шмидт, В. Г. Фесенков, А. П. Виноградов. Однако до сих пор наукой не найдено еще окончательного решения проблемы происхождения Земли, которое отвечало бы всем современным требованиям.

Колыбель Солнца и Земли. Большинство отечественных и зарубежных авторитетов в области космогонии считают, что исходным веществом для образования Солнечной системы послужило газопылевое облако, располагавшееся в экваториальной плоскости нашей Галактики. Вещество облака находилось в холодном дисперсном состоянии и содержало в основном летучие компоненты: водород, гелий, азот, кислород, пары воды, метан, углерод. Имелся и твердый пылевидный материал микронных размеров: окислы кремния, магния, железа. Первичное планетное вещество было довольно однородно по составу и недифференцировано; температура его, как предполагают, составляла минус 220°C .

Образование газопылевого облака могло произойти за счет сгущения главным образом атомов водорода. Сейчас установлено, что нормальная плотность газа в Галактике в межзвездном пространстве составляет примерно 0,1 атома водорода в 1 см^3 , тогда как в подобных газопылевых облаках плотность достигает 1000 атомов водорода в 1 см^3 .

В системе нашей Галактики подобных газопылевых облаков великое множество. В поперечнике они составляют обычно несколько световых лет*. Размеры же

* Световой год — расстояние, которое проходит луч света, идущий со скоростью около 300 тыс. км/с, за год, равное $3,154 \cdot 10^{12}$ км; 3,26 световых года составляют парсек.

нашей Галактики от края и до края 160 тыс. световых лет, или 50 тыс. парсеков ($15 \cdot 10^{17}$ км).

Межзвездные облака обычно испытывают медленное вращение и находятся в состоянии, близком к равновесию. Движение вещества в облаке напоминает турбулентное, хаотическое перемещение материи. Если же облако становится достаточно большим и плотным, то оно оказывается неустойчивым: преобладающей силой в нем становится тяготение, и облако начинает сжиматься. Л. Спитцер (Принстонский университет, США) показал, что если масса облака в 10—20 тысяч раз больше солнечной массы (масса Солнца равна $1,991 \cdot 10^{33}$ т), а плотность его превышает 20 атом/см³, то под действием собственного веса оно начнет сжиматься.

Нарушение равновесия в первичном газо-пылевом облаке может произойти также и при понижении температуры газа, составляющего 99% его массы. Столкновение молекул газа с пылинками приводит к передаче энергии и охлаждению газа.

От коллапса до аккреции. Самопроизвольное гравитационное сжатие облака (коллапс) приводит к образованию сгущения, включающего до 99% всей массы первичного облака. Вещество уплотняется до состояния вещества звезд. Одновременно возрастает его внутренняя температура. Тепловое движение атомов становится все быстрее, и при столкновении друг с другом они обнаруживают тенденцию к слиянию. Возникают термоядерные реакции, общим результатом которых является превращение водорода в гелий и выделение огромного количества энергии.

В реве термоядерного взрыва, в буйстве и в неистовстве сверхмощных стихий родилось Протосолнце. Рождение его — вспышка сверхновой звезды — явление не такое уж редкое. В среднем сверхновая звезда появляется в каждой Галактике раз в 350 млн. лет. За время вспышки она излучает гигантскую энергию — порядка 10^{48} эрг. При этом на небосклоне неожиданно чрезвычайно ярким светом загорается звезда.

Арабские, китайские и японские летописи рассказывают, например, о появлении в 1054 г. в созвездии Тельца такой яркой звезды, которая была видна даже днем. Блеск сверхновой звезды, появившейся в туманности Андромеды в 1885 г., превысил блеск всей Галактики и

оказался в 4 млрд. раз более интенсивным, чем блеск Солнца. И только огромное расстояние этой сверхновой звезды от нас (более 750 тыс. световых лет) спасло Землю от гибели.

Вещество, выброшенное при термоядерном взрыве, образовало вокруг Протосолнца широкое, постепенно уплотщавшееся газовое плазменное облако в виде диска с температурой в несколько миллионов градусов Цельсия. Из этого протопланетного облака в дальнейшем возникли планеты, кометы, астероиды и другие тела солнечной системы.

Теперь освобождение термоядерной энергии идет достаточно быстро, чтобы скомпенсировать потери тепла на излучение с поверхности Протосолнца. Температура в его недрах достаточно высока для поддержания давления газа на таком уровне, чтобы уравновесить гравитационные силы, сжимающие Протосолнце. Сжатие прекращается, и Солнце становится таким, каким наблюдаем мы его и по сей день. После этого оно изменилось очень мало.

Образование Протосолнца и протопланетного облака вокруг него произошло, вероятно, около 6 млрд. лет назад.

Промелькнуло несколько сотен миллионов лет. Постепенно газообразное вещество протопланетного облака остывает. При понижении температуры до 5—10 тыс. °С из горячего парообразного состояния конденсируются наиболее тугоплавкие элементы — вольфрам, титан, гафний, ниобий, молибден, платина, цирконий и их окислы. По мере дальнейшего охлаждения, которое продолжалось миллионы лет, в облаке появляются пылевидные твердые частицы, и раскаленное газовое облако вновь возвращается к относительно холодному газо-пылевому состоянию.

Бурные процессы, протекавшие на поверхности Протосолнца, приводили к выбросу электрически заряженного вещества, которое двигалось вдоль силовых линий магнитного поля быстро вращавшегося Протосолнца, унося с собой значительный удельный вращательный момент и передавая его протопланетному облаку, которое также начинает вращаться, обуславливая тем самым вращение позднее образовавшихся планет.

Протопланетное облако с течением времени постепен-

но теряло энергию в результате столкновения «пылинок» (метеоритных частиц). Происходило уплощение облака, движение вещества в нем упорядочивалось, становилось более правильным, близким к круговому. Постепенно вокруг молодого Солнца, в результате конденсации пылевидного вещества, образовался широкий кольцеобразный диск, который в дальнейшем распался на холодные рои твердых частиц и газа. Из внутренних частей газопылевого диска начали образовываться планеты типа Земля, состоящие в основном из тугоплавких элементов, а из периферических частей диска — большие планеты, богатые легкими газами, летучими элементами; в самой же внешней зоне возникло огромное количество комет. Такой порядок образования планет Солнечной системы подтверждается современным расположением различного типа планет вокруг Солнца.

Образование холодных кучностей вещества знаменует новый этап в развитии Солнечной системы. Дальнейшая эволюция будущих планет происходила, по мнению академика А. П. Виноградова, путем собирания (аккреции) космического вещества различного размера от пылевидных частиц до огромных космических тел, получивших название планетозималей.

Аккреция вещества продолжается и поныне. Исследования советских ученых А. В. Иванова и К. П. Флоренского показали, что ежегодно на Землю выпадает $2 \div 5 \cdot 10^6$ т космического вещества в виде черных магнитных шариков и мелкодисперсного материала. Изучая содержание таких веществ в древних соленосных отложениях, эти ученые предполагают, что скорость выпадения материала из космоса была постоянной, по крайней мере, последние 500—600 млн. лет. По данным других ученых эти цифры несколько иные. Американский исследователь Ф. Сингер считает, что ежедневно Земля приращивает массу в среднем на 1250 т за счет выпадения космической пыли преимущественно «каменного» состава.

Протоземля разогревается. Приблизительно 5,5 млрд. лет назад из холодных роев первичного планетного вещества возникают протопланеты, в том числе и Протоземля, которая сформировалась как космическое тело, но не была еще планетой: твердых участков ни на поверхности, ни внутри Земли не существовало.

Образование Протоземли было чрезвычайно важной вехой в истории ее развития — это было рождение Земли — момент, имеющий безусловную важность в жизни любого органического или неорганического объекта. В то время на Земле не протекали обычные, хорошо нам известные геологические процессы, поэтому этот этап эволюции планеты называют догеологическим, или астрономическим.

Протоземля представляла собой холодное скопление космического вещества, по объему и массе она, вероятно, значительно уступала своим современным параметрам. Под влиянием трех основных причин — гравитационного уплотнения, нагревания ударами космических крупных тел (метеоритов, планетозималей) и выделения тепла радиоактивными элементами — вещество Протоземли начинает разогреваться. О величине разогрева существуют различные мнения. Советский ученый В. Г. Фесенков предполагает, что вещество Протоземли могло нагреться до десятков тысяч градусов и перейти в расплавленное состояние. По мнению других ученых (Ф. Берг), температура вещества не превышала 1000°C и была ниже точки плавления. Е. А. Любимова (ведущий специалист в области термики Земли) отрицает полное расплавление вещества. Она считает, что разогрев внутренних сфер Протоземли приводил к частичному плавлению и некоторому расширению вещества, в то время как внешние слои испытывали охлаждение и сжатие. В любом случае разогрев Протоземли способствовал дифференциации ее материала, которая продолжалась и в течение всей последующей геологической истории. Однако максимальной скоростью дифференциации была, вероятно, в период догеологической эволюции.

Дифференциация вещества Протоземли приводит к концентрации тяжелых элементов во внутренних ее областях, тогда как на периферии скапливаются сравнительно легкие элементы. Упорядочение и дифференциация материала повлекли за собой его уплотнение и самое главное — разделение на ядро и мантию. Образование этих геосфер Земли явилось основным результатом ее догеологической истории. Земля становится твердой планетой, после чего астрономическая эволюция ее заканчивается и начинается более длительная геологическая эволюция.



ЗЕМЛЯ В ТУМАНЕ ТАЙН



Лунный пейзаж на Земле. Темно-серую равнину представляла собой поверхность земного шара в то время. Жаркие лучи солнца да космический холод властвовали над ней. Метеориты различного размера от пылинок до планетозималей бомбардировали лик планеты, покрывая его оспинами. Предполагают, что в ранние периоды жизни Земли количество метеоритов было гораздо большим, чем в наше время*. Отсутствие атмосферы делало Землю особенно уязвимой для обстрела из космоса.

Несмотря на безжизненный поверхностный пейзаж, в недрах планеты kloкотала геологическая жизнь. Термические процессы, начавшиеся еще в догеологическое время, продолжались не менее интенсивно. Предполагают, что 5—4 млрд. лет назад за счет радиоактивного распада Земля получала в 5—6 раз больше тепла, чем теперь (рис. 4).

Помимо этого на Землю поступало и поступает ежегодно $5,7 \cdot 10^{24}$ Дж лучистой энергии Солнца, что также способствовало развитию геологических процессов. Были и другие источники тепла: гравитационная энергия, различные фазовые переходы вещества. Советский геофизик Е. Н. Люстих указывает также, что за счет перестройки первоначально гомогенной планеты с обра-

* Предполагается, что на Землю ежегодно падает до 500 больших и малых метеоритов.

зованием ядра и мантии должно было бы высвободиться около $1,5 \cdot 10^{38}$ эргов — энергии, соразмеримой с радио-генной.

Внутренний разогрев Земли проходил, очевидно, неравномерно. Первоначальная неоднородность распределения радиоактивного вещества приводила к тому, что возникали локальные очаги расплавления и происходило

частичное плавление земного вещества при сохранении основной массы пород в консолидированном состоянии. Такой механизм дифференциации в общем-то холодного вещества планеты был предложен А. П. Виноградовым под названием зонной плавки. Ученый полагал, что при большой разности температур на границах зоны расплавления возникнет механически неустойчивое состояние расплава и в нем начнется конвекция. Перегретое вещество нижних участков, поступая в верхнюю часть зоны, будет переносить тепло, которое нагреет и расплавит расположенное выше вещество. В это же время внизу

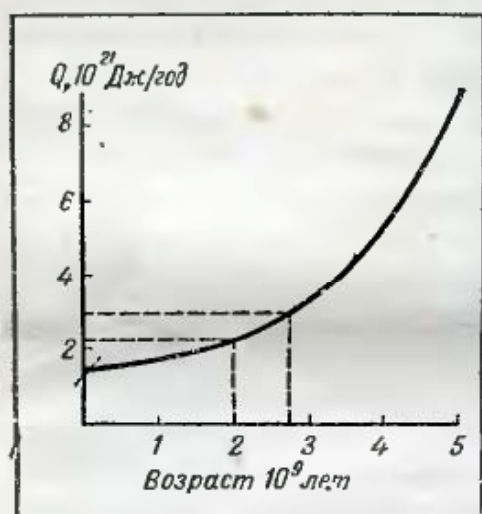


Рис. 4. Выделение суммарного радиоактивного тепла в течение жизни Земли (по Е. А. Любимовой).

Из рисунка следует, что активность термических процессов в недрах планеты резко снизилась 2600 млн. лет назад, и в особенности 2000 млн. лет назад. Кривая с этого момента делается пологой

очага расплав начнет остывать и кристаллизироваться. Таким образом, очаг расплавления сможет перемещаться, подобно огоньку сигареты. Наиболее легкоплавкие компоненты будут двигаться вверх быстрее тугоплавких и скапливаться в одном месте.

Процесс зонной плавки смоделировали в лабораторных условиях. Для эксперимента был использован цилиндр, изготовленный из каменного метеорита (хондрита). Перемещая вдоль него высокочастотную печь и проводя последовательное расплавление каждого участка, ученые добились перемещения легкоплавких и летучих компонентов от одного конца цилиндра к другому. В результате в начале цилиндрика скопилось веще-

ство, отвечающее по составу ультраосновной породе типа дунита или перидотита, а на другом конце, к которому перемещалась область прогрева, сконцентрировалось вещество базальтового состава.

Зонная плавка, охватившая верхнюю часть мантии, привела к постепенному выплавлению базальтовых пород из мантийного материала и возгонке его к поверхности Земли. Возможно, что в современных условиях этот процесс протекает в пределах астеносферы.

Под действием плавки начал формироваться базальтовый слой земной коры. На поверхности планеты возникали первичные вулкано-плутонические кольцевые структуры, заполненные базальтовой лавой. Рядом с ними соседствовали крупные и мелкие метеоритные кратеры. В то время пейзаж на Земле чрезвычайно напоминал современную панораму Луны, а возможно и Марса (рис. 5). Вероятно, те же процессы происходили и на этих планетах. Данные, полученные у нас в стране и за рубежом, свидетельствуют о том, что 4,6—3,5 млрд. лет назад на Луне также происходило формирование областей, затопленных расплавленными базальтовыми лавами, придающих сейчас лунным морям темный оттенок.

В отличие от Земли энергетические ресурсы Луны и Марса сравнительно быстро иссякли. По мнению А. П. Виноградова, 3—3,5 млрд. лет назад значительная часть или почти весь уран был вынесен из недр Луны на ее периферию, что вызвало угасание на ней вулканической и магматической деятельности. С этого момента на Луне прекратилось излияние базальтов, а геологическая жизнь теплится теперь лишь в ее недрах. О том, что термическая эволюция Луны продолжается, свидетельствует довольно значительный тепловой поток, равный приблизительно половине земного. Предполагают даже, что на глубине температура Луны составляет около 100°С.

Таким образом, современную Луну и Марс можно рассматривать как аналоги древней Земли. Земля вместе с ними проходила одинаковый путь развития, но не остановилась на этом. Ее эволюция пошла дальше, тогда как Луна и Марс мало изменились за последние 3—3,5 млрд. лет. В большей степени это относится к Луне, которую можно рассматривать в качестве своеобразной модели Земли в самом начале геологической



Рис 5. Ландшафты Луны, Марса и Земли.

а — снимок Луны, выполненный «Аполлоном-11» в момент сближения — диаметр большого кратера на заднем плане около 15 км; б — поверхность Марса, зафиксированная 30 июля 1969 г. автоматической станцией «Маринер-6» во время максимального приближения к планете, — диаметр большого кратера около 24 км; в — кратер Табун-Хара-Обо в Монголии — диаметр кратера 1,3 км («Наука и жизнь», 1973, № 11)

истории ее развития. В связи с этим ранний период жизни Земли, примерно с 5 до 4,5 млрд. лет, по предложению советского ученого А. П. Павлова выделяют как лунную стадию развития.

Одновременно с выплавлением базальтового слоя будущей земной коры происходит и дегазация мантийного материала. Газообразные компоненты высвобождаются и скапливаются в околоземном пространстве, удерживаемые силой земного тяготения. Луна и Марс, обладающие меньшей силой притяжения, не могли удержать около себя продукты дегазации своих недр, которые частично (Марс) или практически полностью (Луна) диссипировались в космическом пространстве. Земля же начинает приобретать вокруг себя атмосферу.

Согласно данным американского ученого Г. Юри, в эти ранние периоды существования нашей планеты атмосфера ее отличалась значительно меньше плотностью и обладала восстановительным характером. Сравнение с планетами-гигантами (Юпитер, Сатурн) позволяет предполагать, что в первичном составе земной атмосферы преобладали метан, аммиак, в меньшей степени водород, пары воды, двуокись и окись углерода. Кислород же практически отсутствовал.

Конденсация паров воды приводила к образованию первых водных бассейнов на поверхности Земли. А. П. Виноградов доказывает, что при зонной плавке выделилось $1,6 \cdot 10^{24}$ г воды, т. е. почти столько, сколько содержится ее в современных океанах и морях. Поэтому не удивительно, что уже в конце лунной стадии мог существовать океан, который почти сплошной пеленой покрывал планету. Другие ученые считают, что этот океан по объему значительно уступал современному. Как предполагает Г. Юри, в нем было лишь 10% воды от объема существующих морей и океанов. Глубина первичного океана могла достигать 1,5—2 км. Кое-где над его уровнем возвышались участки суши в виде одиночных вулканических островов или архипелагов.

Завершение лунной стадии развития Земли знаменуется, таким образом, образованием базальтового слоя коры, возникновением первичных атмосферы и гидросферы.

Овальные вздутия в теле планеты. Лунная стадия длилась, вероятно, 500—700 млн. лет, поэтому, очутившись на нашей планете 4—3,5 млрд. лет назад, мы застали бы качественно новую стадию ее развития*.

На Земле все еще отсутствовали геосинклинали и платформы. Однако появился горный рельеф вулканического происхождения, появились атмосфера и гидросфера, которые разрушали (эродировали) неровности рельефа. Следовательно, появились продукты разрушения — обломки пород, различные соли, растворяющиеся в воде первых океанов.

Учитывая, что плотность древней атмосферы Земли была сравнительно мала, можно предположить, что вулканические горы разрушались медленнее, чем сейчас, и могли быть значительно выше современных. Используем еще раз метод аналогии, широко применяющийся в геологии. Посмотрим: какова высота горных вершин на Марсе, близкой по своим размерам к Земле планете? Анализ космических снимков марсианского рельефа позволил установить там вулканические горы, в два-три раза превосходящие высочайшую вершину Земли — Джомолунгму (8848 м). Высота горы — вулкана Никс Олимпик, например, более 14 км, ее основание в поперечнике 500 км, а диаметр кратера 65 км. Известны вулканы на Марсе высотой до 20 км. Конечно, полную аналогию между тогдашней Землей и сегодняшним Марсом проводить не следует, но все же какое-то впечатление о древнейшем рельефе нашей планеты получить можно.

Процессы эрозии и образование обломков неизбежно повлекли за собой осаждение продуктов разрушения. По-видимому, эрозии подвергались в основном первичные вулканические образования, о чем свидетельствует состав самых древних пород, дошедших до нас и имеющих возраст около 3,5—3,6 млрд. лет.

На этой стадии первичная базальтовая земная кора испытывала главным образом вертикальные движения. Понижения в рельефе суши и океанического дна заполнялись продуктами разрушения. За многие десятки миллионов лет рыхлые осадочные образования скапливались в огромных количествах, что приводило к их уплот-

* Четкие временные рубежи в жизни Земли наметить практически невозможно: они в известной мере, условны, приближены и выделяются по возможному преобладанию тех или иных процессов.

нению и преобразованию в глубокометаморфические породы — гнейсы.

Древнейшие гнейсовые комплексы, прорванные гранитными интрузиями, образовывали своеобразные куполовидные структуры — овалыные вздутя в теле Земли, имеющие в поперечнике от нескольких километров до десятков, а иногда и сотен километров. Эти купола не имели отчетливой линейной ориентировки в плане, располагались хаотично. Наиболее характерные структуры такого типа в древних комплексах известны в Северной Америке в районе оз. Верхнего. Здесь вулканогенные зеленокаменные породы и граниты (мощностью до 12 км) образуют так называемую серию Киватин, абсолютный возраст которой от 2,8 до 3,5 млрд. лет. Такого же типа купола известны на Кольском полуострове, в Карелии, в Сибири, в Африке. Их называют овоидами, нуклеарными ядрами или просто нуклеоидами («нуклеос» — ядро).

Учитывая специфические геологические условия развития Земли в период накопления овоидов, Е. В. Павловский в 1962 г. предложил называть эту стадию нуклеарной.

Дальнейшее образование гранито-гнейсовых куполов приводит к их слиянию. На базальтовом слое Земли формируется новый, гранитный слой. Считается весьма вероятным, что в то время происходил общепланетарный процесс нарастания гранитного слоя — пангранитизация Земли. Практически весь земной шар был покрыт корой континентального облика, мощность которой была более равномерной, чем в наше время, и составляла 30—40 км (по мнению некоторых ученых, мощность первичной коры не превышала 5—10 км).

Итак, приблизительно 3,5 млрд. лет назад заканчивается формирование первичной континентальной земной коры. В дальнейшем она испытывает неоднократную переработку. Последующие геологические процессы разрушают, видоизменяют ее. Обнаружение остатков первичной коры в сравнительно неизменном виде — довольно редкое явление. Все же геологи находят такие участки и имеют возможность исследовать химический состав, физические свойства, возраст этих древнейших пород на Земле, которые донесли до нас очень ценную геологическую информацию сквозь миллиарды лет.

С образованием первичной земной коры завершился ранний этап геологической эволюции планеты. В дальнейшем она вступает в принципиально новую стадию своего развития, когда появляются качественно иные структуры — геосинклинали.

«Первичный бульон» в древних океанах. Характерной чертой ландшафта древней Земли была безжизненность суши и океанов. Ни шуршание листвы или травы, ни всплеск рыбы или крик птицы не нарушали всеобщего безмолвия планеты. Только вой ветра, шум ударов волн о берег и гул извержений вулканов создавали первичную симфонию звуков. В нее вплетались также частая дробь дождя и раскаты грома. Однако уже в тот «мертвый сезон» органическая жизнь исподволь готовилась к завоеванию воды и суши.

Предполагают, что самым древним организмам, найденным в горных породах, — 3,2 млрд. лет. Их появлению предшествовал длительный «подготовительный» период. Согласно представлениям академика А. И. Опарина, эволюция жизни на Земле состоит из двух стадий: химической и биологической.

Химическая эволюция вещества во временном отношении соответствует лунной и нуклеарной стадиям развития Земли. В первичных древних океанах наряду с водным раствором неорганических солей содержались и разнообразные органические соединения, способные вступать во взаимодействие между собой.

Возникновение первичных органических соединений из неорганических могло произойти под действием электрических разрядов и ультрафиолетовых лучей. Экспериментальные данные подтверждают возможность синтеза органических соединений из газовой смеси метана, аммиака, водорода и паров воды под действием тихих электрических разрядов. Опытным же путем были получены аминокислоты из примитивных углеродистых соединений с помощью коротковолновых ультрафиолетовых лучей, способных глубоко проникать в атмосферу Земли.

Таким образом для возникновения аминокислот — важнейших органических соединений, являющихся основой для построения клетки, необходимо наличие примитивных углеродистых соединений и коротковолновых ультрафиолетовых лучей. В ранние периоды развития

Земли такие условия имелись. Это подтверждают два факта: наличие органических соединений в метеоритах, лунном грунте, в атмосфере некоторых планет и отсутствие «озонового щита» у Земли в далеком прошлом, что давало возможность коротковолновому ультрафиолетовому излучению беспрепятственно проникать до поверхности планеты.

Исследования последних лет обнаружили во внеземном пространстве разнообразный мир органических соединений: углеводов, спиртов, альдегидов, эфиров, даже аминокислот, нуклеотидов и других ароматических соединений с содержанием до 18 атомов углерода в молекуле. Не обошлось без курьезов. Несколько лет назад широко дискутировалось открытие организованных элементов, напоминающих по форме наземные микроскопические водоросли и бактерии, в каменных метеоритах. Пришлось создать специальную комиссию ученых для выяснения этого вопроса. Комиссия показала, что метеоритное вещество было «заражено» земными микроорганизмами в результате соприкосновения его с веществом Земли.

Точные лабораторные исследования лунного грунта (реголита) установили присутствие в нем водорода, гелия, метана, аммиака и более сложных органических соединений. Аналогичные соединения были найдены в веществе некоторых каменных и углистых метеоритов, обнаружены в атмосфере Юпитера и Сатурна, в головах комет. Вот что интересно. Все эти внеземные органические соединения имеют симметричное строение и их молекулы оптически неактивны, тогда как биогенные органические соединения того же состава имеют несимметричное строение и оптически активны, т. е. отклоняют плоскость поляризованного светового луча.

С течением времени органические соединения абиогенного происхождения все более и более насыщали древний океан, формируя, по образному выражению А. И. Опарина, «первичный бульон». Из хаоса взаимоперекрещивающихся реакций водного раствора образуются многомолекулярные комплексные системы, которые в свою очередь сформлируются в так называемые коацерватные капли. Возможность образования таких коацерватов подтверждена лабораторными исследованиями.

Коацерваты представляли собой своеобразные молекулярные рои, или кучи, которые, достигнув определенной величины, выделяются из общего раствора в форме резко очерченных капель, обладающих внешней и внутренней структурой. Выделившись из «первичного бульона», коацерваты сохраняют способность взаимодействия с внешней средой. Вещество, окружающее каплю, не только поглощается ею, но и претерпевает в коацерватной капле различные химические преобразования.

Экспериментальным путем было показано, что если в коацерваты, состоящие из полиглюкозы и гистона, включить соответствующий катализатор, а в окружающей среды растворить фосфопроизводные глюкозы, то в капле начнет образовываться крахмал, и она растет. При дополнительных включениях в каплю другого катализатора из нее выделяется мальтоза, которой ранее в среде не было. Таким образом, коацерватные капли постепенно превращались в системы, способные не только к самосохранению, но и к росту и к увеличению своей массы за счет вещества окружающей внешней среды. Такие системы, активно взаимодействующие с внешней средой, обладающие динамической устойчивостью и способные не только сохраняться, но и расти в условиях «первичного бульона», А. И. Опарин предлагает называть протобионтами. Протобионты были намного более сложными организациями, чем коацерваты, но на много порядков ниже, чем самые примитивные живые существа.

Дальнейшая химическая эволюция в океанах привела к усложнению структуры протобионтов и к возникновению предбиологических многомолекулярных систем, те в свою очередь эволюционизировали в ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). ДНК построена из отдельных элементов, называемых нуклеотидами. Каждый из них состоит из сахаро-фосфатных групп и одного из четырех азотистых оснований (аденина, тимина, гуанина и цитозина). ДНК обладала важными свойствами — метаболической инертностью, т. е. определенным консерватизмом живой системы. Вначале, в «первичном бульоне» был возможен только беспорядочный синтез нуклеотидов. С появлением ДНК произошло закрепление внутримолекулярной структуры во вновь синтезиро-

вавшихся нуклеотидах, что обусловило определенную наследственность.

ДНК все более и более приспособляется к решению задачи точного самовоспроизведения и передачи наследственной информации. Она послужила основным материалом для формирования клеток, в частности, клеточного ядра. У самых примитивно организованных клеток ядерное вещество представляет собой сферические или скрученные образования, состоящие из ДНК и обладающие характерными для ядра химическими свойствами. При делении таких примитивных клеток, вероятно, происходит простое распадение ядерного вещества на два дочерних фрагмента.

Появление клетки кладет начало принципиально новому этапу в развитии жизни — биологической эволюции. Возникновение клетки потребовало огромного промежутка времени (около 1,5 млрд. лет), смены бесчисленного множества поколений доклеточных существ.



