

197  
172

Д. Коржинский

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

КНИГА 43

ДЖОН ДЖОЛИ

## ИСТОРИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ



1929

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Пустая страница



# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ А. Д. АРХАНГЕЛЬСКОГО, В. Ф. КАГАНА,  
Н. К. КОЛЬЦОВА, В. А. КОСТИЦЫНА, П. П. ЛАЗАРЕВА

---

КНИГА 43

---

ДЖОН ДЖОЛИ

## ИСТОРИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

~~551.7~~  
0178

ДЖОН ДЖОЛИ

# ИСТОРИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО  
Л. Ш. ДАВИТАШВИЛИ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
АКАД. А. Д. АРХАНГЕЛЬСКОГО



---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА ★ 1929 ★ ЛЕНИНГРАД

J. JOLY  
THE SURFACE HISTORY OF THE EARTH

О Т П Е Ч А Т А Н О  
в I-й Образцовой типографии  
Гиза. Москва, Пятницкая, 71.  
Главл. А-16457. Н-10. Гиз 25527  
Заказ 701. Тираж 3000 экз.

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА РУССКОГО ПЕРЕВОДА

**РАДИОАКТИВНАЯ** гипотеза жизни земной коры, изложенная в книге Джоли, представляет, на мой взгляд, одно из наиболее интересных и важных событий в истории развития наших представлений о механизме движений каменной оболочки земли.

Не входя в оценку ее физических предпосылок, которые лежат вне сферы моих знаний, я считаю необходимым подчеркнуть глубокий интерес геологических построений автора.

В жизни земной коры красной нитью проходит чередование эпох, в которые эта кора испытывает грандиозное сжатие, с эпохами, в которых ярко проявляются не менее мощные растягивающие усилия. Сжатия наиболее отчетливо сказываются в формировании горных хребтов, а растяжения — в создании таких грандиозных впадин земной поверхности, какими являются Великий африканский грабен, Черное, Мраморное, Эгейское и Средиземное моря и пр.

Горообразовательные процессы совпадают с общим поднятием материковых массивов, увеличивающим площадь последних; наоборот, образование впадин идет параллельно с погружением материков, вследствие которого происходят великие трансгрессии моря, иногда чрезвычайно сильно сокращающие площадь суши; по времени эти периоды опусканий, получившие название эволюционных, значительно превосходят революционные периоды поднятия и горообразования.

Господствующая теория постепенного уменьшения объема земли и соответствующего сжатия ее коры, при всех вносимых в нее поправках и разъяснениях не в силах объяснить ни указанной периодичности эволюционных и революционных

эпох, ни отмеченных соотношений между различными явлениями. В теории Джоли и то и другое является неизбежным логическим следствием единой причины — распада радиоактивных элементов.

Нельзя не признать, что в очень многих случаях Джоли развивает свои положения слишком схематично и пытается придать явлениям периодичности слишком определенный и правильный характер. Это едва ли правильно, но существующие невязки отнюдь не опорочивают основных его идей.

Проследивая во всех доступных нам деталях историю такого крупного и основного участка земной коры, каким является Русская платформа с окружающими ее хребтами, не трудно убедиться, что развитие ее совершается в полном согласии с теми выводами, которые делает Джоли из своих теоретических предпосылок. Имея постоянно в виду его взгляды, мы нередко приходим к открытию таких явлений, которые без этого проходят незамеченными.

Что касается до остальных гипотез, то приходится констатировать, что для реальной работы они не дают по существу никаких указаний и стоят совершенно вне жизни.

Уже один этот факт заставляет поставить учение Джоли на совершенно особое место.

*А. Архангельский.*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**В** НАСТОЯЩЕЙ книге излагается история поверхности земли, причем все события этой истории объясняются радиоактивностью горных пород и изостазией. Та и другая стали известны только за последнее время, и открытие их следует рассматривать как весьма значительный успех в области наших знаний о строении земной коры. Мы останавливаемся также на обсуждении и уяснении самой сущности обоих этих явлений, которые большинством ученых признаются теперь вполне достоверными. Все черты поверхности земного шара обусловлены этими двумя основными свойствами его коры, и совершенно ясна та связь, которая существует между ними и некоторыми величественными событиями, повторявшимися через долгие промежутки времени в истории земной поверхности. Сюда относятся: а) медленное наступание морей, надвигавшихся на материки (это те моря, в которых отложились песчаники, известняки и другие подобные породы, столь обычные повсюду на земной поверхности); б) отступление морей, которое происходит несколько миллионов лет спустя после их наступания, и наконец, в) поднятие горных хребтов, сложенных главным образом из осадочных пород, которые накопились в глубинах прежних материковых водоемов.