БУРНАЯ МОЛОДОСТЬ ПЛАНЕТЫ



Геологическая история нашей планеты, начиная примерно с 3,5 млрд. лет, делится на пять крупных естественных этапов развития, получивших название эр: архейская, протерозойская, палеозойская, мезозойская и кайнозойская эры. В составе трех последних выделяют периоды, те делятся на эпохи, которые в свою очередь состоят из веков. В сумме эти естественные отрезки геологической истории Земли образуют геохронологическую шкалу (рис. 6). Каждому отрезку геологического времени соответствуют комплексы горных пород, называемые группой, системой, отделом и ярусом.

Основы геохронологической шкалы были заложены на рубеже XVIII—XIX вв. английским землемером В. Смитом. Кроме своей основной работы, В. Смит коллекционировал раковинки вымерших организмов, которые он находил в осадочных горных породах. Он заметил, что каждому слою пород соответствует определенный набор раковин. Это натолкнуло В. Смита на мысль о том, что по раковинам можно определить возраст пород. Те слои, которые содержат одинаковые раковинки, могут рассматриваться как одновозрастные. Зная же последовательность смены одних представителей животного мира другими, можно отличать молодые слои от старых. В этом случае устанавливается относительный возраст горных пород, т. е. возраст пород относительно друг друга. По меткому определению француз-

ского геолога Э. Ога, «ископаемые являются для геолога тем же, чем медали и монеты для историка». Разработка палеонтологического метода определения возраста пород нашла дальнейшее развитие в трудах Ж. Ламарка, Ж. Кювье, А. Броньяра, Ч. Дарвина, В. О. Ковалевского, А. А. Борисяка.

В названиях эр кроется определенный смысл. Архейская эра переводится как эра древнейшей жизни, протерозойская — эра первоначальной жизни, палеозойская — древней жизни, мезозойская — средней жизни, кайнозойская — новой жизни. Таким образом в названиях эр отражено появление и развитие жизни на Земле. Учитывая, что в архее и протерозое органическая жизнь носила очень примитивный характер и концентрировалась лишь в океанах, эти две эры выделяют как криптозой (скрытая жизнь). Последующие три эры (палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую) рассматривают как фанерозой (явная жизнь.)

Для определения относительного возраста пород используют ископаемые остатки не только животных, но и растений (споры, пыльцу, отпечатки листьев). Наиболее характерные ископаемые организмы для определенного отрезка геологического времени получили название руководящей фауны. Недостатком палеонтологического метода является то, что он применим лишь к осадочным отложениям, так как в магматических и метаморфических породах ископаемые организмы не встречаются. Кроме того этот метод не позволяет определить продолжительность эр и периодов в годах.

Спустя сто лет после открытия В. Смита, Ж. Кювье, А. Броньяра появилась возможность установить абсолютный возраст горных пород — определить время в годах, прошедшее с момента образования породы. Для этого использовали принцип радиоактивного распада. Допускается при этом, что скорость распада остается неизменной во все времена геологической истории Земли. Наиболее широко при установлении абсолютного возраста пород используются свинцовый, стронциевый и калий-аргоновый методы. С последним связывают наибольшие перспективы, так как он позволяет устанавливать абсолютный возраст не только магматических и метаморфических пород, но и некоторых осадочных.

Применение абсолютных методов летоисчисления да-

Этапы эволюции Земли	Основные стадии геологической истории Земли	Геохронологическая шкала			Абсолютная продолжительность эпох в млн. лет	Органический мир		
		Надэра	Эра (группа)	Период (система)				
Геологическая эволюция	Геосинклинальная	Геосинклинально - платформенная	Фанерозойская	Кайнозойская	Антропогенный	1	Органическая эволюция	
					Неогенный	25		
					Палеогеновый	41		
				Мезозойская	Меловой	70		
					Юрский	58		
					Триасовый	45		
			Палеозойская	Пермский	Пермский	45		
					Каменноугольный (карбон)	55		
					Девонский	70		
					Силурийский	30		
					Ордовичский	60		
					Кембрийский	70		
					570 млн. лет			
			Протерозойская	Поздний Рифей		1200		
			Криптозойская	Средний Рифей		200-300		

ло возможность геологам установить продолжительность эр, периодов, эпох, веков. Оказалось, что наибольшую длительность имеют архейская и протерозойская эры — соответственно около 1 млрд. лет и около 2 млрд. лет. Точность этих измерений ± 100 млн. лет. Палеозойская эра длилась 350—330 млн. лет, мезозойская 170—

Геосинклинали, геосинклинали... Стадию геологического развития Земли, охватывающую интервал времени от 3,5 млрд. лет до 2 млрд. лет (архей, ранний протерозой), называют иногда раннегеосинклиальной. Продолжительность ее 1,5 млрд. лет.

Термические процессы в недрах Земли не прекратили свое интенсивное проявление с завершением лунной и нуклеарной стадий развития. В архейскую эру продолжался еще сравнительно интенсивный разогрев земных недр. Однако в отличие от ранних стадий, когда тепловой поток беспрепятственно уходил в околоземное пространство, теперь он задерживается мощной земной корой континентального типа. Происходило своеобразное накопление тепла в недрах, что, вероятно, повышало температуру и могло приводить к частичному расплавлению пород мантии.

Увеличение температуры вызывало общее разуплотнение вещества Земли. Эклогит, например, мог переходить в базальты, увеличивая при этом свой объем на 12—15%. Разуплотнение и фазовые переходы мантийного вещества приводили, очевидно, к увеличению общего объема Земли. Этому, однако, препятствовала земная кора. Противоборство расширяющихся недр и жесткой коры продолжалось до некоего критического момента. И вдруг земная кора «лопается» во многих местах и расползается, давая возможность вырваться из недр избытку вещества. Ломке первоначальной коры могли способствовать и другие силы, например ротационные.

Растрескивание и раздвижение первичной земной коры приводило к образованию линейных зон, обладающих большой подвижностью, — протогеосинклиналей. В их пределах протекали активные вулканические процессы с излиянием лав в основном базальтового состава. Вулканы занимали центральные части образовавшихся зон и были приурочены к первичным трещинам. Между вулканической цепью и раздвигающимися в разные стороны разорванными краями континентальной коры образовались океаны, в них происходили интенсивные процессы накопления осадков, компенсирующие прогибание коры. Материал поступал со стороны вулканических гор, формировались эффузивные магматические породы и продукты их эрозии; приносился материал и со стороны континентальных массивов или островов материкового типа.

Размеры, очертания и положение океанов, заполнявших протогеосинклинальные прогибы, конечно, не совпадали с параметрами современных океанов. Они так же, как и вся земная кора, прошли долгий и сложный путь эволюции, не раз изменяя за это время свою конфигурацию. Есть основание предполагать, что 2,5 млрд. лет назад объем гидросферы уже составлял не менее 55% современной.

Протогеосинклинали архея отличались от последующих геосинклиналей. Они не разделялись относительно стабильными платформенными массивами, не было дифференцировано их внутреннее строение, нечетко выделялись глубинные разломы. В раннем протерозое развивались уже типичные геосинклинали. Характерно, что в их пределах стали обособляться внутренние области — эвгеосинклинали, где формировались подводные вулканические породы, и внешние области (миогеосинклинали), выполненные исключительно карбонатными и обломочными породами (известняки, глины, песчаники и т. д.).

В то далекое время практически вся земная кора испытывала геосинклинальный режим развития. Возникшие геосинклинали почти что полностью разрушили и переработали первичную континентальную кору. Мощные стихии повсеместно сотрясали поверхность планеты. Извержения вулканов, огненные лавовые потоки,двигающиеся к подножию гор со скоростью современных автомобилей, пары воды, воздымающиеся при соприкосновении лавы с водами морей и океанов, землетрясения, ломающие кору, как яичную скорлупу, придавали лику Земли грозное и беспокойное выражение.

Описанная нами картина геологического развития Земли в архее и раннем протерозое подтверждается материалами изучения древних пород Скандинавского и Кольского полуостровов, Сибири, Америки, Африки, Азии и Австралии. Для них характерны следующие особенности: исключительное развитие метаморфических и магматических пород; огромная мощность осадков, измеряемая десятками километров; сильная дислоцированность, т. е. смятость отложений в складки. Все эти черты говорят о типично геосинклинальных условиях развития, а поскольку отложения, характерные для геосинклинальных областей, встречены повсеместно, то можно утверж-

дать, что такой режим развития земной коры в архее и раннем протерозое был практически всеобщим.

Глобальные катастрофы — создатели структур литосферы. Активные тектонические процессы архейского и раннепротерозойского времени приводили к выносу из недр Земли огромного количества вещества и энергии. По сути дела, накопление мощнейших толщ осадочных и магматических пород явилось результатом эффузивных процессов, поставлявших на поверхность глубинное вещество.

Периоды накопления осадочных и магматических отложений длились многие десятки, даже сотни миллионов лет. Одновременно с выносом глубинного вещества из недр планеты уходила и энергия. Отсутствие континентальной коры в геосинклиналях приводило здесь к повышенной теплоотдаче. Геосинклинали выполняли роль своеобразных окон, сквозь которые «проветривались» недра Земли.

Планета остывала. Можно предположить, что охлаждение недр приводило к некоторому уменьшению объема вещества. Наиболее ощутимо это происходило, вероятно, в областях первоначально большего разогрева, т. е. в геосинклиналях, так как здесь наиболее интенсивно удалялось тепло с поверхности Земли. Уменьшение объема вещества недр, если оно имело место, неизбежно приводило к тому, что пластины коры, раздвинутые в стороны в период активного разогрева, начинают двигаться к своим исходным рубежам. Этому препятствовали осадочные и магматические толщи, заполнившие геосинклинальные прогибы. Одновременно начинают преобладать восходящие вертикальные движения. Происходила инверсия тектонического режима в геосинклиналях. Накопленные сравнительно пластичные толщи осадочных пород коробятся, сминаются в складки, «выпирают» из прогибов. Возникшие складки, подобно вееру, распадаются в разные стороны от осевых частей геосинклиналей, образуя горные хребты.

В эпохи максимума тектонической активности магматическая деятельность не прекращалась. Однако состав вулканических лав изменился: базальты сменились андезитами, липаритами, порфиритами — эффузивными породами с повышенным содержанием кремнезема. Такие магматические породы, которые содержат окиси

кремния более 65%, называют кислыми. Появление кислых пород в эпохи складчатости можно объяснить тем, что в магматические процессы были вовлечены накопившиеся осадочные толщи, обогащенные кремнеземом.

В геологической истории Земли эпохи складчатости играли очень важную роль. В. Е. Хаин рассматривает их как революционные эпохи, выделяя в противовес им эволюционные эпохи — периоды прогибания геосинклиналей и накопления осадочных толщ. В революционные эпохи происходит коренное преобразование лика Земли; океаны резко сокращают свои размеры, растут горы, изменяется состав вулканических лав, извержения вулканов приобретают катастрофический взрывной характер, образуются новые глубинные разломы, дробящие земную кору и усложняющие ее строение. И все это в течение каких-нибудь нескольких миллионов лет, т. е. за период в 10—20 раз короче, чем любая эволюционная эпоха. В связи с этим такие революционные моменты в жизни Земли и называют эпохами диастрофизма — эпохами, когда происходят глобальные катастрофы.

Появление эпох диастрофизма носит периодический характер. В истории архея и раннего протерозоя выделяют несколько таких эпох. Они проявлялись на земном шаре не одновременно, но некоторые из них обладали достаточной синхронностью и оставили четкие следы для того, чтобы геологи могли установить их спустя несколько миллиардов лет. Одна из первых эпох диастрофизма выделяется учеными А. И. Тугариновым и Г. В. Войткевичем в самом начале архея (3500 ± 100 млн. лет). Она была установлена по наличию древних кислых магматических пород. Эта эпоха, получившая название белозерской, не привела к существенному изменению тектонического режима в развитии Земли.

В конце архейской эры завершается следующая крупная эпоха диастрофизма — кеноранская или беломорская (2600 ± 100 млн. лет). Интенсивные сминающие горизонтальные и восходящие вертикальные движения земной коры привели к сильному метаморфизму накопленных ранее осадочных отложений: породы существенно уплотнились, смялись в складки. Возникшие метаморфические породы (гнейсы, кварциты, слюдистые сланцы и др.) были пронизаны кислыми магматическими образованиями типа гранитов. Все это привело к тому, что

в некоторых местах земного шара сформировались жесткие массивы, которые в дальнейшем уже развиваются как платформы. Последующие тектонические процессы сократили их размеры, но в ряде районов нашей планеты эти самые первые платформы (протоплатформы, по Е. В. Павловскому) еще сохранились. Среди таких районов можно назвать север Канады, некоторые области Кольского и Скандинавского полуостровов, Центральной Сибири, Африки, Австралии, Южной Америки.

Одной из важнейших эпох диастрофизма раннегеосинклинальной стадии явилась раннекарельская эпоха, завершившаяся в конце раннего протерозоя ($2000 \pm \pm 100$ млн. лет). В результате сформировались первые «настоящие» платформы, получившие название древних, или эпикарельских* платформ (кратоны). Они спаяли воедино разрозненные остатки протоплатформ, образовав ядра будущих континентов. Раннекарельская эпоха диастрофизма привела к принципиальной смене в тектоническом режиме развития Земли: геосинклинальный режим сменился на дифференцированный режим геосинклиналей и платформ.

С появлением и ростом платформ — устойчивых областей литосферы — сократились очаги вулканизма, которые теперь уже концентрируются только в геосинклинальных поясах, опоясывающих крупные устойчивые массивы древних платформ. В связи с этим сокращается и количество материала, поступавшего на поверхность планеты из ее недр, произошло замедление роста литосферы. Важным результатом раннегеосинклинальной стадии развития Земли явился вынос из мантии значительных количеств радиоактивных элементов (урана, тория, калия), которые концентрируются уже в гранито-гнейсовом слое коры. Это привело к снижению общего теплового потока, понижению уровня астеносферы, что способствовало консолидации коры в целом. Таким образом, глобальные катастрофы в истории Земли выполняют иногда своеобразную роль созидателей новых структур литосферы, а именно — платформ.

Возникновением древних платформ заканчивается раннегеосинклинальная стадия, и со среднего протерозоя

* Приставка «эпи» означает «после», т. е. платформы, возникшие после карельской эпохи складчатости.

начинается новая, геосинклинально-платформенная стадия развития Земли (по В. Е. Хаину), продолжающаяся до настоящего времени.

Размеры и очертания эпикарельских платформ в дальнейшем были изменены последующими процессами тектогенеза. Некоторые из них оказались расчлененными на отдельные глыбы, т. н. «срединные массивы», и частично переработаны. Но в основном древние платформы сохранились до наших дней без изменения и составляют основу нынешних континентов. Современное их положение показано на рис. 7.

Древние платформы не сразу заняли современное положение. Предполагают, и не без основания, что первоначально они группировались совсем в другом порядке. Чтобы лучше уяснить себе, какие факты приводят ученых к такому выводу, обратимся к истории этого вопроса.

Пангея Альфреда Вегенера. Пожалуй, первый, кому пришла в голову мысль о сходстве очертаний западного побережья Африки и восточного побережья Южной Америки, был английский философ Фрэнсис Бекон. В 1620 г. он опубликовал свои идеи, не дав им никакого объяснения. Вскоре французский аббат Ф. Пласе (1658 г.) высказал предположение о том, что Старый и Новый Свет разделились после всемирного потопа. В течение XVII—XVIII вв. это была общепринятая точка зрения.

Первые наблюдения геологического сходства материков по обе стороны Атлантики были сделаны в 1858 г. итальянским ученым Антонио Снидером (Пеллегрини). Он создал даже первую реконструкцию первоначального положения континентов. Окончательно идеи о возможном перемещении континентов оформились в научную гипотезу лишь в начале XX в., и создателем ее стал немецкий ученый А. Вегенер, по образованию метеоролог.

Сталкиваясь по роду работы с вопросами географии, он обратил внимание на поразительное сходство очертаний берегов по обе стороны Атлантического океана. В течение 5 лет А. Вегенер собирал геологические, географические, палеонтологические данные о связи между Южной Америкой и Африкой. В 1915 г. он завершает и публикует свой знаменитый труд «Происхождение ма-



териков и океанов», и гипотеза дрейфа материков становится известной всему научному миру. Эта гипотеза вызвала бурную реакцию среди геологов и геофизиков: одни ее приветствовали, другие ожесточенно нападали на нее. Однако в начале сторонников было больше.

А. Вегенер доказывал, что существовал единый гигантский материк Пангея (всеобщая земля), объединяющий все известные нам континенты. Этот праматерик был окружен безбрежным океаном, который по аналогии называют Панталассом (всеобщий океан). По мнению А. Вегенера, Пангея, сложенная гранитной корой, под влиянием сил вращения Земли на рубеже палеозойской и мезозойской эр (250—200 млн. лет назад) раскололась на отдельные блоки — современные материки. Ротационные силы растаскивали материки, которые как бы плыли по породам мантии.

В гипотезе дрейфа материков было много недосказанного: не было зафиксировано перемещение континентальных масс, не установлены причины дрейфа и перемещающие силы. Противники А. Вегенера были очень активны и умело использовали слабые стороны гипотезы. В конце 20-х годов некоторые геофизики называли эту гипотезу «дикой фантазией», во многих курсах лекций о ней вообще не упоминалось.

В 1930 г. А. Вегенер в третий раз отправляется в Гренландию с надеждой найти там доказательство своей гипотезы. Он рассчитывал повторно измерить координаты острова. Если окажется, что они изменились, то он прав. К сожалению, это была последняя экспедиция метеоролога. 1 ноября 1930 г. он замерз в одном из маршрутов. С гибелью А. Вегенера его гипотеза предается забвению и, казалось бы, навсегда. Однако пролетело всего 40 лет, и на Токийской объединенной океанографической ассамблее большинство геологов и геофизиков

Рис. 7. Схема современного положения эпикарельских структур.

1 — платформы (1 — Северо-Американская, 2 — Восточно-Европейская, 3 — Сибирская; 4 — Южно-Американская, 5 — Африкано-Аравийская, 6 — Индийская, 7 — Восточно-Азиатская или Китайская, 8 — Австралийская, 9 — Антрактическая предположительно; 10 — Баренцовоморская, 11 — Гиперборейская); 2 — положение некоторых протоплатформ; 3 — геосинклинальные трог, располагавшиеся внутри древних платформ и закончившие свое геосинклинальное развитие уже в среднем протерозое

вновь решительно высказались в пользу идеи дрейфа континентов.

Основные доводы, доказывающие перемещение материков, сводятся к следующему.

1. Удивительное сходство очертаний атлантических побережий Северной и Южной Америк, Европы, Африки. Наиболее удачную их реконструкцию осуществил английский геофизик Е. Буллард со своими коллегами в 1965 г. На ЭВМ был произведен расчет наилучшего совпадения очертания материков, разделенных Атлантикой. Было установлено, что наиболее точное совпадение достигается в том случае, если за границу материков принять изобату в 2000 м.

2. Сходство ископаемой фауны и флоры, населявшей в палеозойскую и мезозойскую эры континенты, разделенные ныне Атлантическим океаном.

3. Сходство горных пород и тектонических структур атлантических побережий материков.

4. Общие палеогеографические условия Южной Америки, Африки, Индии, Австралии, Антарктиды в палеозое и мезозое.

5. Миграция во времени и в пространстве магнитного полюса Земли. Поскольку считается, что магнитный полюс не менял своего положения, то делается вывод о дрейфе материков.

6. Современные данные о перемещении материков относительно друг друга, полученные с помощью новейшей геофизической и геодезической аппаратуры.

В дальнейшем мы вернемся к этим основным доказательствам дрейфа континентов. Сейчас же ограничимся их простым перечислением.

Если поверить ученым, а приводимые ими доводы весьма убедительны, то следует допустить, что после завершения раннекарьельской эпохи складчатости древние платформы действительно образовывали единый монолитный материк Пангею. Соотношение суши и воды тогда, возможно, было несколько иное, чем сейчас. На рис. 8 показано предполагаемое положение континентов 2 млрд. лет назад. Основную массу их составляли только что возникшие древние платформы, по окраинам которых располагались геосинклинальные пояса. Пангея была окружена древними океанами. Возможно, что уже существовал Тихий океан, являвшийся основным водным

бассейном Земли. Клином между континентами северного и южного полушарий вдавался гипотетический океан, названный Тетисом в честь греческой богини моря. По мнению профессора Иоганесбургского университета Дю Тойта, этот океан полностью разделял континенты северного и южного полушарий. Первые объединялись в суперконтинент Лавразию, а вторые — в суперконтинент Гондвану. Современный Северный Ледовитый океан выглядел небольшим внутриконтинентальным морем; Атлантический и Индийский океаны еще не зародились.

Солоноватые океаны и атмосфера без кислорода. Молодость нашей планеты поражает не только чрезвычайно активными тектоническими движениями, грандиозностью геологических преобразований. Неповторимость того времени проявилась также в специфике гидросферы и атмосферы.

Непривычную для нас обстановку застали бы мы на Земле 3,5—2 млрд. лет назад. Первое, что бросилось в глаза, — это обширные океанические пространства, разделенные архипелагами островов. Тут и там над архейскими океанами возвышались конуса вулканических гор, разбросанные группами и по одиночке. Привычные континенты — крупные массивы суши — нам вряд ли удалось бы обнаружить. Они появляются только в самом конце архея, после проявления кеноранской эпохи диастрофизма, и разрастаются уже в протерозое. Крупные размеры континенты приобретают лишь в среднем протерозое, после образования древних платформ, объединившихся в Лавразию и Гондвану. Это были голые, гористые пустыни с довольно разветвленными речными артериями.



Рис. 8. Реконструированное положение континентов и океанов перед началом позднего протерозоя.

Штриховкой показаны древние эпикарельские платформы, объединяющиеся в две ассоциации платформ: Лавразию (I) и Гондвану (II)

Вода архейских океанов была, вероятно, слабо солоноватая. По мнению академика Н. М. Страхова, концентрация солей в них не превышала 2,5%, тогда как соленость современных океанических вод в среднем составляет 3,5%. В химическом составе вод преобладали такие элементы, как SiO_2 , Fe, Mn, HCO_3^1 , CO_2 , выносимые из гранитного слоя коры. Отсутствие океанической растительности и организмов, усваивавших кремнезем (таких, например, как современные диатомовые водоросли, радиолярии, губки), приводило к накоплению его в морской воде и осаждению. Поэтому в древних толщах много кремнистых пород типа кварцита.

Необычной была и атмосфера. В архее и в первой половине протерозоя она была практически бескислородной. Заметное количество кислорода появилось в атмосфере позже, в конце протерозоя, как результат фотосинтеза растений. Тогда же в атмосфере преобладали углекислота, водород, аммиак. Содержались также азот, сероводород, редкие газы. Атмосфера обладала восстановительным характером и гораздо меньшей плотностью, чем современная.

Естественно возникает вопрос: на основании чего можно делать такие выводы? Не является ли это фантазией? Оказывается, что изучая реликтовые газы в минеральных включениях кварцевых пород, образовавшихся в океанах архея и протерозоя, можно установить содержание газов в морской воде и состав атмосферы того времени. Такие исследования проведены учеными Сибирского отделения АН СССР. Ю. П. Казанский, например, доказал, что в обломках кварцитовых пород архейского возраста концентрация углекислоты равна 44,2%, кислорода 5,5%, редких газов 19,0%. В породах протерозоя эти значения соответственно равны: 34,5, 13,7, 51,8%; в палеозойских породах 7,6, 18,0, 74,4%. В современной же морской воде углекислоты содержится 3,2%, кислорода 34,1%, редких газов 62,7%. Отсюда следует, что от архея до наших дней происходит неуклонное увеличение в гидросфере и атмосфере кислорода и редких газов и уменьшение углекислоты.

Специфика гидросферы и атмосферы архея и раннего протерозоя определила и своеобразный комплекс осадков и полезных ископаемых того времени: широкое развитие получили кремнистые породы (кварциты и джес-

пилиты). Джеспилиты, представляющие собой железистые кварциты, встречаются в колоссальном изобилии в древних толщах, но практически отсутствуют в среднем, позднем протерозое, в палеозойских и более молодых отложениях. Часто джеспилиты образуют высококачественные железные руды. Месторождения железа такого типа известны в районах Курской магнитной аномалии (КМА), Кривого Рога, в Северной Америке, в Африке. Содержание железа в таких рудах составляет до 62%. О масштабах железнакопления архея и раннего протерозоя можно судить по установленным запасам железных руд: запасы древних руд оцениваются в 3 000 млрд. т, тогда как запасы железных руд последующих эр не превышают 135 млрд. т.

Среди осадочных пород раннего протерозоя сравнительно широко развиты известняки и доломиты, образованию которых способствовало широкое распространение в атмосфере и гидросфере CO_2 и HCO_3^1 .

Интересно, что в древних толщах практически отсутствуют каменная соль, ангидриты, гипс, фосфориты. Причины этого пока полностью не выяснены. Остается добавить, что все осадочные породы архея и раннего протерозоя обломочного или химического происхождения. Отложения, образование которых связано с жизнедеятельностью растений или организмов (уголь, нефть, органогенные известняки и др.), полностью отсутствуют.

Несмотря на большие масштабы образования осадочных отложений в древних океанах (имеются в виду также и те метаморфические породы, которые образовались из осадочных), они составляют лишь 40% от общего объема пород архея (по данным А. И. Тугаринова). В среднем протерозое их удельный вес уже достиг 80%. Остальная часть приходится на долю магматических образований. Это еще раз свидетельствует о том, что к среднему протерозою магматические процессы резко уменьшились, о чем можно судить по сокращению объема магматических пород с 60% до 20%.

Климат архея. В XIX в. господствовало представление, что в древние эры температура на земной поверхности поддерживалась главным образом за счет внутреннего тепла. По-видимому, это справедливо для самых ранних стадий развития Земли: лунной и нуклеарной. Однако начиная с архейской эры, когда существовали

гидросфера и атмосфера, ведущую роль в распределении тепла на поверхности планеты играет, по-видимому, энергия Солнца. Если это так, то на Земле уже в архейскую эру должна была бы существовать климатическая зональность, поскольку количество солнечного тепла зависит от широты местности.

Наличие климатических зон в архее может быть подтверждено некоторыми, хотя и единичными, фактами. К ним относятся, в частности, находки древних метаморфизованных ледниковых отложений — тиллитов. Остатки их установлены, например, в Северной Америке, в Центральной и Южной Африке, в Южной Австралии, в Сибири. Размеры древних оледенений, их центры и направление движения ледников определить пока не удастся. По районам Северной Америки известно, что следы ледников прослеживаются в широтном направлении почти на 1850 км и на 370 км к северу от современной широты 42°.

Установлено также, что мощность тиллитов раннего протерозоя достигает 160—180 м. Толща состоит из переслаивания тиллитовых горизонтов и глинистых сланцев, накопление которых происходило уже в озерных или речных условиях. Следовательно, эпохи оледенения чередовались с межледниковыми эпохами, когда размеры ледника сокращались и на его месте возникали озера ледникового происхождения.

По мнению Н. М. Страхова, древнее оледенение носило горный характер. Таких ледников, какие мы видим сейчас в Антарктиде, площадью до 13 млн. км², в архейскую и протерозойскую эры, вероятно, не было, так как не было еще обширных континентальных массивов. Скорее всего, ледники покрывали вершины отдельных гор или горных массивов и языками спускались к подножьям.

Наряду с ледниковыми отложениями в древних толщах встречаются и метаморфизованные органические остатки, очевидно, растительного происхождения (скорее всего водоросли) — это различные графитовые сланцы, включения графита в другие породы. Косвенно развитие примитивной растительности в древних океанах указывает на сравнительно теплый климат, существовавший в отдельных зонах земного шара. Возможно, что теплый климатический пояс располагался по побережью океана

Тетис. На основании этих скудных данных можно сделать вывод о климатической зональности, существовавшей на Земле 2—3 млрд. лет назад. Как проходили климатические пояса и какие именно пояса существовали—об этом пока практически ничего не известно.

Самые первые организмы. Породы архея и раннего протерозоя дошли до нас в сильно измененном состоянии. Высокие давления и температуры преобразовали первоначальный облик породы, уничтожив всякие следы древней жизни. Поэтому изучение древнейшего животного и растительного мира связано с огромными трудностями. Однако за последние 15—20 лет с помощью современных приборов удалось кое-что прояснить и в облике самых первых организмов на Земле.