Для образования гор необходимы мощные силы, действующие как в тангенциальном, так и в радиальном направлении. Представляется совершенно естественным, что эти силы получают свое начало от тех же основных свойств земли, обуславливающих строение ее поверхности, т. е. от радиоактивности и изостазии. Изучая историю поверхности земли, мы можем различить эры, во время которых действовали усилия, растягивавшие земную кору, и эти

эры постепенно сменялись другими, когда проявлялись усилия, стремившиеся сжать ее. В то же время мы находим объяснение того, почему неровности поверхностного рельефа выражены в довольно ограниченном масштабе; мы можем также выяснить причины, обуславливающие как распределение суши и воды на земном шаре, так и основные географические взаимоотношения между материками и океанами.

Если все это можно объяснить изостазией и радиоактивностью, то оба эти явления приобретают такую же достоверность, какую обладает та история земли, ход которой они объясняют.

Изучая эту историю с несколько необычной точки зрения, мы будем принуждены отказаться от некоторых старых идей и усвоить некоторые новые. Представляющийся нашему умственному взору раскаленный субстрат покажется многим чем-то неслыханным и необычным. Однако он отнюдь не принадлежит к области фантазии; наоборот, подобно другим явлениям, рассматриваемым в нашей книге, существование этого субстрата выводится как следствие из целого ряда наблюдений над земной поверхностью; некоторые из этих наблюдений относятся к области геодезии, другие — к области сейсмологии и геологии. Этот мрачный и страшный подземный мир находится очень близко от нас; тем не менее мы спокойно и безмятежно проживаем над ним, нам не видны и не слышны происходящие в нем перевороты. Мы должны признать, что в нашем удивительном мире нет ничего более удивительного, чем то ясное спокойствие, в котором пребывают хрупкие и легко погибающие организмы; только это спокойное состояние и дало им возможность развиваться в продолжение веков от низших форм к высшим и увенчать это развитие высочайшим явлением жизни — разумом.

В мире существует источник силы, спасающий земную жизнь; этим могучим хранителем последней является спутник земли — луна, которую до сих пор мы считали только владычицей ночи, и воздействию которой мы приписывали лишь слабые океанические приливы; так представляют себе поэты значение луны. На самом же деле она играет гораздо более важную роль в жизни земли: в истории нашей планеты через долгие промежутки времени в расплавленном суб-

страте начинают возникать приливы, которые вызываются, главным образом, луной; вследствие этих приливов накопившаяся в течение многих веков радиоактивная теплота получает возможность переходить в воду океанов, и жизнь может таким образом сохраняться от одной революционной эпохи до другой.

Мы приобретаем также новые представления и о нашем будущем на земле. Наш мир обладает даром омоложения: с течением веков он возвращается почти к одному и тому же исходному состоянию. И человечество (если оно проживет в будущем еще много миллионов лет) увидит, как непреодолимые силы отнимут его владения, и оно лишится, может быть, более половины той суши, где оно теперь господствует. Однако эти роковые события будут надвигаться с неуловимой постепенностью.

Довольно трудно написать такую книгу, как настоящая: Предмет ее в высшей степени обширен, и чтобы охватить его со всей полнотой, потребовался бы значительно более объемистый том: действительно, к области истории земли принадлежит не только вся историческая геология: сюда относится также, в значительной степени, динамическая геология вместе с родственными ей науками, а охватить это представляется более трудным. Поэтому при составлении такой небольшой книги, как настоящая, возникает опасение, как бы содержание ее не оказалось слишком сжатым.

Излагая все десять глав, автор старался по возможности избежать всех этих недостатков, и он надеется, что книга будет понятна для читателя, интересующегося наукой и знакомого с основными ее положениями. Подробности можно найти в приложениях, которыми сопровождаются многие главы. Некоторые из приложений носят более специальный характер, чем основной текст книги, и читатель может пропустить их, если пожелает. В конце книги помещено содержание доклада, который был сделан автором в 1923 году в Лондонском геологическом обществе и не был еще напечатан полностью. Автор надеется, что, ознакомившись с этим докладом, читатель сможет выработать ясный общий взгляд на все изложенное.

Читатели, которые пожелают подробнее ознакомиться с числовыми данными, найдут их в статьях автора, напеча-

танных в июньском и июльском выпусках журнала „Philosophical Magazine“ за 1923 год; там, однако, приводятся числа, которые в отдельных случаях не вполне одинаковы с теми, которые приняты в настоящей книге. Можно также указать статью математического характера Дж. Р. Коттера (J. R. Cotter) об утечке теплоты из земной коры (The escape of heat from the earth's crust), напечатанную в сентябрьском выпуске того же журнала за 1924 год. Некоторые вопросы, связанные с содержанием нашей книги, обсуждаются доктором Г. Г. Пулем (H. H. Poole) в сентябрьском выпуске „Philosophical Magazine“ за 1923 год. Новейший обзор, касающийся всего рассматриваемого предмета, имеется в „Halley Lecture“ за 1924 год. По вопросу о радиоактивности горных пород можно указать напечатанные в „Philosophical Magazine“ статьи автора (октябрь 1912 года и апрель 1915 года), а также новейшую статью, принадлежащую доктору Дж. Г. Дж. Пулю (J. H. J. Poole) и автору настоящей книги, напечатанную там же, в ноябрьском выпуске 1924 года.

*Дж. Джоли.*

Ивигская геологическая  
лаборатория.  
Тринити-колледж, Дублин.  
Ноябрь 1924 года.

# СОДЕРЖАНИЕ

## I. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Стр.

Послойное расположение различных материалов на поверхности земли. Излияния базальтов. Океаническое дно. Базальтовый субстрат; теория фон-Котты. Ультра-основной слой. Географическое распределение суши не является экваториальным. Расположение земных гор. Взаимоотношение гор и океанов. Величайшие горы вздымаются перед обширейшими океанами. Горообразующие силы исходят со стороны океанов. Силы сжатия оказали свое воздействие на края материков и на океаническое дно. Доказательства воздействия сил растяжения. Великая сбросовая впадина Африки. Долина Рейна. Нормальные и обращенные сбросы. Глыбы, образующие горы. Линейное расположение тихоокеанских островов. Время — геологический деятель, суммирующий проявления слабых денудационных процессов. Откуда возникают великие созидательные силы? Материки неоднократно затоплялись морями. Погружение суши в море и новое появление ее над уровнем последнего повторялось после долгих промежутков времени . . . . . 1

*Приложения.* Сходство химического состава платообразующих базальтов. Атлантические и тихоокеанские базальты. Расщепление магмы . . . . . 16

## II. ИЗОСТАЗИЯ.

Открытие изостазии Праттом и Эйри. Материки плавают на базальтовом субстрате. „Надводная“ и „подводная“ часть материков. К материкам приложим основной закон плавания. „Компенсация“. Является ли она реггиональной или же приуроченной к мелким чертам местного рельефа? Наблюдения Гейфорда над отвесом. „Разность“. Результаты работ Гейфорда. Применение маятника для определения силы тяжести. Наблюдения Гейфорда над маятником. „Аномалия“. Гейфорд теоретически допускал существование однообразных компенсирующих выступов. Его теоретические изыскания по вопросу об изменении плотности под материками. Результаты работ Гейфорда и Боум. Исследования, произведенные в различных частях света.

Результаты новейших исследований на океанах. Средние величины аномалий. Изостазию можно скорее считать „фактом“, чем „теорией“ 21

*Приложения.* Результаты новейших исследований . . . . . 34

### III. МАТЕРИКИ И СУБСТРАТ

Материки менее однородны, чем субстрат. Толщина материковой коры. Определения этой толщины, выводимые: 1) из сейсмологических наблюдений; 2) из количества радиоактивной теплоты, утекающей с поверхности земли; 3) из изостазии. Взаимоотношение субстрата и плавающей на нем материковой коры. Средняя толщина материкового слоя. Глубина, до которой достигают компенсирующие выступы. Тибетское плоскогорье. Отдельные материки обладают различной средней высотой над уровнем моря. Точка плавления базальта. Зависимость ее от давления. Изменение объема базальта, происходящее при его плавлении. Давление должно воздействовать на изменение объема субстрата. Сжимаемость твердых тел и жидкостей. Какую часть материков зальет море при изменении объема субстрата на 7%? Данные, относящиеся к опусканию материков. Изменение объема субстрата на 4—5% будет, вероятно, вполне достаточным для уяснения событий геологической истории. В нынешнее время субстрат пребывает в твердом состоянии. Доказательства, основанные на данных сейсмологии. Доказательства, основанные на особенностях приливов. Движения внешней части земной коры. Заключение Лёва. Заключение Дарвина. Работы Кельвина и Дарвина над приливами. Воззрения Нотта, основанные на сейсмологии. До какой глубины простирается субстрат? Результаты работ Ольдгема, Тёриера и Пильгрима. Заключение Банерджи . . . . . 35.

*Приложение.* Воздействие давления на точку плавления. Переход кварца в кристобалит и тридимит. Опускание материков, сопровождающее расплавление субстрата . . . . . 50.