Изучая с помощью электронного микроскопа, химических и изотопных анализов сланцы свиты Онвервайт (Родезия), возраст которых превышает 3,2 млрд. лет, ученые Аризонского университета (США) обнаружили в них тысячи мельчайших образований сферической, нитеобразной и скорлуповидной формы. Размеры частиц не превышали 0,01 мм. Исследования проводились в специально оборудованной лаборатории, исключавшей возможность загрязнения образцов посторонними организмами. Ученые полагают, что найденные образования представляют собой окаменевшие остатки одноклеточных морских водорослей. Однако другие исследователи критически относятся к их выводам, полагая, что эти образования могут иметь небиологическое происхождение.

Похожие остатки водорослей и бактерий в породах с абсолютным возрастом 2,7—3,1 млрд. лет обнаружены в кремнистых и железистых сланцах Северной Америки, Центральной Африки и Австралии. Эти находки дают основание полагать, что к началу архейской эры закончилась химическая и началась биологическая эволюция.

На основании сделанных находок можно предполагать, что уже в океанах архейского и раннепротерозойского возрастов господствовали простейшие одноклеточные организмы: бактерии, водоросли, грибы, простейшие животные. В архее происходит приспособление первых организмов к различным формам питания. Одни организмы усваивали в процессе фотосинтеза питательные вещества из воды, углекислоты и неорганических солей

(автотрофные); другие — жили либо за счет автотрофов (гетеротрофные), либо питались разлагающимися органическими остатками (сапрофаги). Происходило деление органического мира на царство растений и царство животных.

В раннем протерозое, по-видимому, появились первые многоклеточные организмы. Это наиболее примитивные формы без четко дифференцированных тканей. К ним относятся, в частности, представители типа губок — водные организмы, ведущие придонный прикрепленный образ жизни. Форма губок разнообразна, она может напоминать цилиндр, кубок, бокал, шар. В мягкой ткани животного имеется органический или минеральный скелет, состоящий из спикул. Представители губок до сих пор населяют моря и океаны нашей планеты, однако первые примитивные губки давно вымерли и до нас дошли лишь в ископаемом состоянии.

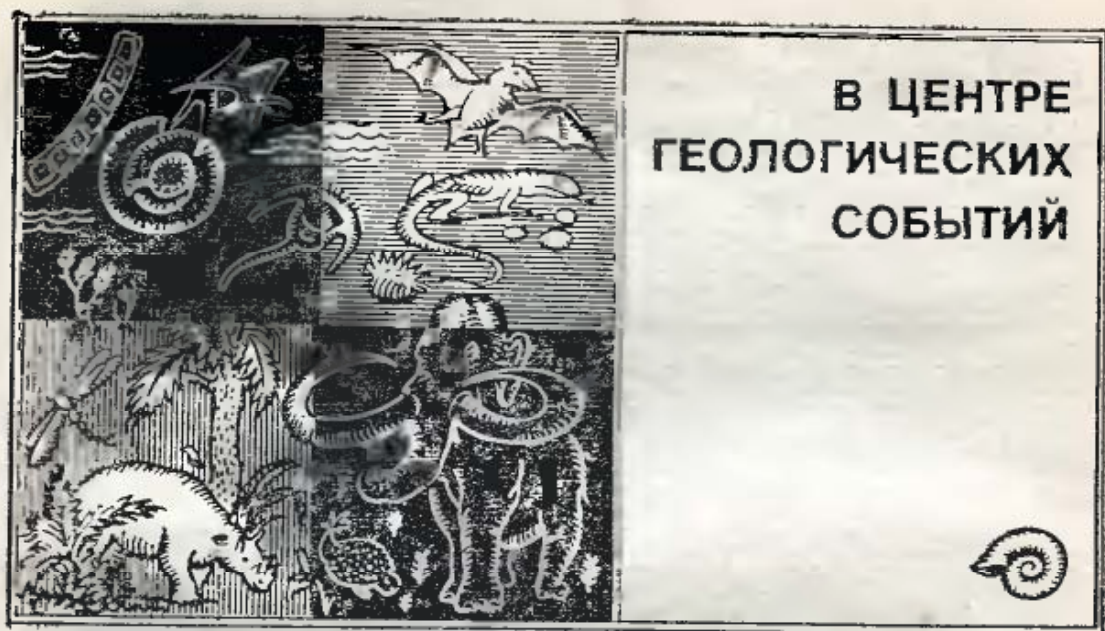
Несколько позднее появляются представители типа кишечнополостных. У них уже намечается дифференциация тканей и органов. Представители кишечнополостных, так же как и губок, дожили до наших дней и широко расселились в морях, океанах и даже в пресных водоемах. Среди них хорошо известные нам кораллы, медузы, гидры.

Из растений в архее и раннем протерозое активно развиваются синезеленые водоросли. Остатки этих водорослей в виде шаровидных, грибовидных и столбообразных известковых тел, характеризующихся тонкой концентрической слоистостью, часто находят в породах протерозоя. Считают, что первыми представителями органической жизни на Земле были именно синезеленые водоросли. Опыты, поставленные в МГУ показали, что они могут существовать в таких условиях, какие «противопоказаны» другим растениям и животным. В герметически запаянном стеклянном шаре эти водоросли жили более 16 лет! Все другие обитатели подобных стеклянных шаров быстро погибли, некоторые бактерии «держались» 12 лет, выжили лишь синезеленые. Это доказывает, что они могут развиваться даже в бескислородной среде.

Поразительная приспособляемость этих водорослей видна из того, что сейчас они встречаются в ледяной Арктике, в горячих гейзерах, на дне Мертвого моря,

в нефтяных источниках, в горах на высоте более 5000 м. Это единственные живые организмы, выдержавшие взрывы атомных и водородных бомб. Они обнаружены даже внутри атомных реакторов, на стенах мрачных пещер Невады, где производились подземные ядерные взрывы. Такая удивительная жизнестойкость позволила некоторым ученым высказать предположение о неземном происхождении синезеленых водорослей. Как бы то ни было, но это первые организмы, появившиеся не только в древнейших океанах, но и на суше.

Исследование американского профессора Э. Баргхорна показали, что синезеленые водоросли первыми стали заимствовать из воды газообразный кислород. В океанах около их колоний создавалась своеобразная «водяная» атмосфера, насыщенная кислородом. Этим кислородом дышали первые морские организмы (кишечнополостные, губки). Постепенно кислород стал выделяться в атмосферу, заполнять ее. Благодаря жизнедеятельности синезеленых водорослей на нашей планете начала формироваться кислородная атмосфера.



Последующий период развития Земли (геосинклинально-платформенная стадия), продолжительностью около 2 млрд. лет, насыщен геологическими событиями. В большей мере это относится к фанерозойскому времени, когда на Земле пышно расцвела жизнь. Убыстряется темп геологических событий: за сравнительно короткий промежуток времени в 500—600 млн. лет на земном шаре проявляются несколько глобальных эпох складчатости, сильно изменивших лик планеты.

Принципиальным отличием геосинклинально-платформенной стадии развития Земли является прогрессивное разрастание платформ за счет сокращения территории геосинклиналей. Геосинклинальный режим локализуется в сравнительно узких и протяженных подвижных геосинклинальных поясах, окаймляющих устойчивые платформенные блоки литосферы.

СРЕДНЕ-ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ

Средний и поздний протерозой охватывают по времени почти три четверти геосинклинально-платформенной стадии развития нашей планеты (от 2000 ± 100 млн. лет до 570 млн. лет, т. е. почти 1,5 млрд. лет). Относительная скудность органической жизни, плохая сохранность ископаемых остатков не позволяют однозначно производить стратиграфическое деление отложений среднего и

позднего протерозоя в различных районах земного шара. Тем не менее практически везде в составе позднего протерозоя выделяют рифей (1750—680 млн. лет) и венд (680—570 млн. лет).

Загадочный средний и поздний протерозой. Из животного мира среднего и позднего протерозоя известны некоторые беспозвоночные животные: губки, археоциаты, кишечнополостные, черви, примитивные иглокожие.

Наиболее хорошо сохранившиеся остатки животных были обнаружены в районе местечка Эдиакарий Южной Австралии. В глинах вендского возраста (самые верхи позднего протерозоя) было найдено свыше 150 экземпляров слепков или отпечатков, относимых к медузам (13 видов), кораллам (4 вида), червям (5 видов) и организмам неизвестного систематического положения, напоминающих моллюсков и иглокожих.

Из отложений среднего и позднего протерозоя известны также трубочки червей-трубкожилов, погонофор, сферические скелеты простейших (сфероморфиды и акритархи). Растительный мир был представлен бактериями, грибами и синезелеными водорослями. Последние расселялись колониями. В слизи синезеленых содержалось много известковых веществ, которые образовывали корочки и желваки. Из этих образований иногда формировались рифоподобные тела, называемые строма-толитами и онколитами.

Казалось бы, океаны среднего и позднего протерозоя были заселены многочисленными животными и растениями в достаточном количестве для полной реконструкции геологических условий того времени. К сожалению, это были в своем большинстве бесскелетные организмы, в ископаемом состоянии они сохраняются крайне редко. Поэтому-то средний и поздний протерозой, как и предыдущие отрезки геологической истории Земли, не имеет еще общепринятого стратиграфического деления (см. рис. 6).

Слабая изученность средне-позднепротерозойских отложений делает этот отрезок геологической истории Земли во многом еще загадочным. Много приходится восстанавливать на основании отдельных фактов или косвенных наблюдений. Тем не менее уже известно, что развитие геосинклиналей и платформ начиная со среднего протерозоя происходит различно. Устанавливается

четкая дифференциация тектонического режима литосферы.

К началу среднего протерозоя в теле древних платформ еще существовали отдельные узкие геосинклинальные прогибы (интракратонные трог^{*}), делившие карелиды на крупные жесткие массивы. В среднем протерозое они испытывали интенсивное прогибание, компенсированное накоплением мощных толщ осадочных и магматических пород. Более 200 млн. лет понадобилось платформам, чтобы залечить эти остаточные геосинклинальные «раны». В конце среднего протерозоя завершается позднекарельская (готская) эпоха складчатости, которая приводит к окончательной консолидации древних платформ. Они приобретают большую жесткость и устойчивость. В позднем протерозое древние платформы существовали уже в виде континентов, высоко приподнятых над уровнем моря.

Поздний протерозой явился авлакогенной стадией развития древних платформ. В течение большего отрезка его истории, более 1 млрд. лет (рифей), в центральных районах платформ развиваются узкие линейные рвы — авлакогены. Первые отложения чехла — красноцветные континентальные песчаники и глины с прослоями лав — заполняют эти рвы. Мощность осадков достигает 3—4 км.

В конце протерозоя (венд) усиливаются нисходящие вертикальные движения платформ. Раньше всего это происходит в районах, прилегающих к авлакогенам. В прогибание втягиваются смежные с ними области, в связи с чем отложения венда как бы «выхлестывают» за пределы авлакогенов, заполняя крупные изометричные депрессии — синеклизы.

Мелководные моря геосинклиналей. Наряду с платформами в среднем и позднем протерозое активное развитие испытывали и геосинклинали. Территории в их пределах, как правило, были покрыты мелководными морями с большим количеством вулканических островов. Обломочный материал с континентов и островов поступал в эти моря в изобилии. Поэтому-то для геосинклинальных областей среднего и позднего протерозоя ха-

* Интракратонные трог^{*} — узкие геосинклинальные прогибы, расположенные внутри древних платформ (кратонов).

рактально накопление многокилометровых обломочных толщ, преобразованных процессами метаморфизма в различные сланцы, кварциты, метаморфизованные конгломераты и брекчии. Широко развиты также известняки и мраморы (метаморфизованные известняки), накоплению которых способствовали синезеленые водоросли. Доля магматических пород сокращается до 18—20%.

В геосинклиналях в течение среднего и позднего протерозоя неоднократно проявлялись эпохи складчатости: готская, гренвилльская, кибарская и др. Однако решительного перелома в развитии геосинклиналей они не произвели. Примерно 650 млн. лет назад в начале венда на земном шаре проявляется раннебайкальская эпоха диастрофизма. Сильное сжатие накопившихся осадочных толщ во многих геосинклинальных прогибах, их метаморфизм привели к ликвидации геосинклинального режима в ряде областей Земли. К существовавшим древним платформам, по их окраинам, присоединились новые устойчивые платформенные области — байкалиды*, расширив тем самым территорию платформ и сократив площадь геосинклиналей (рис. 9).

Возникшие платформенные массивы, в состав которых входили эпикарельские и эпибайкальские платформы, обычно рассматривают как единые докембрийские платформы.

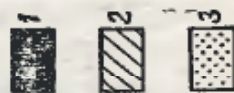
По-видимому, территория байкалид к началу палеозоя была значительно больше, чем в наше время. Но активные геологические процессы фанерозойского времени разрушили и переработали значительную часть эпибайкальских платформ. В. Е. Хаин считает, например, что в основании многих более молодых геосинклиналей «в том числе, таких грандиозных геосинклинальных поясов, как Средиземноморский и Западно-Тихоокеанский», залегают байкалиды.

Одновременно с отмиранием одних геосинклиналей в конце позднего протерозоя закладываются новые геосинклинали на севере Северной Америки, в Восточной Гренландии, на Британских островах, на севере Скандинавии. Эти новообразованные геосинклинали практически не испытали складчатых движений раннебайкальской эпохи диастрофизма.

* Платформы, возникшие в конце позднего протерозоя и в палеозое, принято называть молодыми.

Рис. 9. Схема
современного
положения бай-
калит.

1 — платформен-
ные области (1 —
Тимано-Печор-
ская, 2 — Байкаль-
ская, 3 — Ала-
шаньская, 4 — Ара-
валлийская, 5 —
Флиндерс); 2 —
эпикарельские
платформы; 3 —
байкалиты, пред-
положительно су-
ществовавшие к
началу палеозой-
ской эры, но впо-
следствии перера-
ботанные более
молодыми эпоха-
ми диастрофизма



Возникновение байкалид привело к дальнейшему наращиванию континентов. Продолжали существовать ассоциации северных платформ — Лавразия и южных платформ — Гондвана, омываемые океанами Тетис и Тихим. Некоторые ученые считают, что к началу палеозойской эры на Земле господствовала континентальная, гранитная кора, которая покрывала значительную часть поверхности планеты. Это было время территориального преобладания суши над морем. Такие эпохи называют геократическими.

Рифейские ландшафты. Климатическая зональность, наметившаяся в архее и раннем протерозое, сохранилась, вероятно, в среднем и позднем протерозое. Полярные области, судя по находкам позднепротерозойских морен, устойчиво занимали районы Юго-Западной Африки. Периодами похолодание распространялось на Сибирь, Южную Америку, Австралию и Европу. Области теплого климата возможно вытягивались вдоль побережий океана Тетис.

Типичным ландшафтом рифейского времени были пустынные континентальные равнины, чередующиеся с мелкосопочником. Равнины обрамлялись горными сооружениями. Океаны и моря были относительно мелководными, с большим количеством островных архипелагов. Органическая жизнь концентрировалась в водных бассейнах, тогда как на суше могли существовать лишь отдельные колонии бактерий и грибов, тонкой корочкой покрывавших голые склоны холмов и гор.

Важным событием позднепротерозойского времени явилось появление в атмосфере Земли свободного кислорода и сокращение содержания углекислоты. С появлением свободного кислорода начинает формироваться озон (O_3), скапливающийся в атмосфере на высоте 30 км. Постепенно возникает озоновый «экран», сдерживающий до 97% коротковолновой ультрафиолетовой солнечной радиации. Повышается соленость океанических вод, достигая современных значений. Все это предопределило бурное развитие органической жизни в последующие этапы геологической истории Земли.

РАННЕПАЛЕОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ

Раннепалеозойский (каледонский) этап развития Земли приходится на первую половину палеозойской

эры. Он состоит из кембрийского, ордовикского и силурийского периодов общей продолжительностью 170 ± 10 млн. лет. Широкое развитие животного и растительного мира, многие представители которых имели известковые или кремнистые раковинки и скелеты, позволяет произвести дробное деление этого отрезка геологической истории, причем геохронологические единицы могут быть выделены в различных районах земного шара более или менее однозначно (см. рис. 6).

Геологические события раннего палеозоя. Развитие земной коры в раннем палеозое протекало различно на платформах и геосинклиналях. Дифференциация тектонического режима, начавшаяся с позднего протерозоя, еще больше усилилась. Докембрийские платформы испытывали преимущественно медленные нисходящие вертикальные движения. Пониженные участки затопляются мелководными морями, где накапливались пески, глинистые и карбонатные илы. Иногда возникали лагунные условия и формировались осадочные породы химического происхождения: каменная соль, гипс, ангидрит.

Постепенно в прогибание втягивались все новые и новые территории платформ, образовывались крупные области прогибания площадью в несколько миллионов квадратных километров. Возникали плиты, мощность осадочного чехла в их пределах составляла 3—4 км. На Восточно-Европейской платформе оформилась Русская плита, на Северо-Американской — плита Великих равнин и плита Мидконтинент, на Сибирской платформе — Ангара-Ленская плита и т. д. Отдельные области платформ — щиты — не испытывали такого прогибания и оставались крупной островной сушей — это, например, Балтийский и Украинский щиты Восточно-Европейской платформы. Со щитов обломочный материал поступал в прилегающие моря.

В раннем палеозое платформы неоднократно испытывали наступание и отступление моря. Обычно считают, что «пики» морской трансгрессии приходятся на средний кембрий, средний ордовик и ранний силур. Между трансгрессиями проявлялась регрессия моря (поздний кембрий, ранний ордовик, поздний ордовик и поздний силур). В эти эпохи территория суши увеличивалась.

В геосинклиналях геологические процессы носили более напряженный характер. Западная и Восточная

Сибирь, север Скандинавского полуострова, Средиземноморье, Кордильеры и Анды, Восточная Австралия — все это были геосинклинали, представляющие собой морские пространства с большим количеством островов. В кембрии и ордовике геосинклинали испытывали резко дифференцированные вертикальные движения многокилометровой амплитуды. Узкие вытянутые поднятия соседствовали с такими же линейными прогибами, где накапливались галечники, пески, глины, карбонатные илы, преобразованные в дальнейшем в конгломераты, песчаники, глинистые сланцы, известняки, доломиты. Большим распространением пользовались эффузивные породы, указывающие на интенсивную вулканическую деятельность. В геосинклинальных прогибах мощность накопленных осадков достигала 8—12 км, тогда как на смежных поднятиях она не превышала первые километры.

В силуре размеры геосинклинальных морей резко сократились. Глобальное сокращение площади морей и океанов ученые объясняют тем, что в конце силура особенно интенсивно проявился диастрофизм каледонской тектоно-магматической эпохи. В результате многие геосинклинали преобразовались в платформы, которые в последующем уже не испытывали активных тектонических движений и вулканизма.

Образовавшиеся в конце раннего палеозоя устойчивые области земной коры получили название эпикаледонских (рис. 10). Они, как правило, располагались по перифериям докембрийских платформ, увеличивая тем самым их общую площадь. Однако во многих местах геосинклинальный режим сохранился — Средиземноморье, Западная и Восточная Сибирь, Кордильеры и Анды, Восточная Австралия продолжали свое геосинклинальное развитие и в позднем палеозое.

Населенные океаны и безжизненная суша. Такой застали бы мы нашу планету в раннем палеозое. Несмотря на многообразие жизни, она практически вся сосредоточивалась в водных бассейнах. Поэтому, чтобы познакомиться с ней, нам придется опуститься на дно раннепалеозойского океана.

На илистом дне мы увидели бы странных существ, чем-то напоминающих мокриц, но гораздо больших размеров. Это были трилобиты, особый класс членистоно-

Рис. 10. Схема со-
временного поло-
жения каледонид.

1 — эпокледонские
платформы (1 — Се-
веро-Гренландская, 3 —
Грампианская, 3 —
Северо-Таймырская,
4 — Центрально-Ка-
захстанская, 5 — Ал-
тае-Саянская, 6 —
Наньшанская, 7 —
Катазиатская); 2 —
области более ранней
консолидации; 3 —
блоки древней Китай-
ской платформ, от-
деленные от нее по-
следующими текто-
ническими движени-
ми и ставшие сре-
динными массивами



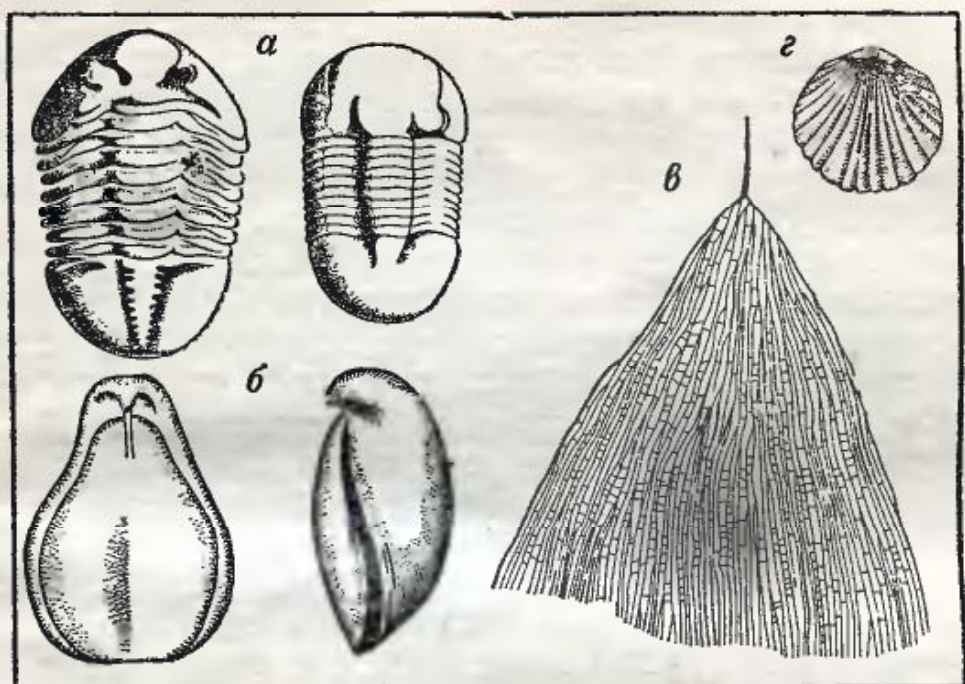


Рис. 11. Некоторые характерные представители-раннепалеозойской фауны.

Трилобиты: а — Азафус и Илленус. Граптолит Диктионема (в). Брахиоподы; б — Пентамерус борэалис и г — Ортис каллиграмма

гих животных, давно уже исчезнувшие с лица Земли. Тело трилобита расчленялось на три сегмента (щита): головной, туловищный и хвостовой (рис. 11, а). Со стороны спины животное защищено тонким хитиновым панцирем до 1 мм толщиной. В кембрии трилобиты обладали хорошо развитым головным щитом и слабо развитым хвостовым. Они составляли до 60% всей известной кембрийской фауны. Органы зрения у них были недоразвиты или же отсутствовали. В ордовике у трилобитов хорошо развиваются хвостовой щит и глаза. Животные приобретают способность свертываться, подтягивать задний щит к головному, защищая тем самым нежное брюшко от врагов. В силуре продолжается совершенствование органов зрения, у трилобитов появляются большие сетчато-сложные глаза, которые, по мнению ученых, позволяли трилобитам ориентироваться по ультрафиолетовым и инфракрасным сигналам.

Трилобиты вели исключительно придонный образ жизни. Ползая по дну, они захватывали ртом, который

находился на нижней части головного щита, ил с пищевыми частичками. Животные достигали в длину 3—10 см, известны гиганты длиной до 70 см. Расцвет трилобитов приходится на кембрийский и ордовикский периоды. В конце силура количество родов трилобитов резко сокращается. В этом были повинны другие обитатели раннепалеозойских морей и океанов — головоногие моллюски (наутилоидеи), для которых трилобиты были излюбленным блюдом: своими щупальцами с присосками они хватали трилобитов, притягивали к роговым челюстям клюва и перемалывали на терке из многочисленных рядов пластин и крючков. В то время пищи для хищных моллюсков было много и они стали наращивать свои размеры; известны раковины головоногих до 2 и даже 4,5 м длины. Урон, нанесенный трилобитам, оказался роковым: в позднем палеозое сохранились единичные представители этой группы животных, а к концу палеозойской эры они полностью вымирают. Наутилоидеи же дожили до наших дней.

В силуре развиваются крупные ракообразные — отряд эвриптерид (ракоскорпионы). Эти животные имели удлинённое тело, достигавшее 1 и даже 3 м в длину. В большинстве своем ракоскорпионы были хищниками. Не имея врагов, эвриптериды широко расселяются не только в солоноватых, но и в пресных водоемах.

Наряду с трилобитами, головоногими моллюсками и ракоскорпионами океаны раннего палеозоя были заселены брахиоподами — животными, мягкое тело которых заключено в двустворчатую известковую раковину (рис. 11, б, г). С помощью хрящевидной ножки, выходящей между створками раковины, брахиоподы прикреплялись к морскому дну и ползали по нему. В кембрийском периоде эти животные составляли до 30% фауны. В океанах и морях раннего палеозоя встречались также губки, примитивные иглокожие (т. н. текоидеи и бластоидеи), кишечнополостные, черви, археоциаты.

Важным моментом в развитии органического мира было появление в раннем палеозое первых позвоночных животных. Наиболее примитивную группу полухордовых образовывали граптолиты — животные практически вымершие к концу силура. Тонкое и длинное тело граптолита было заключено в хитиновую пленку, обычно животные вели прикрепленно-донный или пассивный образ

жизни, безвольно плавая в виде кистеобразной колонии в морских водах (рис. 11, в).

В прибрежно-морских условиях начинают развиваться первые бесчелюстные рыбообразные. В силуре уже появляются настоящие рыбы (акантоды). Тело их было покрыто чешуей, имелся внутренний хрящевой скелет.

Среди растений продолжали господствовать синезеленые и багряные водоросли, бактерии и грибы. В конце силура растения начинают робко выходить на сушу, появляясь в болотистых, часто заливаемых морем низинах. Эти растения образуют тип псилофитовидных. От горизонтального подземного стебля (корневища), который часто скрывался под дном водоема, вверх отходили вертикальные или стелющиеся побеги. Каждый побег ветвился дважды (дихотомически). У одних псилофитовидных побеги были голыми, у других имелись уже зачаточные листки в виде шипов.

Таким образом, ранний палеозой был временем, когда органическая жизнь начинает бурно развиваться по сравнению с предыдущими этапами криптозоя (см. рис. 6). Этот «взрыв» жизни на Земле произошел сравнительно недавно — 500—600 млн. лет назад.

Несмотря на все многообразие органической жизни, материки раннего палеозоя все еще представляли собой безжизненные пространства; кое-где могли виднеться лилового цвета колонии бактерий и грибов, да в прибрежных болотистых равнинах редели тонкие стволы псилофитовидных растений.

Климат раннего палеозоя характеризовался, вероятно, преобладанием теплых условий. В некоторых районах земного шара (Сибирь, Индия, Аравия) существовал засушливый (аридный) климат, о чем свидетельствуют соленосные отложения этих районов. Отчетливо выраженных следов климатической зональности в раннем палеозое не устанавливается.

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ

Позднепалеозойский (герцинский) этап развития Земли включает три периода: девонский, каменноугольный и пермский, общей продолжительностью 170 ± 10 млн. лет. Так же, как и ранний палеозой, поздний делится не только на периоды и эпохи, но и на века,

отложения которых установлены практически на всех континентах.

Платформы растут. В геологическом отношении события позднепалеозойской истории сыграли важную роль в развитии Земли. Это выразилось в новом, очень значительном увеличении территории платформ.

В начале девона (400 млн. лет назад) докембрийские платформы и каледонские области испытывают, как правило, регрессию моря, которая началась еще в позднем силуре. В дальнейшем, в среднем, позднем девоне и карбоне, море неоднократно трансгрессирует на платформы и вновь откатывается назад. Обычно платформенные морские бассейны носили мелководный характер. В них осаждались пески, глины, карбонатные илы. Последние часто целиком состояли из раковин беспозвоночных организмов, населявших позднепалеозойские океаны. В прибрежных районах платформ формируются угленосные осадки.

Докембрийские платформы испытывают сложные и разнонаправленные вертикальные движения, усилившие контраст между щитами и плитами, антеклизмами и синеклизмами. Территория плит, как правило, увеличивается. Так, например, значительно увеличивались размеры Русской плиты за счет вовлечения в прогибание соседних областей Балтийского и Украинского щитов. Растет и общая мощность осадочного чехла.

Каледонские области в начале позднего палеозоя (девонский период) обладали, в отличие от докембрийских платформ, четко выраженным горным рельефом. В межгорных впадинах накапливались мощные толщи красноцветных конгломератов с прослоями вулканических пород. Постепенно рельеф сглаживался, и в позднем девоне и в карбоне уже отлагались нормальные морские осадки.

В геосинклиналях в начале девона формируются грубообломочные породы (конгломераты), которые позднее сменяются песчано-глинистыми и карбонатными отложениями. В каменноугольном периоде сохраняются условия для накопления чередующихся песчано-глинистых и карбонатных пород. В большом количестве встречаются прослойки каменного угля. Во многих местах геосинклиналей в девоне и в карбоне интенсивно проявляется вулканизм. В некоторых районах, например на Ура-

ле, метаморфизованные вулканические и кремнистые осадочные породы преобразовывались в яшмы, слюдистые сланцы. Мощность отложений, накопленных в геосинклиналях, достигает 15—20 км.

В середине каменноугольного периода земная кора начинает испытывать новую волну складкообразовательных движений — герцинский тектогенез. Это была очень важная тектоно-магматическая эпоха в геологической истории Земли, проявившаяся на огромных территориях. На месте многих геосинклиналей возникают горы, поднятие испытывают и платформы. В пермский период всеобщее воздымание усиливается и море почти повсеместно регрессирует. Пермский период — это время широкого развития суши: низменной на платформах и гористой в геосинклиналях. В связи с этим в перми чаще всего накапливаются обломочные отложения с прослоями эффузивных пород в геосинклиналях. Важной особенностью пермского времени явилось отложение во многих местах земного шара каменной соли, причем мощность этих осадков достигает иногда 3—4 км. Соленосные образования пермского возраста известны на юго-востоке Восточно-Европейской платформы (Прикаспийская синеклиза), на севере Европы (Северо-Германская впадина), в Северной Америке (свита Биг-Блю).

Многие геосинклинали в результате позднепалеозойских фаз диастрофизма прекращают свое развитие и переходят в эпигерцинские платформы. Общая территория платформ при этом резко возрастает (рис. 12). Впервые в геологической истории Земли между возникшими герцинскими горными сооружениями и уже существовавшими докембрийскими платформами образуются узкие лентообразные прогибы, получившие название краевых, или передовых прогибов. Наиболее крупные из них возникли на границе Урала и Восточно-Европейской платформы и на границе Аппалачей и Северо-Американской платформы. Появление передовых прогибов знаменует качественно новые особенности геологической истории Земли.

Образование эпигерцинских платформ значительно сократило территорию геосинклиналей. Герциниды в некоторых случаях явились своеобразным мостом между докембрийскими платформами. По мнению некоторых зарубежных ученых (Б. Хизен, С. Кэри), в позднем па-

Рис. 12. Схема
современного
положения гер-
цинид:

1 — платформы
(1 — Иннуитская,
2 — Аппалачская,
3 — Южно-Амери-
канская, или Па-
тагонская, 4 — За-
падно-Европей-
ская, 5 — Урало-
Тяньшанская, 6 —
Монголо-Охот-
ская, 7 — Северо-
Африканская, или
Антиатласская,
8 — Южно-Афри-
канская, или Кап-
ская, 9 — Восточ-
но-Австралий-
ская); 2 — обла-
сти более ранней
консолидации; 3 —
переходные проги-
бы (А — Препап-
палачский, Б —
Предуральский)



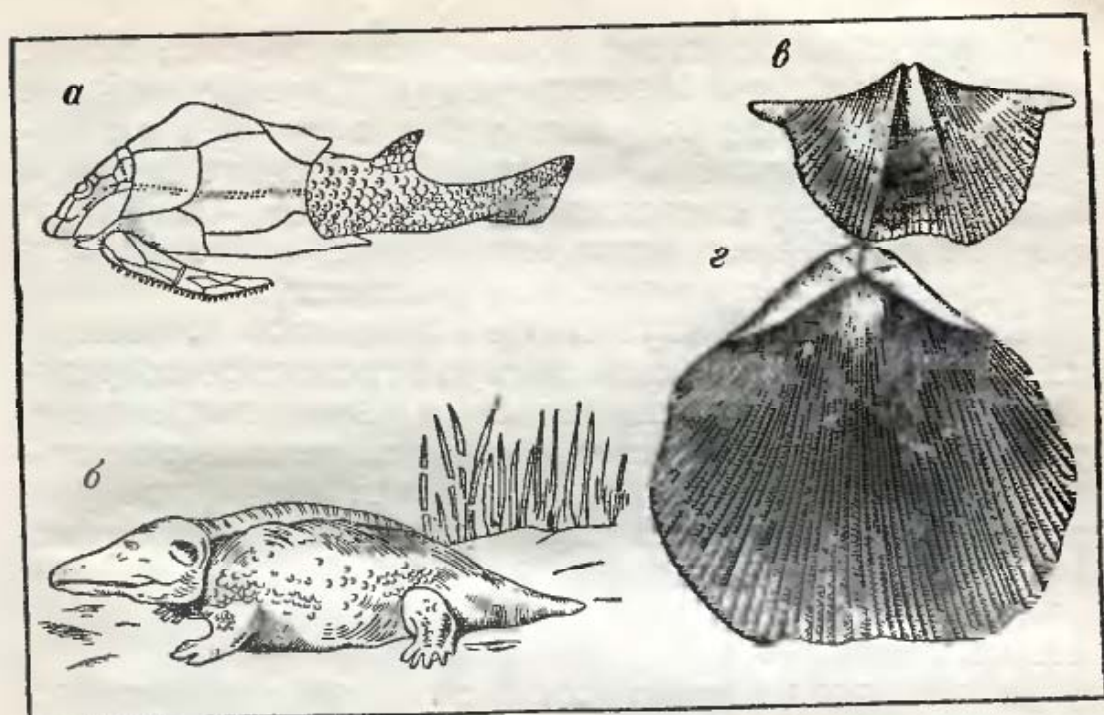


Рис. 13. Некоторые характерные представители позднепалеозойской фауны.

Панцирная рыба девона Птерихтус (а). Пермская амфибия Какопс (б). Брахиподы: в — Циртоспирифер дизъюнктус, г — Пентамерус башкирикус

леозое платформенные массивы, образовывавшие континенты, занимали до 80% поверхности Земли. Геосинклинальный режим сохранился в Средиземноморье, на Востоке Сибири, на западе Северной и Южной Америк.

Обновление животного мира. Рубеж между ранним и поздним палеозоем явился вехой в эволюции животных и растений. Одни представители животных вымирают, другие резко сокращают свое жизненное пространство и численность, на смену им появляются совершенно новые виды. Так, значительно сокращается (а в дальнейшем полностью вымирает) фауна трилобитов. Если в силуре трилобитов насчитывалось 80 родов с 1200 видами, то в девоне сохранились лишь 11 родов с 105 видами. Еще более жалкая участь постигла граптолиты; из 32 силурийских родов в девоне сохранился лишь 1 род. Резко сократилось количество некоторых представителей иглокожих, наутилоидей, кораллов.

Из беспозвоночных наибольшего расцвета в позднем палеозое достигают брахиоподы, количество родов которых исчислялось сотнями (рис. 13, в, г). Развиваются спирально-закрученные головоногие моллюски (аммони-

ты), простейшие, древние морские ежи, морские лилии, некоторые кораллы (шестилучевые). Широкое развитие в морях и океанах получают рыбы, в прибрежных лагунах — ракоскорпионы. Во второй половине позднего палеозоя на сушу выходят первые животные — земноводные, а в дальнейшем континенты завоевывают представители класса пресмыкающихся (рептилии).

В растительном мире также произошли серьезные изменения. Если в океанах и морях господство сохраняется за водорослями (синезелеными, багряными, харовыми), то на суше главенствующую роль начинают играть высшие растения: псилофиты, плауны, хвощи, папоротники. Поздний палеозой явился временем активного наступления на материки не только животных, но и растений. Однако процесс завоевания суши происходил постепенно.

Обновление животного мира, по мнению ученых, явилось следствием геологического преобразования Земли. Активные тектонические движения каледонской тектономагматической эпохи в конце раннего палеозоя вызвали образование во многих местах земного шара горных систем, резко сократились площади океанических бассейнов, изменилась циркуляция воздушных и водных масс, климат стал засушливее, континентальнее. Столь существенное изменение ландшафта суши и перераспределение морских бассейнов планеты, по-видимому, оказало решающее влияние и на развитие животных и растений. Таким образом, смена условий существования на рубеже раннего и позднего палеозоя повлекла за собой и смену фауны и флоры.

Девон — век рыб. Ландшафт девонского времени мало чем отличался от силурийского пейзажа. В начале девонского периода континенты были заселены псилофитами лишь в прибрежных заболоченных районах, животные полностью отсутствовали. Основные события органической жизни происходили в океанах, где господствовали рыбы.

Девон называют иногда веком рыб. Вначале это были т. н. пластинокожие, или «панцирные» рыбы. Своеобразный панцирь покрывал голову и переднюю часть туловища (рис. 13, а). Панцирные рыбы были хищниками, они имели челюсть с зазубренными костными пластинками. Объектом их питания были в основном рако-

скорпионы. Превосходя их в маневренности и в силе, панцирные рыбы окончательно оттеснили ракоскорпионов в лагуны и в прибрежные пресные водоемы. В середине девона появляются первые костные рыбы, разделившиеся в процессе эволюции на три ветви: лучеперые, кистеперые и двоякодышащие. В девоне преобладали кистеперые — хищные рыбы с сильными зубами. От лучеперых произошли современные акулы и скаты. Двоякодышащие рыбы известны своей способностью жить в засушливых условиях.

Долгое время считалось, что все представители древних девонских рыб вымерли и сохранились до наших дней лишь в ископаемом виде. Однако несколько лет назад (в 1952 г.) у побережья Южной Африки и у берегов Мадагаскара был обнаружен живой представитель кистеперых рыб — целакант, почти не отличавшийся от своих древних предков. У целаканта были сильные плавники, которые выполняли функцию ног. Тем самым было подтверждено, что именно кистеперые дали начало амфибиям — первым позвоночным животным, приспособившимся к жизни на суше.

В позднем девоне от кистеперых рыб произошли стегоцефалы («крышеголовые»), относимые к земноводным животным (рис. 13, б). Это были первые четвероногие обитатели суши. Во многом жизнь стегоцефалов была еще связана с водой. Они размножались и выводили личинки в воде, подобно своим дальним потомкам — современным лягушкам и саламандрам. Стегоцефалы имели сплошную костную крышу черепа, вели хищный образ жизни, питаясь в основном рыбой.

В конце девона на суше появляются первые пауки и клещи. Намечается, таким образом, своеобразная «трансгрессия» животных на материк.

Во второй половине девона от псилофитовидных растений происходят плауновидные, папоротниковидные. В позднем девоне псилофиты почти все исчезают, и континенты захватывает археоптерисовая флора, названная так по преобладанию в ней папоротника археоптериса. Кроме плаунов и папоротников, в состав этой флоры входили также и первые семенные растения. Флора девонского времени приспосабливается к воздушной среде, к увеличению в воздухе содержания кислорода. У растений появляется кожа с устьицами — приспособле-

ние, предохраняющее их от высыхания. Тело растений дифференцируется на стебель, корни и листья, выполняющие различные функции.

Дремучие леса карбона. В каменноугольном периоде создаются чрезвычайно благоприятные условия для развития наземной растительности. Теплый, влажный климат господствует на значительных пространствах земного шара. Изобилие осадков приводит к заболачиванию громадных территорий, которые покрываются дремучими лесами, состоящими из гигантских древовидных — плауновых, хвощей и папоротников (лепидодендроны, сигиллярии, каламиты). Стволы деревьев до 30—40 м в высоту и до 2 м в поперечнике обвивали вьющиеся лианообразные растения с гибкими стеблями и колючками-крючками, цеплявшимися за стволы и сучья. В лесах карбона росли и первые голосеменные растения.

По своей непроходимости каменноугольные леса напоминали современные мангровые заросли болотистых побережий тропических морей. Густое сплетение сучьев и стволов деревьев создавало сумеречные дебри. В лесах было так тесно, что деревья не всегда могли упасть, если погибали.

Душная, насыщенная незнакомыми тяжелыми запахами атмосфера каменноугольного леса встретила бы нас. На болотистых опушках буйствовала сочная травянистая растительность с мясистыми листьями и яркими цветами. Отмирая, эта пышная растительность постепенно формировала растительные слои в условиях болот, озер или морских побережий. С течением времени накапливались мощные толщи торфа, которые под давлением вышележащих пород и повышенной температуры преобразовывались сначала в бурые угли, а затем в каменные угли и антрациты. В условиях болот и озер чаще возникали бурые угли (лимническое угленакопление), тогда как в прибрежно-морских районах обычно формировались каменные угли и антрациты (паралическое угленакопление).

Резкое увеличение растительной биомассы на континентах привело к усиленному потреблению углекислоты из атмосферы. Частично она превращалась в углерод, накапливавшийся в органическом веществе, частично — в свободный кислород, уходивший в атмосферу. Увеличение содержания в атмосфере кислорода способствова-

ло усилению процессов химического выветривания, в частности, окислению различных минералов.

Широкое развитие теплолюбивой и влаголюбивой флоры характерно для раннекаменноугольной эпохи. Эта флора получила название антракофитовой. В среднем и позднем карбоне антракофитовая флора дифференцируется на вестфальскую, тунгусскую и гондванскую. Первая сохранила особенности тропической флоры раннего карбона. Тунгусская флора присуща умеренным климатическим зонам и представлена кордаитовыми растениями и папоротниками. Гондванская флора еще более бедная по разнообразию видов, чем тунгусская. Для нее характерны травянистые хвощевидные, кордаитовые и глоссоптериевые растения, произрастающие в более холодном климате, чем представители тунгусской флоры.

Леса карбона были заселены земноводными — стегоцефалами и саламандрообразными животными. Они вели малоподвижный образ жизни, часами лежали на дне болот и озер, высунув из воды лишь кончик носа, выжидая добычу. В каменноугольный период появляются первые пресмыкающиеся — котилозавры, сохранившие сплошную крышку черепа, как и земноводные. Пресмыкающиеся (рептилии) уже имели две важные особенности: роговой покров, предохраняющий тело от высыхания, и способность откладывать на суше яйца с плотной оболочкой и большим количеством желтка. Таким образом, связь с водой у позвоночных становится еще более слабой, они лучше приспособляются к наземному образу жизни.

Господство по количеству видов на материках в карбоне захватывают насекомые — многочисленные паукообразные, скорпионообразные, стрекозы, таракановые и др. Начиная с этого времени насекомые, относящиеся к типу членистоногих (к этому же типу, что и трилобиты), прочно доминируют на Земле как по количеству видов, так и по общему количеству особей. На долю членистоногих приходится 86% от общего количества всех видов животных, а на долю только насекомых 80%! В настоящее время каждому человеку соответствует 250 млн. насекомых. Поистине: Земля — планета насекомых. Часто мы просто не обращаем на них внимания, поскольку видим насекомых в единичных количествах. В некоторых

же случаях эти мелкие представители членистоногих образуют огромные стаи, как, например, саранча. Ученые подсчитали, что отдельные стаи саранчи весят столько же, сколько могут весить медь, свинец и цинк, добытые человеком за 100 последних лет. Однако никогда в истории Земли насекомые не достигали таких гигантских размеров, как в карбоне. Стрекозы имели размах крыльев до 100 см, тараканы достигали 50 см в длину.

В морях и океанах каменноугольного периода происходят небольшие изменения по сравнению с девонским временем. Преобладают брахиоподы (в особенности представители отрядов спирифериды и продуктиды), головоногие моллюски, иглокожие (морские лилии и морские ежи). Среди рыб сокращается количество акантод и увеличивается число лучеперых.


Необычайно интенсивно развиваются морские простейшие организмы. Размеры некоторых из них, например фузулинид, достигают до 1—2 см, тогда как обычно они измеряются долями миллиметра. Фузулиниды так же, как и другие представители отряда фораминифер, принимают существенное участие в образовании органогенных известняков каменноугольного возраста. В этих известняках впоследствии накапливались залежи нефти и газа. Представители простейших и брахиопод являются руководящей фауной для карбона.

Ледники в Африке. В позднем палеозое наряду с областями теплого тропического климата существовали и полярные зоны. Широкое развитие материковых ледников в позднем палеозое (средний, поздний карбон) достоверно установлено на юге Африки, в Австралии, Индии, Южной Америки, Антарктиде. Причем по характерным штрихам, бороздам, царапинам, которые оставляют ледники на горных породах при своем движении, по особенностям расположения моренных отложений можно восстановить направление движения позднепалеозойских ледников. Считают, что существовало несколько центров оледенения, где зарождались ледники и откуда они начинали свое движение.

В некоторых случаях создается впечатление, будто центры оледенения находились вне современных материков. Так в Южной Африке, в районе г. Дурбан, штриховка на поверхности горных пород указывает на то, что льды двигались со стороны современного Индийско-

го океана. Это говорит в пользу существования единого суперконтинента Гондваны в позднем палеозое. В этом случае центр оледенения мог быть расположен в прилежавшей непосредственно к югу Африки Антарктиде. Правда, имеются иные суждения. Французский геолог П. Фурмарье считает, например, что гипотетический центр оледенения, откуда надвигались ледники на район г. Дурбан, отделен в настоящее время от Африки глубинным разломом и скрыт под водами Индийского океана.

Оледенение позднего палеозоя было грандиозным. Судя по мощности накопленных морен (до 300—600 м), можно предположить, что центральные области Гондваны в карбоне были покрыты ледяным панцирем, толщина которого могла достигать 5—6 км. Периодически ледники частично таяли. В толщах хаотических моренных отложений появляются в такие периоды прослойки ленточных глин. Причины позднепалеозойского оледенения многие ученые видят в ином расположении полюсов (южный полюс, например, располагался на юге Африки), в иной циркуляции воздушных масс и в относительно высоком гипсометрическом положении Гондваны над уровнем моря (известно, что чем выше мы поднимаемся, тем становится холоднее; в среднем на 1000 м подъема температура понижается на 3—5°С).

На рис. 14 изображена реконструированная палеогеографическая схема земного шара каменноугольного периода (около 300 млн. лет назад). Косой штриховкой выделены области тропического климата, для которых характерны антракофитовая и вестфальская флоры. В основном тропики тогда проходили вдоль северных и северо-восточных берегов субширотного океана Тетис, охватывая современные районы Европы, частично Средней Азии, запада Северной Америки, севера Африки, севера и запада Южной Америки. Точками на рисунке показаны области оледенения. Они располагались в центре Гондваны. Стрелки указывают направление движения ледников. Как видно из рис. 14, площадь позднепалеозойского оледенения была необычайно велика. Это породило сомнение в возможности существования таких грандиозных ледников. Некоторые ученые считают даже, что на Земле не хватило бы воды для формирования столь огромных ледниковых масс.  Существование лед-

ников ими не отвергается, но предполагается, что размеры их были значительно скромнее. Несомненно одно: в позднем палеозое существовала четко выраженная климатическая зональность. Области полярного климата сменялись умеренным климатическим поясом, который в свою очередь переходил в тропический пояс.



Рис. 14. Палеогеографическая схема каменноугольного периода (по Д. Тарлинг и М. Тарлинг, 1973).

Предполагаемое положение экватора в карбоне показано тонкой сплошной линией

Пермские рептилии.

Значительное изменение климата на Земле произошло в пермский период. Активные тектонические движения герцинской эпохи диастрофизма, начавшие проявляться уже в среднем карбоне, привели в начале позднего карбона к завершению геосинклинального режима развития во многих районах земного шара. На месте геосинклиналей вырастают горные хребты. Урал, Западная Сибирь, Средняя Азия, Западная Европа, восток Северной Америки, восток Австралии — все это были молодые горные стра-

ны, возникшие в каменноугольном периоде. Моря, затоплявшие прежде эти территории, регрессируют, освобождая огромные пространства, или мелеют, превращаясь в гигантские лагуны. Характерной чертой пермского времени является накопление континентальных обломочных пород, имеющих красный цвет, и хемогенных лагунных отложений (каменная соль, гипс, ангидрит, доломит).

Сокращение морских бассейнов и резкое увеличение гористой суши повлияло на климат в сторону усиления его континентальности. Пышные леса карбона, не получая достаточной влаги, постепенно вырождаются, уступая место жарким пустыням. В связи с этим в поздней перми резко меняется флора: сокращается количество влаголюбивых хвощей, папоротников, плаунов, шире распространяются голосеменные растения — хвойные,

цикадовые и гингковые, которые приспособились к существованию в засушливых условиях.

Значительные изменения происходят и в животном царстве. На суше земноводные постепенно отступают под напором рептилий. Амфибии продолжают развиваться в тропических областях (некоторые районы Северной Америки, юг Европы, Юго-Восточная Азия). Многие амфибии приспосабливаются к жизни в дельтах рек, в лагунах и даже в более сухих местах. Рептилии, которые не нуждались в наличии воды при размножении, захватывают в первую очередь пустынные, полупустынные и степные пространства.

Развитие наземной фауны позвоночных шло, по-видимому, в нескольких сравнительно обособленных центрах. Одним из таких центров считают Северную Америку (Техас), откуда известны богатейшие находки раннепермских амфибий (стегоцефал) и рептилий. Последние были более разнообразны. Кроме типичных рептилий, среди них обнаружены примитивные пресмыкающиеся (котилозавры), имеющие некоторые сходные черты со стегоцефалами. Особенности захоронения этих животных указывают на то, что пермская фауна Техаса обитала в основном по берегам небольших озер, болот, рек, где обильная травянистая растительность давала пищу крупным травоядным рептилиям.

Другим возможным центром развития пермских позвоночных считают Южную Африку. Здесь обнаружены остатки котилозавров, териодонт и дицинодонт. Котилозавры — травоядные массивные животные, достигавшие 3 м в длину; их кожа была покрыта характерными роговыми выростами, создававшими своеобразный защитный панцирь.

Распространение рептилий из центров возникновения происходило по двум основным путям: из Северной Америки через Западную Европу до современного Урала, а из Южной Африки на северо-восток через Индию и Среднюю Азию в Восточную Европу и Великобританию и на юго-запад — в Южную Америку. В пределах СССР аналогичная фауна обнаружена в районах р. Северной Двины (комплекс фауны сходный с североамериканской) и в районах г. Тетюши и г. Очера (комплекс фауны, тождественной южноафриканской).

В морях и океанах пермского времени также проис-

ходят существенные изменения. Если в течение всего пермского периода продолжают развиваться фузулиниды, губки, головоногие моллюски, кораллы, то конец перми для многих из них явился роковым рубежом. Вымирают фузулиниды, некоторые кораллы (табуляты, четырехлучевые кораллы), некоторые головоногие моллюски из отряда наутилоидей и аммоноидей, некоторые иглокожие. Полностью вымирают также акантоды, древние лучеперые рыбы, палеозойские группы кистеперых и двоякодышащих рыб. Резко сокращается количество хрящевых рыб. Таким образом, конец позднего палеозоя, ознаменовавшийся образованием новых эпигерцинских платформ, отличается также и значительным обновлением флоры и фауны, что опять-таки явилось прямым следствием изменения геологической и географической обстановок в конце палеозоя.

МЕЗОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ

Мезозойский период развития Земли богат интересными геологическими событиями: раскалываются суперконтиненты Лавразия и Гондвана; отдельные блоки литосферы, соответствующие современным материкам, постепенно отдаляются друг от друга, давая начало новым океаническим впадинам. Принципиальные изменения происходят и в животном мире: появляются первые птицы и млекопитающие, в конце мезозоя вымирают динозавры. Все эти изменения происходят на протяжении мезозойской эры (170 ± 10 млн. лет), состоящей из трех периодов: триасового, юрского и мелового.

Земной шар «трещит» по швам. Начало мезозойского этапа знаменуется широкой регрессией морей и океанов. Рост размеров суши, начавшийся еще в пермском периоде за счет горообразовательных процессов, продолжался и в триасе. На обширных территориях платформ преобладает континентальный (геократический) режим, поэтому накапливаются в основном обломочные красноцветные отложения (пески, глины). В Азии имеются сероцветные обломочные осадки триаса с включением прослоев каменного угля.

Триасовый период — начальный этап раскола Гондваны. В различных ее районах возникают глубинные разломы. Первоначальное положение их предопредели-

ло конфигурацию будущих материков южного полушария. По-видимому, ослабленные зоны, которые явились местом заложения разломов, стали намечаться в едином теле Гондваны еще в позднем палеозое. Это был общепланетарный процесс. Крупные разломы рассекли в это время и древнюю Сибирскую платформу. В позднем карбоне и перми вдоль них происходило излияние базальтовых лав, которое продолжалось и в триасе. Потоки базальта толщиной до 2,5 км заняли территорию площадью свыше 500 000 км², образовав траппы. В триасовом периоде начинают проявлять активность и некоторые другие глубинные разломы.

С конца позднего палеозоя намечается ослабленная зона на границе Африки, Индии, Австралии и Антарктиды. Эта зона проявилась образованием сравнительно узких, вытянутых прогибов, которые заполнялись главным образом обломочным материалом (система Карру). В триасе прогибание на западной и южной окраинах Африканского континента продолжалось, формировались континентальные песчаные отложения серии Стромберг, также относящейся к системе Карру. Между Африкой и Мадагаскаром существовал узкий морской залив, отражая стремление моря заполнить пониженный рельеф ослабленных зон Гондваны.

В конце триаса происходит интенсивная вспышка вулканизма. Глубинные разломы, «притаившиеся» в недрах Земли и постепенно «набравшие силы», проявились в полной мере. По возникшим трещинам с глубины в несколько сот километров на поверхность устремились базальтовые лавы. Заполняя понижения в рельефе, они накапливались, образуя многосотметровые толщи. Под их давлением прогибание усиливается, из недр выдавливаются новые порции лав, которые, излившись, увеличивали давление на глубинные сферы Земли. К середине юрского периода вспышка вулканизма угасает. За это время образовалась лавовая толща, достигающая в ряде районов (впадина Замбези, флексура Лебомбо) 8 км мощности. Одновозрастные лавы встречаются в Индии (траппы Радж-Махал), в Австралии (долериты Тасмании), на Среднем Востоке (траппы Йемена), в Антарктиде (Феррарские долериты).

Образование и активное проявление глубинных разломов ослабляет связь между отдельными блоками ли-

тосферы Гондваны. Намечается отделение Африки, Индии, Австралии и Антарктиды, между ними закладывается морской бассейн, превратившийся в дальнейшем в Индийский океан. Таким образом, возраст возникновения последнего можно оценить в 200—160 млн. лет. Связь Африки с Южной Америкой в триасе была еще устойчивой.

Юрский период характеризуется постепенным развитием трансгрессии моря, максимум которой приходится на первую половину поздней юры (келловей, оксфорд). Море захватывает запад Северной Америки, почти всю Европу, Западную и Восточную Сибирь. В пределах Гондваны наступление моря идет со стороны формирующегося Индийского океана.

В конце юры вновь усиливаются движения по глубинным разломам, что сопровождается новым излиянием базальтовых лав, которые известны в Ливане, Сирии, Мозамбике. Начинают проявляться глубинные разломы на границе Африки и Южной Америки, в пределах последней накапливается толща лав мощностью до 1000 м (лавы Сьерра-Гераль). С юрского времени происходит раздел Африки и Южной Америки и заложение Атлантического океана.

Активные тектонические движения конца юрского периода привели к некоторой регрессии моря, обмелению бассейнов и возникновению в ряде мест солеродных лагун. Новая трансгрессия проявляется в меловое время, достигая максимума в позднем мелу. Море покрывает значительную часть Лавразии и Гондваны. В мелу происходит третья вспышка магматической активности, сопровождавшей раскол Гондваны. Мощные лавовые потоки до 2000—3000 м образовывались в Африке, в Индии (Деканские траппы). К концу мела Индийский океан был уже четко выражен, хотя и не достиг еще современных размеров. Атлантический океан намечался узкой коленообразной зоной.

Мезозойский этап явился, таким образом, очень важным моментом в геологической истории Земли: с этого времени началось формирование современных континентов и океанов. Земной шар в буквальном смысле слова трещал по швам. Мощные внутренние силы Земли разрывали тонкую пленку земной коры, раздвигали ее обрывки в разные стороны, стремясь вырваться

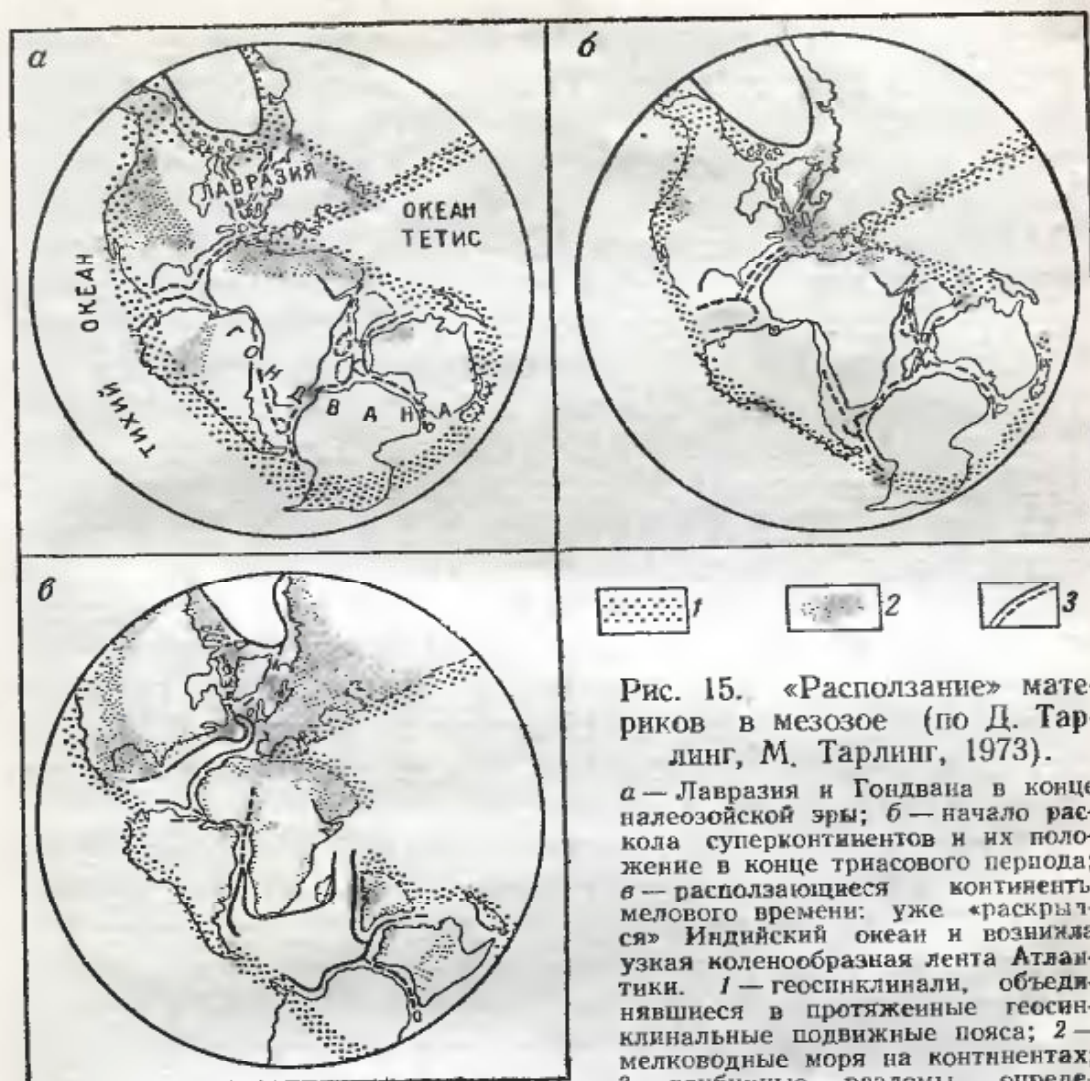


Рис. 15. «Расползание» материков в мезозое (по Д. Тарлинг, М. Тарлинг, 1973).

а — Лавразия и Гондвана в конце палеозойской эры; б — начало раскола суперконтинентов и их положение в конце триасового периода; в — расползающиеся континенты мелового времени: уже «раскрылся» Индийский океан и возникла узкая коленообразная лента Атлантики. 1 — геосинклинали, объединявшиеся в протяженные геосинклинальные подвижные пояса; 2 — мелководные моря на континентах; 3 — глубинные разломы, определившие очертания современных материков

наружу в виде мощных лавовых излияний вдоль глубинных разломов.

Материки меняют свои очертания. Геологические события мезозойской эры привели к существенным изменениям в очертании материков. Единые супергигантские континенты — Лавразия и Гондвана распадаются (рис. 15).

В позднем палеозое намечается ослабленная зона на западной границе современной Африки; в триасе глубинные разломы активизируются, вызывая проседание узких линейных зон земной коры и излияние базальтовых лав. В образовавшихся узких грабенах первоначальная гранитная кора разрушается и перерабатыва-

ется, края грабенов под действием внутренних сил Земли удаляются друг от друга. Грабены заполняются морскими водами, возникают узкие внутриконтинентальные моря, напоминающие современные Красное море, Суэцкий залив, Калифорнийский залив, Аденский пролив. Подобные моря примерно 160—150 млн. лет назад распространяются к югу от океана Тетис, вклиниваясь между Индией и Сомалийским полуостровом Африки.

Некоторое время спустя внутриконтинентальные моря возникают между Индией и Австралией, а возможно и между Австралией и Антарктидой. Несколько позже (120 млн. лет назад) морские воды образуют узкий пролив между Южной Америкой и Африкой. По данным английского ученого Реймента, вначале морской залив захватил Юго-Западную Африку (120 млн. лет назад), через 10 млн. лет он достиг Конго, а еще через 5 млн. лет — Нигерии. Море заполняло узкую зону грабена, прорезавшего Африку от Нигерии до Алжира. 100 млн. лет назад уже существовала, тогда еще очень узкая, лента Атлантического океана.

Существенные изменения очертаний материков произошли в конце мелового периода (100—80 млн. лет назад). Южная Америка поворачивается относительно Африки и перемещается на запад к своему современному местоположению. Индия отдаляется от Африки к северу, по направлению к Азии. Австралия и Антарктида испытывают перемещения к югу и юго-востоку от Африки. Африканский континент незначительно повернулся и несколько переместился на север, до соприкосновения с Европой, отделяясь от нее Средиземным морем.

Первоначальные перемещения, вероятно, были не столь уж значительны. Атлантика, например, расширилась лишь на четверть от нынешней ширины. Тем не менее в мезозое была сформирована значительная часть дна Атлантического и Индийского океанов.

Геологические события в мезозойских геосинклиналях развивались в тесной связи с процессами, охватившими платформы. Как правило, геосинклинали располагались по периферии платформ в виде линейных прогибов. Мезозойские геосинклинальные области охватывали запад Америки, Восток Сибири, Индо-Китай, Средиземноморье. Здесь формировались мощные толщи осадочных и магматических пород. В конце мезозоя активные

тектонические движения мезозойской эпохи складчатости (ларамийская фаза) смяли пластичные осадочные породы геосинклиналей в складки, выдавили их вверх, образовав горные хребты. В результате многие геосинклинали заканчивают свое развитие, в их пределах устанавливается тектонический режим платформенного типа (рис. 16). Однако назвать их платформами можно лишь условно. Типичный платформенный режим здесь еще не наступил. До сих пор происходит сглаживание, нивелировка горного рельефа, которое может продолжаться несколько миллионов лет. В ряде геосинклиналей (Андийская, Альпийско-Гималайская, Восточно-Азиатская) тектонические движения конца мезозоя не привели к смене режима, эти области земного шара продолжают свое геосинклинальное развитие и в кайнозое, хотя сокращаются в размерах.

Интенсивность тектонических движений мезозойского времени была настолько велика, что горообразовательные процессы захватывают даже некоторые платформенные территории. Возникают так называемые области эпиплатформенной активизации, или эпиплатформенного орогенеза. Примером этого может служить эпигерцинский Монголо-Охотский пояс, вовлеченный в активные горообразовательные движения в конце мезозоя.

Между возникшими мезозоидами и древними платформами закладываются передовые прогибы. Платформы испытывают еще более четкую дифференциацию на области поднятий и области прогибаний.

Теплый мезозой. Мезозойская эра характеризовалась сравнительно теплым климатом. Исчезают ледники, которые существовали на Гондване в позднем палеозое.

Триасовый период был временем широкого развития засушливого климата. Пустыни и полупустыни охватывали Европу и Северную Америку. Районы Сибири и Индокитая обладали более влажным тропическим и субтропическим климатом.

По мере развития морских трансгрессий происходит глобальное смягчение климатических условий. В юре на значительных территориях, по-видимому, господствовала теплая, влажная обстановка. Тепло было даже в современной Арктике. Температура воды в районах нынешней Англии и Дании в ранней юре достигала $+21^{\circ}\text{C}$, а в позднеюрскую эпоху она увеличилась до $+28^{\circ}\text{C}$.

Рис. 16. Схема
современного
положения ме-
зозойд.

1—платформы (?)
(1 — Кордилье-
ро-Колымская, 2 — Верхоя-
но-Колымская, 3 —
Дальневосточная,
4 — Индо-Китай-
ская; 2 — области
более ранней кон-
солидации; 3 — пе-
редовые прогибы
(А — Предкордиль-
ерский, Б — Пред-
верхоянский; 4 —
срединные масси-
вы — устойчивые
области
внутри ме-
зозойд (а —
Колым-
ский, б —
Омолон-
ский, в —
Охотский,
г — Восточ-
но-Чукот-
ский); 5 —
Монголо-
Охотский
пояс эпи-
платфор-
менной
активи-
зации



Такие точные данные о палеотемпературах морских вод получены Г. Юри по соотношению изотопов кислорода в раковинах ископаемых моллюсков. Засушливые климатические зоны в юрском периоде сохранялись в Северной Америке, Южной Америке и Африке.

В течение мелового периода неоднократно происходили колебания климата, однако в общем сохранялись сравнительно теплые условия. Температура поверхностных вод в районах современной Арктики в то время равнялась $+14^{\circ}\text{C}$, а на экваторе (океан Тетис) была даже выше современной. Общее смягчение климата, наметившееся еще в юрское время, привело к тому, что в позднем мелу практически не существовало пустынь в современном их понимании. Тогдашние аридные (пустынные) зоны напомнили бы нам современную тропическую саванну с галерейными лесами и пышными зелеными оазисами в долинах рек.

Благоприятные климатические условия мезозоя способствовали бурному развитию органической жизни как на земле, так и в океанах. На континентах широко распространяются голосеменные растения, оттесняя плауновые, папоротниковые и хвощи. Развиваются хвойные, гингковые и беннетитовые растения, из которых до наших дней наиболее полно сохранились представители хвойных. В меловое время заметную роль начинают играть уже покрытосеменные растения, характеризующиеся двойным оплодотворением, возникновением завязи и плодов, развитием сложной проводящей ткани и вегетативными органами.

В мезозойских морях и океанах широкое развитие получила фауна беспозвоночных, которая взята за основу при расчленении мезозойских комплексов. Преобладали аммониты со сложнопостроенной перегородочной линией и выразительной в скульптурном отношении спирально-закрученной раковиной (рис. 17, а, б), пелециподы (пластинчатожаберные моллюски), шестилучевые и восьмилучевые кораллы, губки, простейшие. Широко распространяются морские ежи — высокоорганизованные представители иглокожих, обладающие кровеносной и нервной системами. Тело животного было заключено в твердый известковый панцирь, защищенный тонкими известковыми иглами (рис. 17, в).

Наряду с обильной фауной беспозвоночных в мезо-

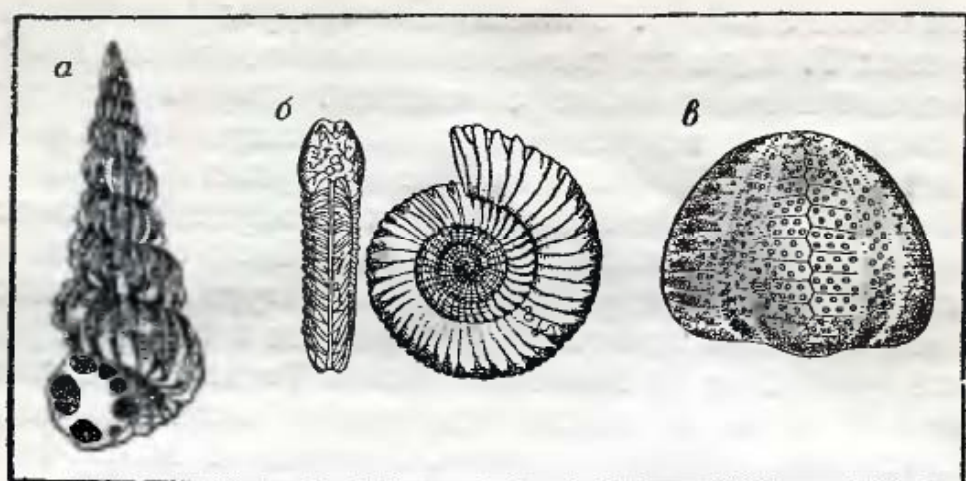


Рис. 17. Некоторые характерные представители мезозойской фауны.

Головоногие моллюски, отряд аммоноидей: а — Туррилитес, б — Паркинсония. Известковый панцирь морского ежа (в), на пластинках видны точки прикрепления игл

зое довольно разнообразно представлены и позвоночные. В морях и океанах сокращается количество хрящевых рыб, их сменяют костистые рыбы. На суше в триасе появляются первые млекопитающие — мелкие животные размером с крысу. Юрский период знаменуется развитием пернатых птиц.

Безраздельное господство среди животных захватывают рептилии, замечательно приспособившиеся к жизни на земле, в небе и морях. Такое обилие рептилий не встречалось ранее и вряд ли встретится в будущем. Остатки рептилий в ископаемом виде обнаружены на всех материках Гондваны. Показательны в этом отношении листрозаурусы — пресмыкающиеся, жившие в поздней перми и триасе (200—240 млн. лет назад). Это были приземистые животные, величиной с собаку (от 60 до 120 см). Массивное тело покоилось на коротких, но крепких ногах. Передняя челюсть на конце характерно изогнута книзу, все зубы вдавлены внутрь, и только два небольших клыка торчали наружу по обе стороны головы. Листрозаурусы обитали вблизи рек и озер субтропических и тропических областей. Находки листрозаурусов в Америке, Африке, Индии, Австралии и даже Антарктиде лишний раз подтверждают прежнее единство этих материков.

Среди мезозойских рептилий поражают своими раз-

мерами и необычными формами динозавры* — самые крупные сухопутные животные, населявшие когда-либо планету. Познакомимся поближе с этими любопытными животными, с их расцветом и вымиранием.

Пустыня Гоби и динозавры. В конце палеозоя среди рептилий были широко распространены сравнительно мелкие ящеры — текодонты, явившиеся родоначальниками динозавров. В триасе представители текодонтов приспособились к передвижению на двух задних ногах. Поскольку у рептилий зрение — главный орган чувств, то высоко поднятая голова была особенно удобна для ориентировки среди густой травянистой растительности. Это дало определенные преимущества двуногим тектодонтам, которые начинают доминировать среди животных.

Очаг возникновения динозавров, по мнению некоторых ученых, располагался в пустыне Гоби и в соседних районах Центральной Азии. Эти территории в течение последних 200—250 млн. лет не подвергались нашествию моря и здесь были благоприятные условия для стабильного развития наземной фауны. В этих районах и по сей день часто находят остатки некогда живших гигантов. В Китае, например, с глубокой древности существовали добытчики ископаемых костей и зубов животных как «лекарственного» сырья. Особенно высоко ценились огромные кости, которые приписывались драконам. Из этих костей делались магические порошки, якобы лечившие от всех болезней. На Амуре, по данным академика Ю. А. Орлова, трубчатые позвонки динозавров рыбаки применяли для изготовления грузил. Понимая важность подобных находок для науки, Петр I в свое время издал указ, который гласил: «...Ежели кто найдет в земле или в воде старые вещи, а именно: камни необыкновенные, кости человеческие или скотские, рыбы или птичьи, не такие, какие у нас ныне есть, или и такие, да зело велики или малы перед обыкновенными..., таже бы приносили, за что давана будет довольная дача» (из Указа Петра I, 13.XI.1718). С это-

* Термин «динозавр» (в переводе означает страшный, тяжеловесный ящер) был предложен Р. Оуэном еще в прошлом веке. Термин укрепился в палеонтологии, хотя оказался неудачным, так как были обнаружены и небольшие, мелкие динозавры.

го времени в России кости динозавров и других ископаемых животных были взяты под охрану государства.

Наступление динозавров началось из Центральной Азии. Двигаясь на юг, динозавры заселяли территорию Индо-Китая и Австралии; через Восточную Сибирь они проникли на Аляску, а оттуда в Америку; на западе перед ними открывались просторы Европы, Средней Азии и Аравии, откуда они проникли и освоили Африку.

Динозавры имели сравнительно легкий скелет, что облегчало существование этих гигантов. Наиболее крупных размеров достигали травоядные динозавры. Известны диплодоки и бронтозавры длиной до 25—30 м и весом до 30—35 т. По-видимому, эти животные вели полуназемный образ жизни, проводя значительное время в воде подобно современным бегемотам. На это указывают облегченные шейные позвонки; полые кости скелета; тонкие слабые зубы, пригодные для поедания мягкой водной растительности; далеко отодвинутые назад глаза и носовые отверстия. Характерно в этом отношении строение черепа утконосого динозавра зауролофа (рис. 18). На затылке животного имеется длинный «шпиль», образованный плотно сомкнутыми носовыми костями. Предполагают, что от переднего конца морды до конца «шпиля» по покрову кожи, одевавшей шпиль, проходил воздухоносный ход. Благодаря такому приспособлению зауролоф мог полностью погружаться под воду в поисках пищи или спасаясь от врагов. Зауролоф был также приспособлен к плаванию, для чего мог использовать свой высокий и уплощенный хвост, кроме того передние укороченные лапы были снабжены перепонками. Челюсти животного несли параллельные ряды листовидных зубов, число которых доходило до 1000. Зубы были хорошо приспособлены к срезанию растительности, но быстро изнашивались, поэтому смена зубов шла на протяжении всей жизни.

Полуназемные динозавры передвигались на четырех (диплодок) и на двух (зауролоф) ногах. Наземные же динозавры чаще всего были двуногими животными. Однако они также предпочитали влажные, богатые растительностью места. Одним из представителей наземных травоядных динозавров является игуанодон (рис. 19), достигавший 10 м в высоту. Животное имело трехпалые задние ноги с перепонками, что говорит о приспособлен-

ности игуанодонов к хождению по топким болотам и илистому дну озер и рек. «Батарея» зубов животного напоминала коренные зубы нынешних лошадей; конец морды был одет большим роговым чехлом, как у черепах и птиц. Своеобразный клюв использовался при объедании листвы и побегов у кустов и деревьев, а также и для защиты. Игуанодон, имея сильную челюстную мускулатуру, мог наносить клювом опасные укусы и рваные раны, отбиваясь от хищников.

Страшными и мощными хищниками мезозойского времени были тарбозавры и тиранозавры, населявшие планету в меловом периоде (рис. 20). Встреча с такими чудовищами не предвещала ничего хорошего. Передвигались они на двух задних ногах, опираясь на сильный хвост. Укороченные передние конечности служили, вероятно, только для держания пищи.

Несмотря на огромный рост (до 12 м), тарбозавры и тиранозавры могли довольно быстро передвигаться. Возможно, что используя свой хвост как балансир, эти динозавры даже проворно бегали, охотясь за травоядными животными. Мощные челюсти, усаженные острыми кинжальными зубами, делали этих животных непобедимыми.

Динозавры размножались с помощью яиц, зарывая их в горячий песок, как это делают современные черепахи и крокодилы (рис. 21). Некоторые представители динозавров вели стадный образ жизни. Американский палеонтолог Дж. Остром, изучая следы динозавров в Техасе и Коннектикуте, обратил внимание на то, что следы часто тянутся параллельной цепочкой. Ученый предполагает, что некоторые двуногие динозавры были довольно общительными животными и предпочитали передвигаться небольшими группами. Так было легче отбиваться от хищников или же охотиться.

Постепенно рептилии приспособляются и к полету, захватывая главенство в воздухе. Предками летающих ящеров (птерозавров) также были текодонты, некоторые их представители обладали способностью к планированию и парашютированию, ведя древесный образ жизни. Не так давно в отрогах Туркестанского хребта был обнаружен возможный предок птерозавров, получивший название длинночешуйника необыкновенного. Животное величиной с мышь было покрыто чешуйками,



Рис. 18. Завролоф — травоядный динозавр, населявший районы Центральной Азии в позднемеловое время (реконструкция К. К. Флерова)

Рис. 19. Травоядный динозавр игуанодон (реконструкция — W. E. Swinton, 1958)



Рис. 20. Хищный тиранозавр, населявший Азию в меловом периоде
(реконструкция — W. E. Swinton, 1964)

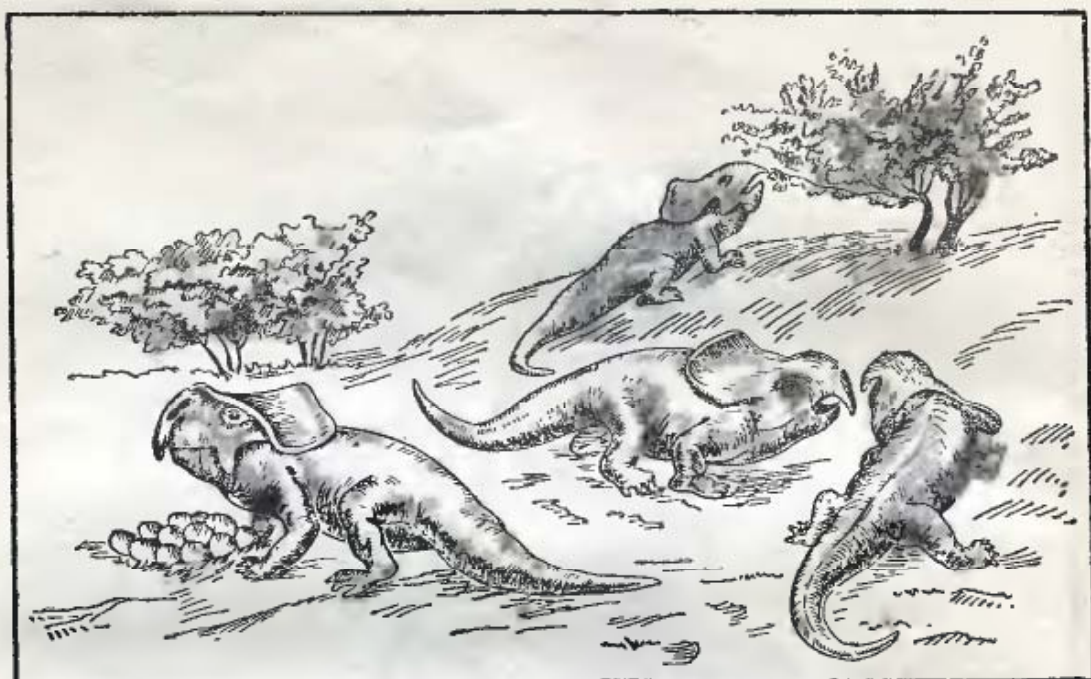


Рис. 21. Сценка из жизни протоцератопсов — сравнительно небольших растительноядных динозавров, населявших нашу планету в позднем мелу. Слева самка протоцератопсов пытается укрыть в песке яйца, величина которых достигала 10 см в длину (реконструкция, из книги Ю. А. Орлова, 1968)

напоминающими зачаточные перья. Вдоль спины располагались очень длинные чешуи, на концах они расширялись, образуя тонкостенные мешочки, которые и выполняли роль парашютиков, замедляя падение. Длинночешуйник обитал среди деревьев и питался насекомыми. Другие древесные рептилии приспособились к планированию с помощью эластичной кожистой пленки, натянутой между конечностями и туловищем. От этих древесных рептилий, очевидно, и произошли крупные летающие ящеры (рамфоринхи, птеродактили и птеранодоны). Рамфоринхи имели длинный хвост, пятипалые задние ноги и длинные узкие крылья с размахом до 1 м. Челюсти были усажены острыми зубами. Тело животного покрывала густая шерсть длиной 4—7 мм, на перепончатых крыльях торчали лишь отдельные короткие волоски. Питались рамфоринхи рыбой и насекомыми. Птеродактили и птеранодоны, в отличие от рамфоринхов, обладали лишь зачаточным хвостом и широкими крыльями, размах которых достигал 8 м.

Недавно в газетах появилось сообщение о находке

в Национальном парке «Биг-Бенд» (штат Техас). Американский студент-палеонтолог Д. Лаусон обнаружил при раскопках кости птеродактилей, имевших размах крыльев более 17 м.

Древообитающие текодонды были, вероятно, и прародителями птиц. Появление последних приходится на юрский период. Птицы имеют очень много общего с рептилиями в строении черепа и скелета, поэтому их иногда называют «возвеличенными пресмыкающимися». Однако у птиц более совершенны кровеносная, нервная система и органы чувств по сравнению с рептилиями. Большой объем мозга, гораздо лучше развитая «психика», их активность, забота о потомстве, координированный и совершенный полет — все это позволило им расселиться по всему земному шару, занять различные климатические области от полюсов до экватора и выжить в борьбе за существование, чего нельзя сказать о рамфорингах и птеродактилях.

Начиная с триасового периода, некоторые рептилии приспосабливаются к морскому образу жизни. Наиболее совершенными представителями водных рептилий были, по-видимому, ихтиозавры. По внешнему виду они напоминали дельфинов, но с более вытянутой мордой. Длина животного составляла 5—6 м. Передние и задние ноги ихтиозавров преобразовались в ласты, причем передние были развиты значительно лучше задних. Ихтиозавры были живородящими животными, что отличает их от других рептилий. Об этом свидетельствуют находки захороненных животных с остатками детенышей внутри. По мнению Ю. А. Орлова, питание ихтиозавров в утробе матери происходило за счет материнского организма, как и у млекопитающих. Все это говорит о более совершенном организме ихтиозавров по сравнению с остальными пресмыкающимися.

Другими обитателями мезозойских морей и современниками ихтиозавров были плезиозавры, плиозавры, нотозавры и плакодонты. Представители первых двух родов были наиболее приспособленными животными к жизни в морской среде. Мощные ласты позволяли им довольно быстро плавать, уступая, однако, в скорости ихтиозаврам. Небольшая голова, вооруженная пастью с острыми коническими зубами, на длинной «лебединой» шее помогала животным хватать проворных морских

рыбешек. Наиболее крупные особи плиоавров достигали 8 м в длину.

Мезозой с полным правом можно назвать веком гигантских рептилий. Однако в конце мелового периода они практически полностью вымирают. Это произошло не молниеносно, но за довольно короткий период времени в геологическом отношении — около одного миллиона лет. Ничего подобного не случилось ни с рыбами, ни с примитивными млекопитающими, ни с амфибиями, ни с птицами, ни с растительным миром. Причины такого «мгновенного» исчезновения диноавров до сих пор еще окончательно не найдены, хотя имеется множество предположений.

Гибель гигантов. Наиболее распространенным объяснением причин вымирания диноавров было изменение климатических условий на Земле. Тектонические движения мезозойского тектогенеза, перемещение континентов приводили к изменению рельефа материков, сокращению площадей болот и низменностей. Климат становился более суровым и засушливым. Растительность приобрела сухой и жесткий характер, зубы же растительноядных диноавров были приспособлены к мягкой и сочной пище. Сокращение видов травоядных рептилий привело к гибели и хищников. Кроме того диноавры, не обладая надежным волосным покровом, не смогли наладить терморегуляцию организма, что также способствовало их вымиранию. Однако, несмотря на возможное изменение климата в сторону похолодания, на Земле все же существовали и теплые тропические зоны, где диноавры могли бы найти благоприятные условия для своего развития.

Большой интерес вызвала гипотеза о том, что гибель диноавров являлась следствием увеличения мутаций в организме. Причиной этого могла быть сильная радиация, нарушившая производство потомства. Американские ученые подсчитали, что каждые 10 млн. лет наша планета может получать дозу космических лучей, превышающую нормальную в 7 тысяч раз. Такие условия создаются, например, при взрыве сверхновых звезд. Если это так, то почему бомбардировка жестким излучением оказалась смертельной только для диноавров? Кроме того специальные исследования ископаемых костей этих животных не показали их повышенную радиоактивность.

Некоторые ученые видели причины гибели гигантов животного мира в несоответствии между объемом мозга и весом тела; в вирусной эпидемии, поразившей динозавров. Недавно профессор Г. Эрбен из Бернского университета предположил, что на последней стадии существования динозавры откладывали яйца с очень толстой скорлупой. Детеныши с трудом могли ее пробить, и далеко не всегда, в результате рождаемость динозавров резко снизилась. Почему вымерли живородящие ихтиозавры, ученый не поясняет.

Московский геолог В. Б. Нейман связывает гибель гигантов с возрастанием силы тяжести на Земле, они оказались «раздавленными собственным весом». Исследователь приводит некоторые данные, показывающие увеличение силы тяжести и в наши дни. Предположение само по себе не лишено смысла. Однако среди динозавров были и не такие уж исполины. Морские рептилии, например, по размерам и по весу намного уступали современным китам. По-видимому, что-то роковое было в самой «конструкции» организма у динозавров.

Существует еще одна, как нам кажется, наиболее правдоподобная гипотеза, объясняющая гибель гигантов, основанная на изменении микроэлементов в окружающей среде. В конце мезозоя значительную роль в строении земной коры начинают играть континенты. Эрозионные процессы, охватившие их, выносят в атмосферу и гидросферу новые соли и микроэлементы, до этого активно не участвовавшие в круговороте веществ. Появление новых микроэлементов, изменение солевого состава водоемов могло роковым образом повлиять на судьбу динозавров.

Исследования последних лет, например, установили, что нарушение баланса микроэлементов пагубно сказывается на организме человека и животных: падение количества натрия в крови вызывает истощение нервной системы, быструю утомляемость; дефицит железа способствует развитию малокровия; уменьшение кальция — важнейшего элемента скелета — приводит к сокращению размеров животных; недостача иода влечет за собой увеличение щитовидной железы; нехватка фтора — болезнь зубов.

Сильное влияние на организм животных и людей оказывает стронций. Повышенное содержание его в

почвах приводит к тому, что стронций заменяет кальций в костной ткани. Сравнительно быстро он удаляется из организма и кости становятся пористыми — развиваются болезни скелета, резко возрастает ломкость костей. Сто лет назад в Восточном Забайкалье (долина реки Уров) была описана особая болезнь, поразившая русских переселенцев. У них деформировались кости, формы тела принимали уродливые очертания. Причиной этой уровской болезни явился стронций.

Не менее вредное влияние на организмы оказывает селен. Из почвы он попадает в растения, которые охотно поедаются животными. У них развивается «щелочная болезнь»: нарушается работа сердца, поражаются суставы, выпадает волосяной покров, размягчаются рога и копыта, птицы теряют перья. Мясо таких животных ядовито.

Можно привести и другие примеры вредного влияния микроэлементов на организмы: недостаток кобальта вызывает у животных эндемические заболевания, авитаминоз; недостаток меди — анемию.

Возможно, что в конце мезозоя произошло выщелачивание из почв и горных пород каких-то особо вредных для динозавров микроэлементов. Включившись в круговорот веществ, они попадали в организм животных, что способствовало развитию тяжелых недугов, явившихся причиной гибели самых крупных существ, некогда обитавших на Земле.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ

Последний этап геологического развития Земли, приведшей ее к современному состоянию, приходится на кайнозойскую эру. Продолжительность его самая незначительная по сравнению с предыдущими этапами — около 70 млн. лет. Однако этого оказалось достаточно, чтобы материки резко изменили свои очертания и заняли привычные места на географических картах; значительно выросли Атлантический и Индийский океаны; существенно изменились растительность и органический мир; наконец, появился человек и достиг большого могущества.

Кайнозойская эра делится на три периода: палеогеновый, неогеновый и антропогеновый (или четвертичный). Каждый из них в своем составе имеет эпохи и века.

«Расползание» материков продолжается. В начале кайнозойской эры, несмотря на то что уже произошел раскол Лавразии и Гондваны и отдельные материковые глыбы литосферы начали «расползаться», все-таки мы бы застали еще довольно крупные участки суши, охватывавшие иногда несколько современных континентов. Единый материк, возможно, составляли Индия, Австралия и Антарктида; Южная Америка еще имела точки соприкосновения с Африкой. Между Европой и Северной Америкой существовала лишь узкая полоска воды — зачаток будущей Северной Атлантики. Тектонические движения кайнозойского времени существенно изменили этот лик Земли.

В начале палеогенового периода развивается крупная морская трансгрессия, захватившая эпигерцинские платформы северного полушария, затопившая юг Восточно-Европейской платформы, Аравию и север Африки. Северо-Американская и Сибирская платформы оставались сушей.

В морях накапливались мелководные осадочные породы (пески, глины, известняки), а на суше — речные и озерные осадки. Наступление моря шло в основном со стороны океана Тетиса, где продолжала формироваться крупная Альпийско-Гималайская (средиземноморская) геосинклиналь. Для нее было характерно интенсивное прогибание земной коры и накопление глинистых, песчаных и известковых толщ, образовавших в ряде мест специфическую флишевую формацию* палеогена мощностью до 5 км. Геосинклинальное развитие испытывает и Восточно-Азиатская зона, включающая в себя крайнее побережье Тихого океана. Аналогичные условия накопления осадков сохраняются практически в течение всего неогена и антропогена.

Морское осадконакопление присуще геосинклиналям, отчасти эпигерцинским платформам (Западная Сибирь, Средняя Азия, Предкавказье). Древние же платформы не перекрывались, лишь их периферические области иногда испытывали трансгрессию моря. Обширные территории этих платформ служили областями сноса обломоч-

* Формация — закономерное сочетание пород, объединенных общностью тектонических условий образования. Флиш — частое, ритмичное чередование пластов известняка, мергеля, глин, песчаника.

ного материала в прилегающие водные бассейны геосинклиналей, поэтому осадконакопление на них шло преимущественно в изолированных озерных или болотных водоемах, или же в пойме речных долин. Однако и в этом случае создавались иногда благоприятные условия для накопления мощных толщ осадков. Наиболее значительные мощности кайнозойских отложений установлены в долине р. Миссисипи, активно развивавшейся на Северо-Американской платформе в течение всей кайнозойской эры. Общая мощность русловых и дельтовых осадков, накопившихся в неоген-антропогенное время, составляет около 20 км. Образование такой толщи связано с интенсивным прогибанием узкого грабенообразного желоба, расположенного между двумя поднятиями платформы: Цинцинати и Озарк. Американские геологи рассматривают эту зону в качестве своеобразного современного геосинклинального трога.

В неогеновом периоде продолжается «расползание» материков. Особенно интенсивно формировалась Атлантика. Постепенный рост этого океана за последние 50 млн. лет фиксируется изменением возраста островов. Радиоактивными методами было установлено, что близкие к суше острова имеют более древний возраст, чем острова, расположенные в центральной части океана. Так, острова Зеленого мыса, Принсипи, Сан-Томе, Аннобон (вдоль западного побережья Африки) и Багамские, Фернанду-ди-Норонья (вдоль восточного побережья Северной и Южной Америки) имеют возраст 120—150 млн. лет. Острова Азорские, Канарские, св. Елены, Гоф, Найтингейл, Бермуды намного моложе — они не старше 30—20 млн. лет. Наконец, острова Тристан-да-Кунья, Буве, Ян-Майен, лежащие почти на оси Атлантического океана, совсем молоды — им не более 10 млн. лет. Учитывая возраст островов и их расстояние до материков, можно вычислить и скорость удаления Африки и Европы от Северной и Южной Америки. Она составит 2—6 см/год.

В палеогене уже произошло, вероятно, разделение Индии, Австралии и Антарктиды. Индийская глыба переместилась почти на 8 тыс. км к северу и в начале неогена вошла в соприкосновение с Азией. Австралия двигалась на северо-восток, поворачиваясь вокруг своей оси против часовой стрелки. Менее всего подвижны оказались Антарктида и Африка.

Великие Африканские разломы. Одновременно с перемещением континентальных блоков литосферы, очерченных глубинными разломами еще в начале мезозоя, в кайнозойской эре происходило заложение новых глубинных разломов, в ряде случаев приведших к изменению географии Земли.

Крупные глубинные разломы с активными вертикальными движениями по ним возникли на западе Северо-Американской платформы, в зоне сочленения с Кордильерами. Блоковые движения привели здесь к образованию горного рельефа (Скалистые горы) и излиянию базальтовых лав, покрывших многосотметровым плащом площадь свыше 500 000 км².

Еще более грандиозные расколы перекроили территорию Аравии и Африки. В миоценовую эпоху система взаимно пересекающихся диагональных глубинных разломов образовала грабены Красного моря, Суэцкого и Аденского заливов. Узкие грабены, ориентированные в северо-западном и северо-восточном направлениях, отделили Аравийский п-ов от материнского тела Африки. На протяжении последних 5 млн. лет края этих грабенов неумолимо отодвигаются в разные стороны, а образовавшееся пространство заполняется морской водой.

Земная кора Красного моря, Суэцкого и Аденского заливов имеет океаническое строение. Ученые считают, что образование подобных грабенов является начальным этапом формирования океанических впадин на теле Земли. Исследования, проведенные в придонных водах Красного моря, показали, что активные термические процессы, давшие, вероятно, толчок к образованию грабенов, протекают и в настоящее время. Придонные воды Красного моря нагреты до $+60^{\circ}\text{C}$, их минерализация резко возрастает до 27%* за счет повышенного содержания различных солей, а также цинка, золота, меди, железа, серебра, урана. Это указывает на прямую связь с глубинными недрами и на вынос оттуда различных элементов. Насыщенная минеральными солями придонная вода Красного моря не поднимается к поверхности, хотя сильно нагрета, а образует своеобразный «рассол», концентрирующийся на морском дне на глубине в 2—2,5 км.

* Средняя минерализация вод Красного моря 4%.

По некоторым разломам Африки происходит активное излияние лав на дневную поверхность. В палеогене вспышка вулканической деятельности произошла в центральных и юго-западных районах Африки (Камерун, Уганда и Кения). Мощность базальтовых покровов палеогена достигает в этих районах 1,5 км.

В миоцене Восточная Африка «вспарывается» грандиозной системой глубинных разломов, получивших название Великих Африканских разломов. Начинаясь у нижнего течения р. Замбези, эти разломы тянутся к северу в субмеридиональном направлении. У оз. Ньяса полоса разломов расчленяется, давая три ветви. Западная простирается в северо-западном направлении через озеро Танганьика и Эдуарда и вскоре затухает. Восточная поворачивает на северо-восток и около южной оконечности п-ова Сомали выходит к Индийскому океану. Центральная ветвь трассируется в северном направлении через озера Рудольфа и Дофине, где снова делится на две ветви. Короткая восточная ветвь подходит к побережью Аденского залива, а длинная западная — через Эфиопию проходит к Красному морю и далее к Мертвому морю заканчиваясь у южного подножья горного хребта Тавр в Малой Азии. Строго говоря, в систему Великих Африканских разломов входят грабены Красного моря, заливов Аденского и Суэцкого. В рельефе местности разломы выражены узкими, длинными и глубокими грабенами, заполненными водой: озера Рудольфа, Ньяса, Танганьика, Эдуард, Альберт и др. Часть разломов образует ступенчатые сбросы, погружающиеся в сторону Индийского океана. Образование разломов и их развитие сопровождалось интенсивным излиянием преимущественно базальтовой лавы, которое продолжается и в антропогеновое время. Действующие вулканы Африки, как правило, «сидят» на Великих Африканских разломах, за исключением вулкана Камерун, связанного с Камерунским глубинным разломом.

Образование молодых грабенов в зоне активных глубинных разломов отмечается и в некоторых других районах земного шара. Так, в Сибири образовался грабен озера Байкал, амплитуда проседания которого составила около 1700 м. На западе Северной Америки по глубинному разлому произошло отделение Калифорнии от материка с образованием Калифорнийского залива. Горизон-

тальные движения по глубинному разлому Сан-Андреас, разделяющего Северную Америку и Калифорнию, происходят и по сей день, что сопровождается сильными землетрясениями. Скорость этого перемещения в среднем составляет 5—6 см в год.

От Пиренеев до Гиндукуша. В неогеновое время жесткие плиты литосферы продолжают перемещаться и в ряде мест приходят в соприкосновение друг с другом. При этом мягкие осадочные породы сминаются с образованием горных хребтов. Индийская глыба, приблизившись к Азии, вызвала образование мощной горной системы мира — Гималаев. Продвижение Африки к северу привело к «вздыбливанию» Средиземноморской системы гор (Атласа, Альп, Пиренеев и др.). Ученые подсчитали, что Альпы до этого имели ширину 600—1200 км, а после сжатия укоротились до 150 км. Процессы смятия мощных толщ осадочных пород геосинклиналей, разделявших в кайнозой жесткие глыбы платформ, проявлялись отдельными импульсами, которые выделяются как фазы альпийского диастрофизма. Суммарным результатом их явилось возникновение альпийских областей складчатости (рис. 22).

Одна из грандиознейших областей альпийской складчатости протянулась от Пиренеев до Гиндукуша на расстояние почти в 10 000 км при ширине до 1000 км. Она получила название Альпийско-Гималайского горно-складчатого пояса. Геосинклинальная история его еще не закончилась, эта область переживает в настоящее время орогенный, т. е. горообразовательный этап развития. Частые землетрясения, извержения вулканов свидетельствуют о том, что высокогорные страны мира, расположенные в Альпийско-Гималайском поясе (Альпы, Памир, Гималаи, Гиндукуш и др.), продолжают «расти», все выше поднимая над земной поверхностью свои снежные вершины. Такого же типа альпийская область известна в Южной Америке — это Анды.

На востоке Азии от Корякского нагорья до Новой Гвинеи, захватывая п-ов Камчатку, острова Курильские, Японские и многие другие, расположен Восточно-Азиатский кайнозойский пояс. Тектонические движения альпийской складчатости не привели здесь к ликвидации главного геосинклинального этапа развития. Островные дуги выполняют роль внутригеосинклинальных поднятий.

Рис. 22. Схема
современного
положения кай-
нозойских
структур.



1 — области аль-
пийской складча-
тости (1—Северо-
Американская,
или Береговые
хребты, 2 — Юж-
но-Американская,
или Андийская,
3 — Средиземно-
морская, 4 — Пон-
то-Иранская, 5 —
Гималайская, 6 —
Восточно-Азиат-
ская, 7 — Индо-
незийская); 2 —
области более
ранней консоли-
дации; 3 — основ-
ные области эпи-
платформенной
активизации (1 —
Скалистые
горы, II —
Тянь-
Шань, III —
Тибет, IV —
Восточно-
Африкан-
ская); 4 —
передовые
прогибы
(А — Пред-
альпий-
ский, Б —
Предкар-
патский, В — Предкавказский, Г — Предкопетдагский, Д — Предпамирский, Е — Индский, Ж — Гангский, З — Предандийский)

патский, В — Предкавказский, Г — Предкопетдагский, Д — Предпамирский, Е — Индский, Ж — Гангский, З — Предандийский)

Эрозионные процессы сносят с их поверхности обломочный материал, который поступает в прилегающие окраинноматериковые моря (Японское, Восточно-Китайское, Южно-Китайское, Сулавеси и др.). Многочисленные вулканы извергают лавы. Все это накапливается в морях, являющихся внутригеосинклинальными прогибами. В их пределах мощность кайнозойских осадочно-эффузивных образований превышает местами 10—15 км. Аналогичный режим развития испытывает и сравнительно узкая зона Северной Америки, захватывающая Алеутские о-ва, береговые хребты Кордильер и п-ов Калифорнию.

Мощь тектонических движений кайнозойского времени была настолько велика, что вызвала горообразование даже в пределах платформенных областей. С такими областями эпиплатформенного орогенеза мы сталкивались уже в конце мезозоя, когда возник Монголо-Охотский пояс. На кайнозойском этапе развития масштабы образования областей эпиплатформенной активизации были более значительны. Омоложение горного рельефа произошло также на Урале, Алтае, в Забайкалье, Саянах и во многих других районах земного шара.

Между молодыми горными сооружениями альпийского возраста и существовавшими платформами закладываются передовые прогибы.

Легендарный океан Тетис. Бурные тектонические процессы, приведшие в кайнозое к перемещению континентов, к образованию мощнейших горных поясов, сильно изменили географию планеты: возникли новые океаны (Атлантический, Индийский) и исчезли прежние. Печальная участь постигла в этом отношении легендарный океан Тетис. В течение многих сотен миллионов лет этот океан, по-видимому, был одним из крупнейших океанических бассейнов планеты.

В неогене, когда молодые горообразовательные движения «набрали» силу, океан Тетис распался вначале на два морских бассейна: северный и южный. Узкая полоска земли, протягивавшаяся от Альп через Балканы и Малую Азию в Центральный Иран и Афганистан, разграничивала эти моря. Южный бассейн сохранял связь с Мировым океаном. Северный оказался изолированным, растущие горные сооружения все больше и больше отшнуровывали его от открытого океана. Возникло гигант-

ское Сарматское море-озеро (Паратетис), простиравшееся на тысячи километров из внутренних районов Европы вдоль Предкавказья до Аральского моря. В этом бассейне, перекрывавшем и юг Восточно-Европейской платформы, откладывались песчано-глинистые осадки, органические известняки с богатой фауной моллюсков, фораминифер, кораллов.

В плиоцене Сарматское море-озеро расчленяется на ряд изолированных бассейнов — сказываются продолжающиеся горообразовательные процессы и рост горных сооружений. Растущие горы Кавказа и Копетдага вызывают перемещение водных масс Сарматского моря на север, которые в верхнем плиоцене затапливают всю современную Прикаспийскую низменность. «Языки» моря по долинам палеорек Волги, Камы, Урала проникают далеко на север. Плиоценовые моря были сильно опреснены, в них формировались исключительно песчано-глинистые отложения. Отступила и южная часть океана Тетис, имевшая связь с открытым океаном.

С течением времени горные сооружения Альп, Карпат, Кавказа, Копетдага принимают современные очертания. Они растут, увеличивают свои размеры. Воздымание захватывает и прилегающие территории, что сказывается и на оставшихся от океана Тетис морских бассейнах. Южный морской бассейн регрессирует все дальше на юг, постепенно уходя в Индийский океан, оставляя после себя лишь небольшие морские водоемы, соленые озера, заливы, которые в конце концов полностью пересыхают.

Сарматское море испытывает все большую разобщенность: изолированность отдельных морских водоемов возрастает. Обособляются Средиземное, Черное, Каспийское и Аральское моря. Периодически связь между ними восстанавливается и обрывается вновь. Тогда еще не существовало Гибралтарского пролива, Босфора и Дарданелл, Эгейского моря. Европа непосредственно соединялась в ряде мест с Африкой. Некоторые из возникших изолированных бассейнов периодически полностью пересыхали. Такая участь, по мнению американского ученого К. Хсу, постигла Средиземное море. Отсутствие притока воды привело к тому, что это море постепенно усыхало, концентрация солей в нем возрастала все более и более.

По современным подсчетам получается, что ежегодно

за счет испарения Средиземное море теряет около полутора тысяч кубических километров воды. И если закрыть Гибралтарский пролив, то примерно через тысячу лет море полностью высохнет. Поэтому ничего нет удивительного, если, оказавшись в районе Средиземного моря 6—7 млн. лет назад, мы вместо него обнаружили бы огромную равнину, лежавшую на 3 тыс. м ниже уровня Мирового океана. Солнечные лучи превратили эту гигантскую чашу в знойную пустыню, поверхность которой была покрыта не песком, а каменной солью, ангидритом и гипсом.

Предполагают, что примерно 6 млн. лет назад Гибралтарский хребет, соединявший Европу и Африку, рухнул в результате сильного землетрясения. Можно представить, что воды Атлантики хлынули каскадом, которого мир не видел с тех пор. Подсчитали, что пропускная способность Гибралтарского водопада была в сто раз больше, чем у водопада Виктория и в тысячу раз больше尼亚гары. В течение ста лет наливалося Средиземное море. В конце плиоцена заливы моря вторглись в долину р. Нил, поднявшись вверх по его течению на 1200 км.

Сложную историю развития испытали и другие остаточные морские бассейны океана Тетиса. В неогеновое и антропогеновое время Черное, Каспийское и Аральское моря неоднократно меняли свои очертания, периодически трансгрессируя на сушу и отступая от нее. В антропогене возникла связь Черного моря со Средиземным через проливы Босфор и Дарданеллы, что спасло Черное море от усыхания. Наоборот, связь его с Каспием была окончательно нарушена. В настоящее время Каспийское и Аральское моря медленно, но неуклонно сокращают свою площадь. Вода, приносимая в них реками, не компенсирует испарения. Не исключено, что в будущем водные бассейны Каспия и Арала постигнет участь Средиземного моря.

Таким образом в неоген-антропогеновое время произошел окончательный распад и гибель океана Тетис. Теперь только пересыхающие внутриконтинентальные моря напоминают о некогда грандиозном океане, разделявшем Лавразию и Гондвану.

Оледенение в Европе. Равномерно теплый климат застали бы мы на земном шаре в палеогеновый период. Климатические зоны, являющиеся следствием контраста

температур между полюсами и экватором, в то время были как бы стерты за счет более высоких температур в приполярных и полярных областях обоих полушарий. Зона тропического и субтропического климата захватывала не только экваториальный пояс, но и районы Европы, Кавказа, Предкавказья, Нижнего Поволжья. Здесь в отложениях палеогена и миоцена находят остатки теплолюбивой флоры: пальм, магнолий, лавра. Далее к северу проходил умеренный пояс, включая Гренландию и Шпицберген.

Умеренный климат был характерен и для районов Аляски и Анадырского края. Здесь росли дубовые, буковые и каштановые леса. По-видимому, полярной климатической области в северном полушарии тогда вообще не существовало. Температура вод Ледовитого океана, по данным П. М. Борисова, достигала $+14^{\circ}\text{C}$, а на экваторе она была даже немного выше, чем в наши дни. Мировой океан был теплым практически по всей толще воды. Температура донных осадков в олигоцене в экваториальной зоне составляла $+10^{\circ}\text{C}$, в миоцене 7°C , а в плиоцене она достигла уже современных значений 2°C .

В палеогене и начале неогена, вероятно, не существовало пустынь. Засушливые, аридные зоны, занимавшие территорию современной Туркмении, Монголии, Египта, Испании больше напоминали африканскую саванну, чем пустыню.

Теплые климатические условия продолжались до конца миоценовой эпохи. Ничто, казалось бы, не предвещало суровых испытаний. Однако в конце миоцена началась крупнейшая депрессия мирового климата, кульминация которой наступила 18—20 тыс. лет назад.

За последние 60 млн. лет среднегодовая температура устойчиво падает (рис. 23). С эоцена по миоцен это происходило постепенно: по районам Западной Европы изменение среднегодовой температуры составило всего 7°C (с 22 до 15°C). За плиоценовую эпоху падение среднегодовой температуры составило уже 13°C (с 15 до 2°C). В антропогене наблюдается неоднократное лихорадочное чередование повышения и понижения среднегодовой температуры с общей тенденцией к ее снижению.

В антропогене мощное оледенение охватывает континенты северного полушария. В Европе центрами оледенения являлись Скандинавский п-ов и Альпы. Особенно

большие следы оставил Скандинавский ледник. Ледниковый покров охватил территорию Англии, Польши, ГДР, ФРГ, Украины, Валдая. Край ледника доходил до Волгограда, а по Днепру ледник спускался до 48° сев. широты. Периоды наступления ледника сменялись эпохами потепления, во время которых ледник отступал. На рис. 23 кривая изменения среднегодовых температур в Европе в антропогенное время имеет сильно изрезанный характер, что и соответствует чередованию ледниковых и межледниковых эпох. В Западной Европе насчитывают четыре фазы максимального оледенения: гюнц (поздний плиоцен), миндель, рисс, вюрм; в европейской части Советского Союза — три основных фазы: окскую, днепровскую и валдайскую. Максимум оледенения приходится на рисскую и днепровскую фазы.

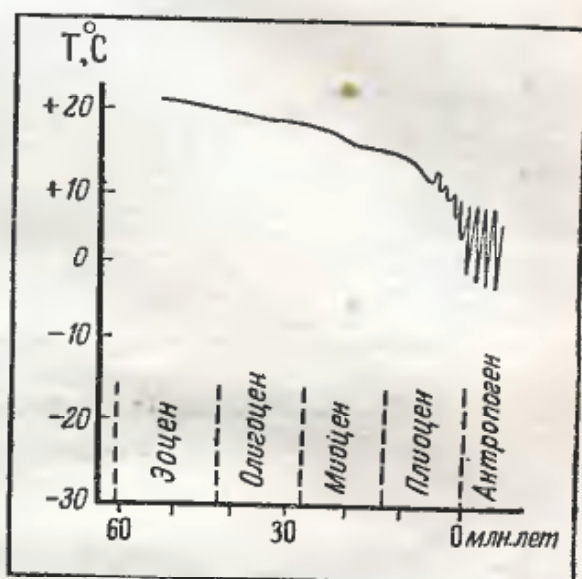


Рис. 23. Изменение среднегодовой температуры в Западной Европе за последние 60 млн. лет (по П. Вольдштедту).

Горизонтальный масштаб антропогенного времени увеличен в 10 раз для наглядности

Обширные оледенения захватили также азиатскую часть СССР и Северную Америку (рис. 24). Центры ледников располагались на Новой Земле, Таймыре, в Забайкалье и Гренландии. В Северной Америке ледник перекрыл всю северную половину континента, опускался по долине р. Миссисипи южнее 37° сев. широты, заканчиваясь в 1500 км от линии тропика.

Мощность четвертичных ледников предположительно достигала 3,5 км, а в районе Новой Земли 4 км. В это время в северном полушарии было сосредоточено до 67% площади континентальных ледников земного шара, тогда как ныне эта величина не превышает 16%. Последние примерно 10 тыс. лет приходятся на межледниковую эпоху. Границы ледников в северном полушарии



Рис. 24. Максимальное распространение льдов в северном
1 — современные области материкового льда;

резко сократились (на 91%). Материковые льды остались в Гренландии и на некоторых островах Ледовитого океана. Общая площадь их теперь не превышает 2,3 млн. км².

В ледниковые эпохи значительно усилилось планетарное похолодание, уменьшилось увлажнение материков, увеличилась континентальность. Оформились четкие границы климатических зон, сохранивших свое положение и по сей день.

Существуют различные точки зрения, объясняющие возникновение четвертичных ледников в северном полушарии. Это могло произойти в силу уменьшения притока солнечного тепла при изменении угла наклона земной оси к плоскости эклиптики. По подсчетам швейцарского ученого С. Аррениуса (1902 г.) увеличение содержания углекислоты в воздухе в три раза должно бы повысить температуру поверхности Земли на 8—9° С. Содержание последней в атмосфере ставится этим ученым в зависимость от вулканической активности, поэтому снижение ее приводит к похолоданию климата и, наоборот, усиление деятельности вулканов может вызвать потепление климата. По данным же английского климатолога Ч. Брукса, повышения температуры на поверхности Земли всего



полушарии в антропогене (по К. К. Маркову).

2 — области четвертичного оледенения

на 1°C оказалось бы достаточным, чтобы привести весь ледяной покров Антарктики в неустойчивое состояние.

Торжество млекопитающих. Благоприятные климатические условия палеогена и миоцена способствовали бурному развитию растительности и животного мира. Господство среди растений захватывают покрытосеменные. В Европе и Азии обособляется гелинденская флора с тропическими растениями (пальмы, кипарисовидные, папоротниковые), в северной части Европы распространяется листопадная (гренландская) флора — бук, дуб, платан, хвойные. С течением времени в связи с общим похолоданием климата гелинденская флора переходит во флору умеренного пояса (тургайскую), представленную березой, кленом, ольхой. В антропогене, в ледниковый период происходит сокращение лесов в северном полушарии, на смену которым приходит тундровая растительность: мхи, лишайники, карликовые деревья.

В теплых морях и океанах среди беспозвоночных животных, составляющих основу при расчленении кайнозойских толщ, распространены моллюски (пелециподы и гастроподы), кораллы (рис. 25), простейшие (нуммулиты, фораминиферы, радиолярии). Последние часто становятся пороодообразующими организмами. Так, на-

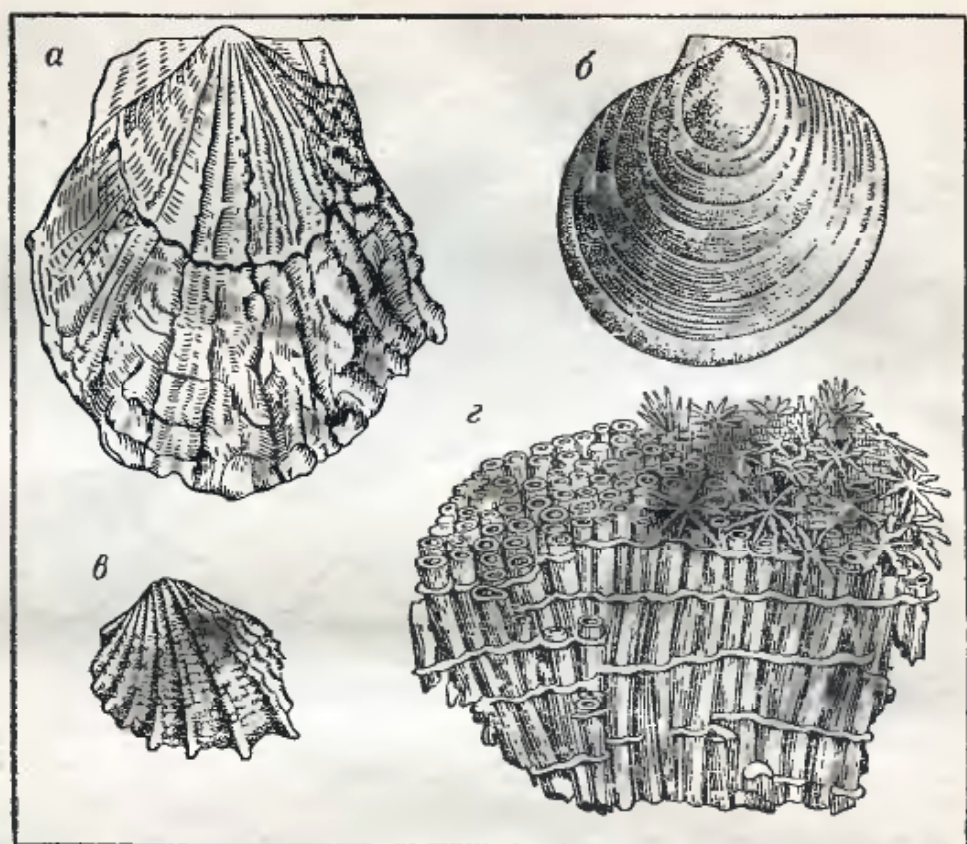


Рис. 25. Некоторые характерные представители кайнозой-ской фауны.

Пластинчатожаберные моллюски: *а* — Спондулус, *б* — Пектен денудатус, *в* — Карднум фиттони. Современный восьмилучевой коралл Тубипора (*г*)

пример, фораминиферы составляют три четверти массы океанических осадков.

К неогену количество простейших резко сокращается. В умеренных широтах развиваются диатомовые водоросли, послужившие материалом для образования опок и трепелов — характерных осадочных пород палеогена. Из хордовых широко представлены костистые рыбы, птицы, земноводные (лягушки, саламандры), пресмыкающиеся (черепахи, крокодилы, чешуйчатые).

В кайнозое активно развиваются млекопитающие. Благодаря прогрессивному разрастанию мозга, теплокровности и живорождению, они оказались наиболее жизнеспособны. Млекопитающие приспосабливаются к жизни на деревьях (приматы), в морях (китообразные и ластоногие), к полету в воздухе (летучие мыши). Кайнозой — время торжества млекопитающих.

Для палеогена характерны клоачные, сумчатые, и примитивные плацентарные млекопитающие: насекомоядные, лошадиные, хоботные, древние хищники (индрикотериевая фауна). В неогене расцвета достигают плацентарные млекопитающие: хищные, травоядные и приматы. Появляются медведи, мастодонты, носороги, быки, человекообразные обезьяны, а в конце неогена — слоны, гиппопотамы, гиппарионы и настоящие лошади (гиппарионовая фауна).

В четвертичное время животный и растительный мир приобретает современный облик. Важные изменения происходят в антропогене: вымирают многие представители гиппарионовой фауны, на смену им приходят животные, приспособившиеся к жизни в холодных тундрах и лесостепях, возникших в результате плейстоценовых оледенений в Европе. Это большерогие и благородные олени, волосатые носороги, зубры, мамонты, туры, медведи.

Выдающимся событием антропогенового периода является появление человека, решающим образом повлиявшего на дальнейшую эволюцию жизни на Земле. По мнению американских ученых П. Мартина из Аризонского университета и Г. Крапца из Университета Беркли, исчезновение крупных млекопитающих (мамонтов, бизонов, носорогов) и крупных птиц (моа, динорнис) в четвертичное время явилось делом рук человека. Ученые полагают, что человек непосредственной охотой на животных и своей деятельностью воздействовал на некоторые чувствительные узлы эволюции органического мира, нарушил экологическое равновесие до такой степени, что конечный результат оказался весьма плачевным.

Вымиранию гигантских птиц на Мадагаскаре и Новой Зеландии способствовали земледельцы. Такое же роковое влияние, по мнению английского ученого Клоудсей-Томпсона, оказала римская цивилизация на развитие животного и растительного мира Сахары. Корчевание лесов, земледелие и животноводство привело 4 тыс. лет назад к изменению климата Северной Сахары в сторону его засушливости. Исчезли водоемы, леса и возникли пустыни. Еще 6 тыс. лет назад на месте крупнейшей современной пустыни мира водились влаголюбивые гиппопотамы!

Человека называют царем природы, но свое царство-

вание он должен осуществлять разумно и мудро, не забывая, что сам он — часть этой природы.

2 секунды человечества. История человека насчитывает около 2 млн. лет; в нашем волшебном кинофильме — это всего 2 секунды! Однако их оказалось достаточно для захвата человеком безраздельного господства на Земле и в околоземном космическом пространстве. Остановим волшебное кино и в замедленной съемке посмотрим появление и развитие человека.

Появлению человека предшествовала длительная эволюция приматов, напоминавших по внешнему виду обезьян и явившихся общими предками современных человекообразных обезьян и человека. У. Хауэлс (профессор антропологии Гавардского университета) в качестве такого общего прародителя называет дриопитека, обитавшего около 20 млн. лет назад в Европе, Индии, Китае и напоминавшего человекообразную обезьяну. Из группы дриопитека примерно 12 млн. лет назад выделяется рамапитек — первый предок человека. По внешнему виду он больше походил на обезьян, но уже имел некоторые признаки человека.

Первый гоминид (австралопитек) был обнаружен в Южной Африке в 1924 г. Он жил 4—1,5 млн. лет назад. Австралопитек (т. е. «южная обезьяна») уже миновал основную веху в своей эволюции. Подобно человеку, австралопитек мог быстро передвигаться по открытой местности, опираясь на стопу при прямом торсе. Вместе с остатками австралопитека в отложениях близ оз. Рудольфа в Кении обнаружены примитивные каменные орудия: речные гальки, заостренные 5—8 сколами. Возраст этих орудий 2,6 млн. лет.

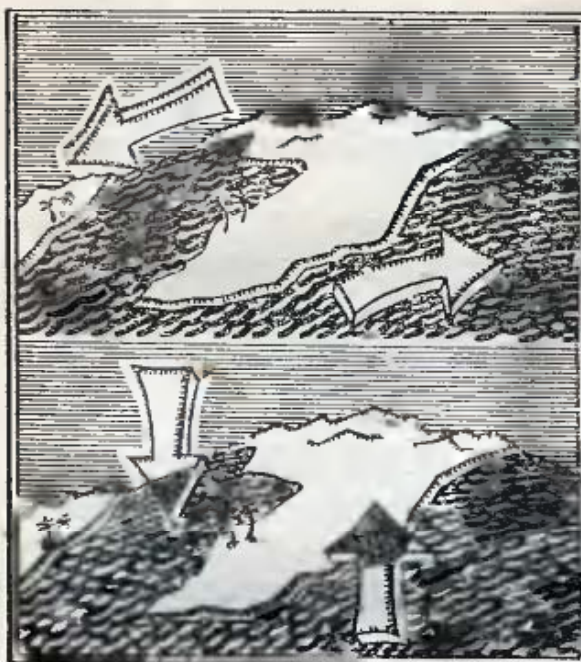
Следующим важным шагом на пути развития человека является появление человека выпрямленного (*Homo erectus*) около 1 млн. лет назад. С этого момента появляется новый род у приматов — «Номо», констатирующий новые отличительные качества и знаменующий появление человека. Ряд антропологов (например, Р. Лики) считают первым человеком уже некоторых австралопитеков, присваивая им имя «человека умелого» (*Homo habilis*). Человек выпрямленный умел пользоваться огнем и создал первые настоящие ручные рубила (аббевильская культура). 250 тыс. лет до н. э. Европу населял ранний *Homo sapiens* («человек разум-

ный») — это был наиболее древний представитель человека современного вида. Режущие орудия человека разумного были единообразны, хорошо обработаны, им придавалась форма, близкая к простейшим геометрическим формам (ашельская культура).

В период 150 000—35 000 лет Европу, Африку, Азию заселяют неандертальцы — более высокоорганизованные представители рода Homo. Неандертальцами создаются разнообразные кремневые орудия, изготовлявшиеся с применением ретуши, что знаменовало собой большой технический прогресс (мустьерская культура).

Дальнейшая история эволюции человека не совсем ясна. По мнению одних ученых, неандертальцы совершенствовались и далее; другие же антропологи считают, что примерно 35 тыс. лет назад неандертальцы были вытеснены людьми современного физического склада, практически не отличавшимися от сегодняшних европейцев, разве что более крепким телосложением. Эти люди, получившие название кроманьонцев, захватили Европу, Африку, Китай. Их черепа удивительно похожи на черепа современных людей и значительно отличаются от черепа неандертальцев. С последними их роднят лишь массивный надглазый валик, да крупные передние зубы.

Кроманьонцы владели каменными орудиями (копьями, молотками, ножами) и были хорошо приспособлены к борьбе за существование. Считают, что они были непосредственными предками современного человека. Дискуссионным вопросом является появление различных рас: то ли все они имеют общего предка (моноцентрическая гипотеза), то ли современные расы происходят от различных предковых линий (полицентрическая гипотеза). Ясно одно: с появлением кроманьонцев окончательно оформился человек, который за последние 35—40 тыс. лет практически не претерпел физиологической эволюции. Дальнейшее развитие человека идет уже по пути технического прогресса, по пути совершенствования орудий труда. Главной движущей силой эволюции человека была его трудовая деятельность в условиях общества, которое не может существовать без речевого общения. Таким образом, известное положение — труд создал человека — является ключом к пониманию дальнейшей эволюции человека.



ИТОГИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ



Каждое путешествие с научными целями требует последующего осмысления. Попробуем и мы подвести итоги путешествиям в прошлое Земли и наметить основные закономерности в геологической истории нашей планеты. Наиболее характерными, пожалуй, являются: эволюционная направленность, частичная повторяемость геологических событий и сокращение длительности геотектонических этапов.

Эволюционная направленность развития Земли на протяжении последних 2—3 млрд. лет выражается в закономерном увеличении территории устойчивых платформенных областей и в сокращении площади подвижных геосинклиналей. Начиная с конца архейской эры, с момента возникновения первых эпиархейских протоплатформ, геосинклинали неуклонно переходят в платформы: в конце раннего протерозоя вокруг протоплатформ образуются эпикарельские платформы, в конце позднего протерозоя они «обрастают» эпибайкальскими, а далее эпикаледонскими, эпигерцинскими платформами и мезозоидами.

Современная тектоническая карта континентов хорошо иллюстрирует центробежное разрастание платформ из некоего центра к периферии (рис. 26). Такими центрами обычно являются эпиархейские протоплатформы. По мере движения от этих своеобразных ядер консоли-

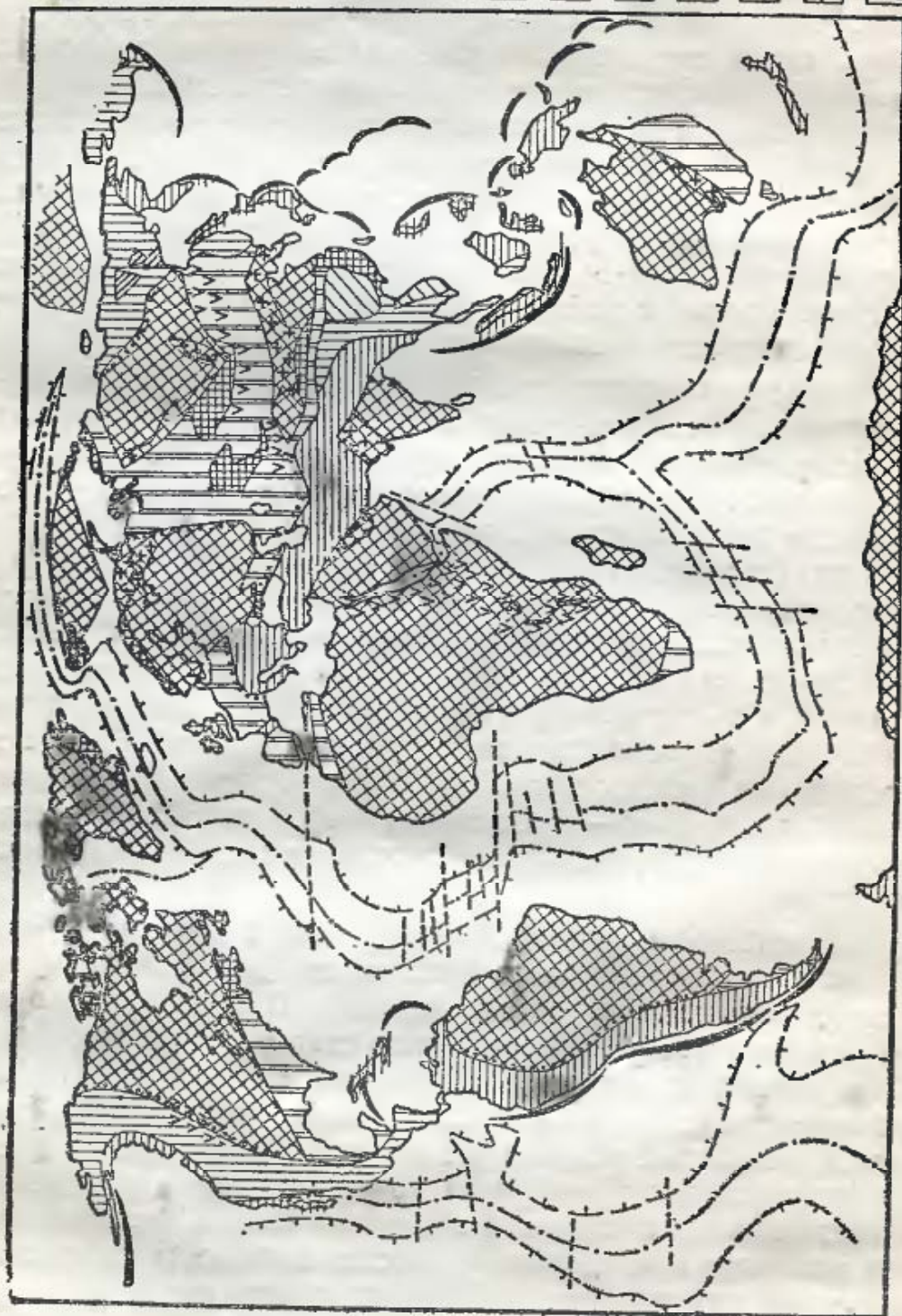
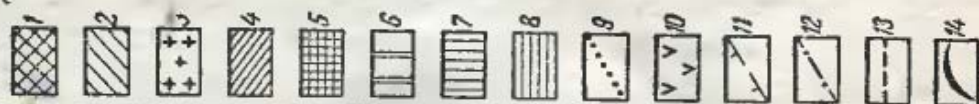
дации к периферии отмечается омоложение возраста складчатых зон. Одновременно происходит рост континентов, увеличение их площади и сокращение морских пространств земного шара, в пределах которых, как правило, развивались геосинклинали.

С течением времени всеобщая подвижность земной коры, столь характерная для начальных этапов геологической жизни, сменяется избирательной подвижностью, которая сосредоточивается в пределах геосинклиналей, объединяющихся в протяженные мобильные пояса. Эволюционная направленность в развитии литосферы приводит к усложнению ее строения, к увеличению объема коры за счет нарастания гранитного и осадочного слоев, к усилению контраста между платформенным и геосинклинальным режимами.

Частичная повторяемость геологических событий — закономерность развития Земли, предусматривающая обратимость тектонических процессов. В эпохи диастрофизма наряду с образованием горноскладчатых систем на месте геосинклиналей имела место и частичная деструкция (переработка) ранее существовавших платформенных массивов земной коры и заложение на них новых геосинклинальных поясов. Таким образом происходило частичное разрушение континентов и новообразование океанов. По образному выражению В. Е. Хаина, путем обновления и перестройки структуры земной коры осуществлялся «тектонический круговорот» (геосинклиналь — платформа — геосинклиналь), подобно хорошо изученным в природе круговоротам воды, кислорода или углерода.

Периодическая смена трансгрессий и регрессий моря также может служить указанием на определенную повторяемость геологических событий. В последнее время эта особенность развития Земли ставится под сомнение. В частности, академик А. Л. Яншин считает, что четкой одновременности в развитии планетарных морских трансгрессий или регрессий не существует. По-видимому, эта периодичность не имеет глобального масштаба и может быть прослежена в пределах одного или нескольких континентов, отражая неравномерность развития геологических процессов на разных материках.

Третьей важной особенностью развития Земли является сокращение длительности геотектонических эта-



пов — этапов, завершающихся образованием новых платформ. Продолжительность архейско-раннепротерозойского и средне-позднепротерозойского этапов по 1500 ± 100 млн. лет, раннепалеозойского, позднепалеозойского и мезозойского этапов — по 170 ± 10 млн. лет, а кайнозойского этапа — менее 70 млн. лет. С уменьшением длительности геотектонических этапов возрастают темп и дифференцированность тектонического развития земной коры. Возможным объяснением сокращения длительности геотектонических этапов может быть предположение о медленном истощении энергетических ресурсов недр нашей планеты.

Таким образом, развитие земной коры — эволюционно направленный процесс, обладающий частичной повторяемостью событий и характеризующийся прогрессивным ускорением геотектонических процессов.

В лесу гипотез. Теперь мы подошли к сакраментальному вопросу современной исторической геологии: что же управляет геологическими процессами? Почему возникают геосинклинали и платформы? Каковы причины тектонического развития Земли?

Современная геология пока не может дать однозначного ответа на поставленные вопросы. Универсальной, научно доказанной теории о причинах геотектогенеза сегодня не существует. Имеются отдельные гипотезы, пытающиеся это объяснить, но каждая из них пока еще далека от совершенства. Если бы мы попытались перечислить все известные гипотезы и кратко рассмотреть их, то просто заблудились бы в этом своеобразном лесу гипотез. Чтобы этого не произошло, ограничимся только основными современными представлениями, сгруппировав их авторов в два лагеря: фиксистов и мобилистов.

Фиксисты привлекают для объяснения развития Зем-

Рис. 26. Схема современной региональной тектоники континентов.

1 — докембрийские платформы; 2 — докембрийские срединные массивы — осколки платформ, сохранившиеся после их деструкции; 3 — эпибайкальские области докембрийских платформ; 4 — некоторые байкальские (?) срединные массивы; 5 — каледониды; 6 — герциниды; 7 — мезозонды; 8 — альпиды; 9 — переходные прогибы различного возраста; 10 — области эпиплатформенной активизации; 11 — границы основных горных хребтов океанического дна (срединно-океанические хребты); 12 — рифтовая долина; 13 — некоторые разломы, смещающие рифтовую долину (трансформные разломы); 14 — глубоководные желоба, возникшие над зонами субдукции, где, по мнению мобилистов, происходит «заталкивание» океанических пластин литосферы под континенты

ли вертикальные движения, практически отрицая возможность проявления сколь-нибудь значительного горизонтального перемещения отдельных глыб литосферы. Одни фиксистские гипотезы решающую роль отводят восходящим вертикальным движениям (гипотезы поднятий, осцилляционная, ундационная, астенолитная, радиомиграционная, расширяющейся Земли, глубинной дифференциации), другие — нисходящим движениям (контракционная гипотеза); третьи предусматривают сочетание восходящих и нисходящих движений, проявляющихся периодически (пульсационная гипотеза).

Наиболее хорошо обоснованной фиксистской гипотезой является гипотеза глубинной дифференциации, развиваемая у нас в стране В. В. Белоусовым, Е. В. Артюшковым, Ю. М. Шейнманном и другими, а за рубежом — голландским геофизиком Р. Ван-Беммеленом. В основе гипотезы лежит представление о дифференциации вещества мантии, приводящее к образованию пологих вздутий в теле верхней мантии.

Член-корреспондент АН СССР В. В. Белоусов считает, что дифференциация мантии происходит в астеносфере под влиянием радиогенного тепла. Расплавленный материал в виде крупных тел (астенолитов) поднимается вверх до подошвы земной коры, вызывая ее расплавление и образование геосинклиналей — тектонически активных зон, характеризующихся интенсивным вулканизмом.

Р. Ван-Беммелен допускает разуплотнение и расширение мантийного материала в низах мантии и образование «вздутий» (мегаундаций), приводящих к поднятию верхней мантии и коры. Это обуславливает растрескивание коры и даже верхней мантии и соскальзывание пластин литосферы с образующихся поднятий, что ведет к раздвижению коры и возникновению океанов. В этой гипотезе предусматриваются и проявления горизонтальных движений, подчиняющихся вертикальным.

В последние годы Е. В. Артюшковым была высказана идея о возможном разделении вещества нижней мантии на легкий силикатный материал, который как бы всплывает вверх, и тяжелый материал, «стекающий» вниз и образующий ядро. Эта мысль нашла поддержку в работах Ю. М. Шейнманна и О. Г. Сорохтина. Под действием легкого дифференциата, поднимающегося из

низов мантии, подошва литосферы образует пологие, но зато широкие вздутия, индуцируя проявления вертикальных движений.

Мобилисты, начиная с А. Вегенера, объясняют все тектонические процессы, протекающие на земном шаре, горизонтальным движением жестких пластин литосферы. Вертикальные движения, по мнению мобилистов, имеют подчиненное значение и являются производными от горизонтальных. Заложение геосинклиналей происходит в зонах раздвигов коры, а горноскладчатые области возникают при столкновении жестких пластин и смятии осадочно-магматических геосинклинальных осадков в складки. «Мотором», приводящим в движение отдельные глыбы литосферы, по мнению одних ученых, являются растаскивающие усилия, возникающие при вращении Земли, тогда как другие видят его в конвекционном движении подкорового мантийного вещества.

Несколько обособленно от этих «классических» гипотез стоит ротационная гипотеза, объясняющая причины геотектогенеза не внутренними, а внешними силами, возникающими при изменении угловой скорости вращения планеты. При уменьшении скорости возрастает шарообразность, а при увеличении скорости — эллипсоидальность Земли. Деформации, которые испытывает при этом земной шар, наиболее интенсивно проявляются в районе 35-х параллелей, названных критическими. Поскольку, как полагают сторонники ротационной гипотезы, меняется во времени положение оси вращения Земли, то меняется и положение критических параллелей, что приводит периодически к тектоническому оживлению различно ориентированных структур.

В начале 60-х годов появляются работы европейских и американских ученых (Г. Хесса, Р. Дитца, З. Ле Писсона, В. Моргана и многих других), давшие толчок к появлению неомобилистской гипотезы, получившей сейчас наиболее широкое распространение и названной «новой глобальной тектоникой», или «тектоникой плит». У нас в стране эти взгляды развиваются в трудах А. В. Пейве, П. Н. Кропоткина, В. Е. Хаина, Л. П. Зоненшайна. В основу гипотезы положены новые данные по изучению геологии дна Мирового океана, остаточного магнетизма пород и установление факта перемещения континентальных пластин относительно друг друга.

Движутся ли материки? Некоторые данные об увеличении расстояния между Северной Америкой и Европой, Южной Америкой и Африкой приведены нами выше. Вспомним хотя бы особенности изменения возраста островов Атлантического океана. Однако впервые научные факты о разрастании дна океанов были получены палеомагнитологами — учеными, изучавшими остаточную намагниченность горных пород.

Еще в середине XIX в. было обнаружено, что вулканические породы Этны обладают остаточной намагниченностью. Такая намагниченность возникает, когда лавы находятся в жидком состоянии. Железосодержащие минералы при температуре лавы 600°C ориентируются вдоль существующих силовых линий магнитного поля Земли. В дальнейшем, при остывании лавы, эта ориентация сохраняется. Установили также, что железистые минералы приобретают ориентировку и при осаждении их из водной среды. Следовательно, не только магматические, но и некоторые осадочные породы (например, песчаники, глины) обладают остаточным магнетизмом. Изучая эти свойства пород Северной Америки и Европы, ученые установили, что положение магнитного полюса менялось на протяжении последних 70—100 млн. лет. Так как, очевидно, сам полюс оставался более или менее на одном месте, то сделали вывод о том, что мигрировали материки.

В 1959 г. были получены весьма интересные данные о характере распределения магнитных аномалий на дне океанов. Было обнаружено, что магнитные аномалии располагаются не беспорядочно, а образуют узкие и длинные полосы относительно высоких и относительно низких значений магнитного поля. Полосы идут параллельно гигантской трещине, рассекавшей дно всех современных океанов (рифтовой долине), и образуют симметричную картину по обе стороны от нее (рис. 27). Английские океанографы Ф. Вайн и Д. Мэтьюз в 1963 г. объяснили происхождение такого «зебroidного» узора океанического дна тем, что глубинные магматические породы постоянно внедрялись вдоль рифтовой долины, расталкивая пластины литосферы и отодвигаясь в стороны по мере поступления из недр новых порций расплавленных пород. Происходило, таким образом, расползание (спрединг) дна океана и раздвижение конти-

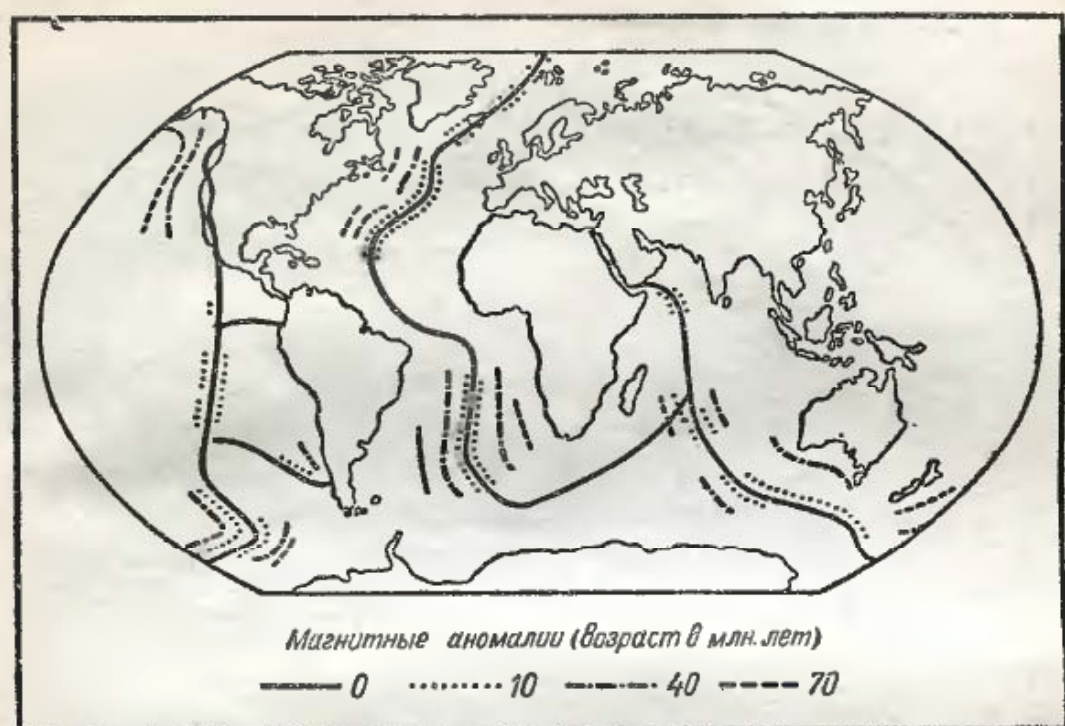


Рис. 27. Карта магнитных аномалий океанического дна, установленных к 1969 г. (по Д. Тарлинг и М. Тарлинг, 1973)

нентов. Была вычислена скорость этого процесса, она составила в разных местах от 2 до 12 см/год.

В конце 60-х годов бурением было установлено, что по мере удаления от рифта возраст основания осадочного слоя закономерно одревняется, т. е. на сравнительно молодые, новообразованные участки океанического дна ложатся более молодые осадки.

На континентах современной геофизической аппаратурой установлено изменение расстояния между двумя точками земной поверхности. Как уже указывалось, советскими учеными, например, выявлено сближение хребтов Гиссарского и Петра I со скоростью до 20 мм в год.

Казалось бы, горизонтальное перемещение крупных блоков литосферы доказано, и движение материков не вызывает сомнений. Сторонники «новой глобальной тектоники» считают, что вся литосфера состоит из нескольких подвижных жестких пластин, в которые как бы впаяны континенты (рис. 28).

Причину, вызывающую дрейф этих пластин, большинство исследователей видят в конвекционном движении мантийного вещества. В подошве мантии оно на-

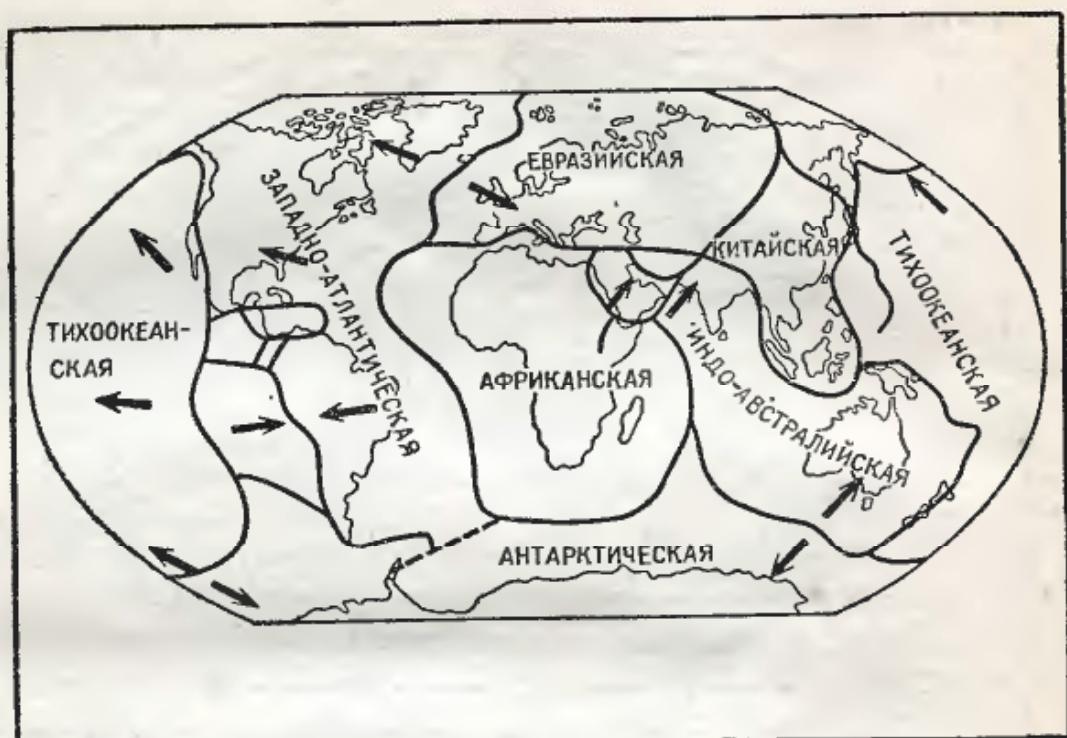


Рис. 28. Структура литосферы в представлении сторонников гипотезы «новой глобальной тектоники».

Жесткие пластины, перемещаясь вызывают развитие горноскладчатых зон и других структур Земли. Стрелками показано возможное направление их движения

ходится в более нагретом состоянии, чем в ее кровле. Разница температур обуславливает движение мантийного материала вверх, что порождает возникновение восходящего потока. Достигая подошвы литосферы, горячее вещество мантии расходится в стороны, разрывая литосферу и растаскивая возникшие при этом плиты. В зоне раздвига закладываются геосинклинали.

Остывая, глубинное вещество опускается вниз, образуя нисходящие ветви конвекционного потока. Там, где они сходятся, жесткие пластины сталкиваются, происходит укорачивание земной коры, одна пластина как бы заталкивается под другую. Возникают глубоководные океанические желоба и островные дуги. В этих местах геосинклинали достигают своей зрелости и на их месте образуются горноскладчатые системы.

Гипотеза «тектоники плит» необычайно быстро завоевывает популярность. Некоторые видят в ней универсальное объяснение причин геотектогенеза. Однако буквально в последние годы усиливается критика основ этой гипотезы. Наиболее существенные замечания сво-

дятся к следующему. Рассматривая строение верхней мантии Земли, мы отмечали разделение этой геосферы на несколько слоев. Очевидно, если бы существовали конвекционные движения, то вещество верхней мантии неизбежно бы перемешалось, и ее расслоенность должна была бы исчезнуть. Кроме того, материал мантии находится в твердом состоянии (за исключением астеносферы). Это плотное, маловязкое вещество, конвекционное движение которого, т. е. перемещение более нагретого материала снизу вверх, трудно себе представить. Не следует также забывать, что породы низов мантии в 2—3 раза тяжелее пород верхней ее части.

Серьезным аргументом, направленным против гипотезы «тектоники плит», является существование консервативных структур литосферы, длительно и унаследованно развивающихся на одном и том же месте. К таким структурам относятся прежде всего глубинные разломы. Наиболее крупные из них прослеживаются как по дну океанов, так и на континентах. Например, как указывает В. Е. Хаин, одна из крупнейших зон глубинных разломов пересекает дно Тихого океана в районе Галапагосских островов, проходит вдоль течения р. Амазонки, вновь переходит на дно океана (уже Атлантического) и достигает побережья Африки в районе Гвинейского залива. Предполагается также, что этот разлом через весь Африканский континент доходит до Аденоского залива и далее проходит в Индию.

Другая зона глубинного разлома, имеющая такой же транзитный характер, прослеживается в субмеридиональном направлении из Индийского океана, где она выражена хребтами Чагос, Мальдивским и Лаккадивским, через Памир, через всю Западно-Сибирскую низменность до Северного Ледовитого океана, на дне которого этот глубинный разлом намечается в виде желоба св. Анны. Существование таких протяженных структур никак не укладывается в рамки гипотезы «тектоники плит». Перемещение пластин литосферы неизбежно привело бы к нарушению трассы глубинных разломов, их разрыву и смещению.

Ставится под сомнение и возможность «подныривания» пластин литосферы друг под друга. Хотя геофизикой и установлены вдоль побережья Тихого океана поверхности, наклонно уходящие под континент с образо-

ванием глубоководных желобов, но объяснение этому может быть дано иное. Некоторые ученые считают, что в этой своеобразной наклонной зоне происходит дифференциация вещества мантии. Легкие компоненты поднимаются вверх, вызывая землетрясения, а иногда и извержения вулканов.

Если бы процесс поддвигания пластин под континент действительно происходил, то в глубоководных желобах мы должны были бы наблюдать хаотическое нагромождение осадочных толщ. По подсчетам сахалинского ученого П. Сычева мощность такой беспорядочной толщи осадков достигла бы 18 км и более. На самом же деле в районе глубоководных желобов осадки залегают спокойно, практически горизонтально, и мощность их не превышает 1 км, лишь в редких случаях достигая 4 км.

Подвергаются критике и другие положения «глобальной тектоники плит»: объяснение полосовых аномалий океанического дна, возможность горизонтального перемещения пластин литосферы на сотни и тысячи километров, и т. д. Значит, континенты двигаться не могут? Как же тогда быть с установленными фактами перемещения друг относительно друга различных точек земной поверхности? В конце концов, движутся материки или нет?

А нельзя ли допустить, что расстояние между точками поверхности Земли может меняться, но не за счет перемещения пластин литосферы, а за счет увеличения объема планеты или, наоборот, сокращения ее объема? Более того, нельзя ли предположить, что на Земле в разных ее частях одновременно происходит увеличение или уменьшение объема вещества мантии? А может быть, в одни эпохи геологической истории преобладали тенденции к расширению недр, а в другие эпохи — тенденции к сжатию? Наконец, следует, очевидно, признать, что на разных стадиях развития нашей планеты могли преобладать различные процессы, т. е. существует много причин тектогенеза.

Обилие вопросов и предположений — вот что характерно для современного состояния проблемы, объясняющей причины геологического развития Земли. Чем больше познают геологи, тем больше возникает неразрешенных задач, тем большее количество тайн открывается вновь. Разгадка их — дело будущего.



50 МЛН. ЛЕТ ВПЕРЕД



Итак, в свете новых данных можно предполагать, что преобразование лика Земли происходит за счет горизонтального перемещения жестких пластин литосферы, которые к тому же испытывают существенные вертикальные движения: одни блоки поднимаются, а другие претерпевают опускание. Эти сложные тектонические движения, природа которых еще далеко неясна, приводят к росту горных стран, к трансгрессии и регрессии океанов. В тесной взаимосвязи с геологическими событиями находятся и география планеты, и ее климат. Это в свою очередь влияет на развитие органического мира. Путешествуя в прошлое Земли, мы наблюдали образование ее как планеты, возникновение атмосферы и гидросферы. Континенты на наших глазах меняли свои очертания, вереница самых различных животных и растений от бактерий до человека прошла перед нами. Сейчас мы видим Землю лишь на одной из стадий ее развития. Это далеко не окончательная картина. Планета меняется: меняется соотношение материков и океанов, происходит смена климатов, необратимые изменения захватили и природу. Для характеристики эволюции планеты можно использовать истину, заключенную в старой пословице: «одна из наиболее постоянных черт мира — это изменение». В этом процессе важную, а подчас роковую роль играет и человек, т. е. мы с вами. Чтобы правильно понять возможную нашу позицию в

настоящем и будущем Земли, совершим еще одно воображаемое путешествие, но уже не в ее прошлое, а в будущее. Перенесемся на 50 миллионов лет вперед...

Геологическую и географическую картину столь отдаленного будущего сейчас чрезвычайно трудно себе представить, даже используя весь арсенал современной геологической науки. Будем исходить из того, что жесткие плиты литосферы в будущем продолжают свое перемещение относительно друг друга примерно в тех же направлениях, в которых движутся они и в наши дни. Практически невозможно учесть влияние вертикальных движений на географию континентов и океанов далекого будущего. Трудно предвидеть роль различных астрономических процессов, безусловно влияющих на развитие Земли. С учетом высказанных допущений отправимся в последнее наше путешествие, которое будет носить скорее научно-фантастический, чем научный характер.

Исчезнет ли Средиземное море? Вопрос не праздный. Научные данные говорят, что скорее всего так и произойдет. Геологические события будущего в значительной степени изменят и географию планеты. Допустив, что перемещение пластин литосферы, столь характерное для последних 100—200 млн. лет, будет продолжаться и в дальнейшем, мы получим следующие результаты.

Австралия переместится к северу, сгребая, подобно бульдозеру, острова Новую Зеландию, Калимантан, Сулавеси, Суматру, Лусон и другие, подталкивая их к юго-восточной оконечности Азии. Жесткая индийская плита усилит свой натиск на Центральную Азию, вздыбливая еще больше горы Гималаев, Тибета, Тянь-Шаня и Памира.

Северная Америка и Европа будут расходиться со скоростью 1—4 см в год, и за 50 млн. лет ширина Атлантического океана увеличится на 500—1000 км. Южная Америка слегка продвинется к северо-западу и приблизится к Северной. По глубинному разлому Сан-Андреас Калифорнийский п-ов будет мигрировать к северо-западу и, вероятно, оторвется от континента, между ними образуется вначале широкий океанический пролив, а затем Калифорния приобретет положение самостоятельного острова, наподобие Мадагаскара.

Двигаясь на север, Африка постепенно сузит Среди-

земное море. Извержения вулканов в нем и мощные землетрясения, терзающие Италию, Грецию и Турцию, — это содрогание недр Земли при столкновении глыб литосферы. Некоторые ученые считают, что Африканская плита погружается под Евро-Азиатский материк. Угол наклона ее составляет до 35° (Эгейское море), а в районе Липарских островов достигает 58° . В результате постепенного сжатия на дне Средиземного моря в будущем образуются складки, которые вырастут в горные хребты. Существующие Альпы и Атлас поднимутся еще выше. Возникнет единая горная страна. Средиземное море распадется на ряд изолированных морских озер и со временем может окончательно пересохнуть.

Существенные изменения претерпит, по-видимому, Африканский материк. В восточной части Африки произойдет раскол материка по Великим Африканским разломам. Уже сейчас с помощью специальных приборов выявлено неуклонное расширение этих глубинных трещин Земли. За год ширина трещин увеличивается на несколько сантиметров. За 50 млн. лет сантиметры сложатся в сотни километров, и Африка потеряет свою восточную часть. Мадагаскар отойдет еще дальше от континента, и здесь возникнет целый архипелаг крупных островов. Наиболее стабильное положение будет, вероятно, у Европы, Азии и Антарктиды (рис. 29).

Расширение испытывают Красное море и Аденский залив. Через них Индийский океан может соединиться со Средиземным морем, подготовив ему путь для отступления. Размеры Атлантического и Индийского океанов возрастут, тогда как экватория Тихого океана, вероятно, сократится. Появятся новые океаны или, во всяком случае, моря.

География Земли осложнится также морскими трансгрессиями и регрессиями. Воды Атлантики, перехлестнув дамбы, затопят значительную территорию Западной Европы. Набегам северных морей, вероятно, подвергнутся тундры Европы и Азии. Скандинавия, наоборот, еще больше вырастет из моря, увеличив высоту скалистых берегов своих фиордов.

Прогноз погоды на третье тысячелетие. Геологические процессы протекают сравнительно медленно, поэтому ощутимо они заметны лишь через миллионы лет. Климат же меняется значительно быстрее, в связи с чем

Рис. 29. Гипотетическая карта мира, которую мы смогли бы наблюдать через 50 млн. лет.

Пунктиром показаны возможные положения некоторых материков и крупных островов Земли в будущем



ограничимся рассмотрением возможных климатических изменений в рамках третьего тысячелетия нашей эры.

Чтобы правильно понять тенденцию изменения климата в будущем, оглянемся немного назад и посмотрим, были ли колебания климата в прошедшие столетия, и если да, то в какую сторону. Оказывается, в недалеком прошлом, судя по районам Северного полушария, происходила неоднократная смена теплых и холодных климатических волн.

Всего 2 тыс. лет назад нынешние пустыни Северной Африки снабжали пшеницей всю Южную Европу. В середине VII в. полинезийцы на своих примитивных суденышках заплывали в антарктические полярные широты. В эпоху викингов (несколько столетий назад) Северный Ледовитый океан был практически свободен ото льда. На юго-западе Гренландии существовали колонии скандинавов с высоким уровнем скотоводства. В этих районах обнаружены остатки примерно трехсот поселений, двух монастырей и многочисленных церквей. В это же время было зафиксировано резкое сокращение горных ледников в Альпах. В Англии цвел виноград, а пшеницу выращивали даже на севере Норвегии.

Примерно с XIII в. начинается похолодание. Обезлюдели колонии викингов, сократилась площадь пашен и пастбищ в Европе. Разрастаются арктические пустыни и ледники, паковый лед заполняет арктические моря. Похолодание спускается далеко к югу. Иссушаются африканские саванны и степи, климат делается континентальнее.

Начиная с 1920 г. намечается новая волна потепления. Всепланетная среднегодовая температура к 1940 г. возросла на $0,6^{\circ}\text{C}$. Если в 1893—1896 гг. норвежский «Фрам» дрейфовал в Арктике при толщине льдов 3,5 м, то уже в 1938—1940 гг. наш «Седов» был впаян во льды, толщина которых едва превышала 2 м. За это время общая площадь льдов сократилась на 1 млн. км², а общая масса льда в Арктическом бассейне снизилась вдвое. Расширился навигационный период в Гренландском море, вокруг Шпицбергена плавали 9 месяцев, вместо трех. Начали отступление ледники Исландии, Швеции и Норвегии. Площадь альпийских ледников сократилась на 25%. Гренландские ледники обнажили земли, где в XII в. были поселения и могильники норманских колонистов.

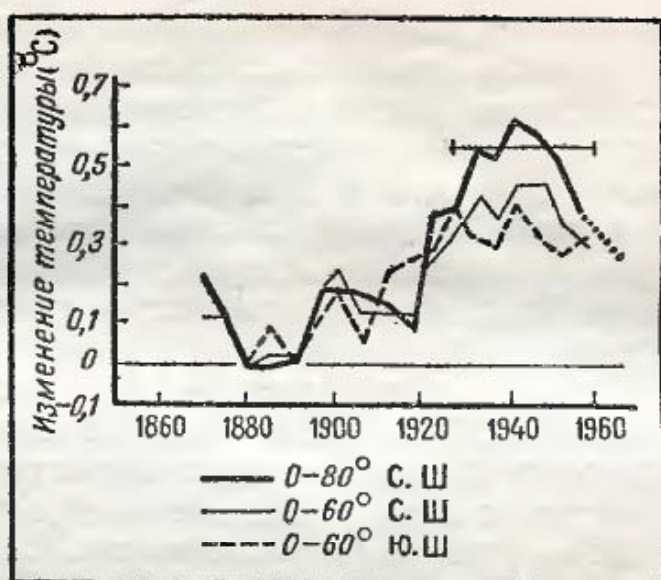


Рис. 30. Изменение температуры на нашей планете за последние 100 лет («Сайенс ньюс», Вашингтон)

Повсеместно отмечалось повышение снеговой линии. В горах Перу, например, она поднялась на 900 м.

Но вот пришел суровый 1940 г. Сильные зимы 1939, 1940 и 1941 гг. отметили новую волну похолодания. За последующую четверть века среднее понижение температуры на всей Земле составило $0,2^{\circ}\text{C}$ (рис. 30). Ледовитость в Арктическом бассейне неуклонно возрастает, увеличивается и площадь горных ледников. Пернатые обитатели Арктики спускаются к югу во время зимовий, леса сокращают свои пространства под натиском тундры. Изменения в климате за последние годы захватили и теплые районы Ближнего Востока, Африки, Индии. Резко уменьшилось количество осадков. 1973 г. ознаменовался жестокой засухой, охватившей центральные районы Африки от Судана до Мавритании. Английский метеоролог Д. Уинстенли объясняет эту засуху смещением к экватору пояса муссонов. В Центральной Африке, в Индии количество осадков в 1970 г. сократилось почти на половину по отношению к 1957 г. В некоторые районы муссонные дожди не приходят уже четыре года подряд. Южная граница Сахары продвигается к югу со скоростью до нескольких километров в год. В то же вре-

мя в Северной Африке и на Ближнем Востоке отмечается возрастание осадков.

Чередование волн холода и тепла было доказано учеными и для районов Антарктиды. 14 тыс. лет назад здесь началось резкое потепление. Через четыре тысячелетия климат стабилизировался, а в интервале 9—6 тыс. лет назад новое потепление захватило самый южный материк планеты. Минуло еще два тысячелетия, и наступил новый холодный период, продолжавшийся около десяти веков. После небольшого смягчения во втором веке нашей эры на Антарктиду обрушилась очередная волна холода, которая несколько спала в VII в. Сопоставление этих данных с материалами по северному полушарию свидетельствует о синхронности событий. По-видимому, изменения климата то в сторону его потепления, то в сторону похолодания носят более или менее одновременный глобальный характер. Некоторые ученые-климатологи предполагают, что сейчас мы живем в «эпоху малого оледенения». Однако холодная волна, накатившаяся на нас в 40-х годах текущего столетия, уже начинает спадать.

Если внимательно разобраться в этих колебаниях климатического маятника, то вырисовывается определенная закономерность: период колебаний составляет около 90 лет, на фоне которых происходят и более мелкие колебания, периодом в 40 и 25 лет. Исходя из этой особенности, можно уже наметить возможные изменения в климате Земли в ближайшие десятки и даже сотни лет.

По мнению Л. Булыгина, П. Борисова и других отечественных климатологов, с конца XX в. (80—90-е годы) следует ожидать очередную «оттепель». Улучшение климатических условий захватит и начало третьего тысячелетия. Потепление вызовет, вероятно, увеличение осадков в районах Средней Азии; в Поволжье, на Дону и в Восточной Украине осадки уменьшатся, что повысит вероятность засух. Перенесясь в начало XXI в., мы увидели бы постепенное освобождение ото льдов Арктического бассейна. Увеличится интенсивность таяния материковых ледников Гренландии, Новой Земли, Скандинавии, что в свою очередь приведет к повышению уровня Мирового океана. Уже сейчас он поднимается в среднем на 8 см в 100 лет за счет таяния ледников Гренландии.

Максимальное потепление наступит, вероятно, в 2300—2400-х годах. Предполагают, что после этого максимума температура начнет медленно ползти вниз — волна холода охватит вторую половину третьего тысячелетия.

Погода через 50 миллионов лет. Совсем недавно научные сотрудники Чикагского университета сделали попытку спрогнозировать климат Земли на период, отстоящий от нас на 50 млн. лет, приняв в качестве главного фактора дрейф континентов. По их данным, к тому времени климат северного полушария значительно смягчится, почти полностью растают полярные льды. Тепло в Антарктику принесет Гольфстрим, который будет более полноводным, так как пропускная способность Атлантического океана увеличится, в силу его существенного расширения. «Исчезновение» Средиземного моря может привести к усилению континентальности климата в районах Средиземноморья: зимы станут холодными, а лето — более жарким. В Европе и Восточной Азии частым явлением будет торнадо — сильные ураганы, свирепствующие сейчас лишь в средних широтах США. Климат Австралии из засушливого превратится во влажный, почти тропический. Сократится количество тайфунов в Тихом океане. Между Северной Америкой и Азией в районе Алеутских о-вов может возникнуть сухопутный «мост», что неизбежно повлияет на климат Аляски, Чукотки, Камчатки и северо-западных районов Канады.

Эти прогнозы могут быть существенно скорректированы деятельностью человека, которая становится весьма действенным фактором, влияющим не только на изменение климата, но и на весь животный и растительный мир нашей планеты.



БЕЛЫЕ ПЯТНА НА КАРТЕ МИРА



Геологии как науке уже более двухсот лет. Но знания даже о поверхностном строении Земли далеко еще не полны. Изучение северных районов Приуралья, Западной Сибири по сути дела только начинается. Мало исследованы в геологическом отношении суровые районы Таймыра, Центральной и Восточной Сибири. Во многом неясно глубинное строение жарких пустынь Средней Азии и топких болотистых пространств Белоруссии. И это только в пределах Советского Союза, а за рубежом?! Ждут своих исследователей труднодоступные области Центральной и Юго-Восточной Азии, Африки, Южной Америки, севера Канады, Гренландии, Аляски, Центральной Австралии. Белым пятном во всех отношениях остается Антарктида.

В наш век возможны даже географические открытия. Недавно сообщили, что на территории Ирана, после расшифровки космических снимков со «Скайлэба», были открыты три ранее неизвестных озера. Иранские специалисты пришли к выводу, что их можно использовать для орошения земель. Этот случай говорит о том, как еще не полно знаем мы географию Земли.

Космическая техника расширила возможности не только географии, но и геологии. Расшифровка космоснимков открыла много неожиданного в глубинном строении Земли. Геологи получили возможность «охватить взглядом» крупнейшие элементы литосферы, о

строении которых ранее не было целостного представления. Невольно вспоминаются поэтические строки Антуана де Сент-Экзюпери: «Только теперь, с высоты прямолинейного полета, мы открываем истинную основу нашей земли, фундамент из скал, песка и соли, на котором, пробиваясь там и сям, словно мох среди развалин, зацветает жизнь». Дистанционное изучение геологии нашей планеты с орбиты искусственных спутников — дело близкого будущего.

На повестке дня геологии стоит проблема освоения глубоких недр. Скважины, достигшие глубины 7—8 км — большая редкость. А надо осваивать глубины в 10—15 км, таково требование времени. Много неожиданного и интересного ждет там геологов. Как знать, может быть глубинный материал позволит по-новому представить себе строение земной коры?

Говоря об изученности Земли, мы до сих пор имели в виду континенты. А океаны? Две трети поверхности земного шара покрыто ими. Данные по геологии океанов, полученные в последние 10—15 лет, заставили в корне пересмотреть некоторые фундаментальные положения в геологии. Но изучение океанов и морей только начинается.

Не решена окончательно и важнейшая проблема познания процесса формирования и закономерностей размещения в земной коре месторождений полезных ископаемых. Этой проблеме в материалах XXV съезда КПСС придается большое народнохозяйственное значение.

Таким образом, белые пятна имеются не только на геологической карте мира, они существуют и в ряде областей геологических знаний; расшифровка их — дело настоящего и будущего геологии.

СОВЕТУЕМ ПРОЧИТАТЬ

1. Белоусов В. В. Земля, ее строение и развитие. М., Изд-во АН СССР, 1963, 152 с.
2. Борисов П. М. Может ли человек изменить климат. М., «Наука», 1970, 192 с.
3. Вологдин А. Г. Земля и жизнь. М., Изд-во АН СССР, 1963, 174 с.
4. Вуд Дж. Метеориты и происхождение Солнечной системы. М., «Мир», 1971, 174 с.
5. Дуэль И. И. Мы открываем океан. М., Советская Россия», 1973, 210 с.
6. Опарин А. И. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие. М., «Наука», 1968, 174 с.
7. Орлов Ю. А. В мире древних животных. М., «Наука», 1968, 212 с.
8. Такеучи Х., Уеда С., Канадори Х. Двигаются ли материки? М., «Мир», 1970, 248 с.
9. Тарлинг Д., Тарлинг М. Движущиеся материки. М., «Мир», 1973, 104 с.
10. Историческая геология. М., «Недра», 1974, 319 с.