### IV. РАДИОАКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Все горные породы радиоактивны. Источник радиоактивности. Радиоактивные явления отличны от химических; на них не действуют сильные колебания давления и температуры. Длительность явлений радиоактивности. Количество радиоактивных элементов в горных породах. Радиоактивность базальтов. Теплота, выделяемая 1 г радия и 1 г тория. Выделение теплоты в материковом слое. Полное соответствие этого количества теплоты с тем, которое выводится из температурных градиентов. Какая должна быть в основании материков средняя температура, зависящая от радиоактивности? Доказательство того, что под материками накапливается теплота. Условия, господствующие под

	<i>Стр.</i>
океанами. Условия, господствующие внутри земли. Какие указания дают нам метеориты? . . . . .	55
<i>Приложение.</i> Радиоактивность пород вторичного происхождения	66

## V. РАСКРЫТИЕ ТАИН ЗЕМНОЙ ИСТОРИИ

Взаимоотношения горных пород, образующих земную поверхность, представляются на первый взгляд запутанными. При более тщательном изучении можно все-таки обнаружить определенный порядок и закономерность. Изучение настоящего служит ключом к познанию прошедшего. Глубокая древность. Общая схема подразделения отложений на системы далека от совершенства. Разрушение памятников земной истории. Раскрытие тайн этой истории. Несогласное напластование. Действие сил сжатия и сил растяжения, обнаруживающееся при изучении сбросов; направление давления; места, к которым приурочено возникновение гор. Опускание геосинклиналей. Великие циклы геологической истории. Последовательность явлений. Сравнение настоящего с прошедшим. Подразделения геологического времени и революций (таблица). 67

## VI. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ РЕВОЛЮЦИЙ

Хотя субстрат и находится в твердом состоянии, но он близок к точке плавления. Скорость, с которой в базальтах накапливается радиоактивная теплота. Скрытая теплота плавления базальта. Картина физических явлений, происходящих при расплавлении базальта. Воздействие давления. Приблизительное вычисление времени, необходимого для расплавления субстрата. Переход субстрата в жидкое состояние может начаться с более высоких уровней. Как должно отозваться это изменение на материках и на их компенсирующих выступах. Воздействие этого изменения не будет распространяться на океаны. В субстрате возникнет высокое давление, в вышележащей же коре проявятся растяжения. Должны образоваться трещины, и будут изливаться лавы. Влияние приливов; важное их значение. Происхождение океанического дна и его постепенное нарастание. Предельная мощность, которой может достигнуть дно при его нарастании. Расплавление дна; его минимальная предельная толщина. Циркуляция в субстрате. Истечение теплоты не отражается на климате. Время, необходимое для утечки теплоты. Факторы, ускоряющие эту утечку. Магма становится опять более плотной. Основная причина горообразования. Возможна ли иная последовательность событий? Основная причина их периодичности . . . . . 81

*Приложения.* Физические условия, господствующие в субстрате. Океаническое дно и застывание субстрата. Устойчивость океанического дна . . . . . 94

## VII. ОБРАЗОВАНИЕ ГОР

Стр

Горы построены преимущественно из осадков. Расположение горных цепей. Направление напора. Силы, действующие в океаническом дне. Происхождение геосинклинали. Окончательные вертикальные движения. Почему величайшие горы стоят перед обширнейшими океанами? Горообразование не есть равномерный и непрерывный процесс. Причина вариаций в орогенезисе. Очень крупные горизонтальные передвижения, быть может, происходят в результате последовательных усилий субстрата. Затруднения, встречаемые при оценке результатов орогенезиса. Попытки определения. Значение определений, исходящих из правдоподобных предположений относительно изменений объема субстрата. Широтное и меридиональное направления орогенезиса. Подсчеты укорочения земной коры. Альпы, Гималаи, Аппалачи. Батолиты, их природа и происхождение. Вертикальные силы. Взгляды Берграна и других. Теперь нет геосинклиналей. Подсчеты осадков, образующих горы. Движения коры, вызывающие орогенезис, периодичны по своему существу и совершаются в одной и той же геосинклинали. Древность геосинклиналей. Взгляды Шукерта. Кордильерская геосинклиналь. Аппалачская геосинклиналь. Альпийская система. Анды. Вулканическая деятельность, связанная с орогенезисом. Альпы, Пиренеи, Кордильерская область Северной Америки. Вулканическое кольцо вокруг Тихого океана. Орогенезис и Атлантический океан. Связь между вулканическими явлениями и океаном. История Гималаев: их юный возраст . . . . . 96

*Приложение.* Циклические изменения в субстрате . . . . . 115

## VIII. РЕВОЛЮЦИИ

Почему революции не одинаковы по своему масштабу. Приливы, возникающие в субстрате, как признак революции. Революции изменчивы по своему размаху. Архейская система. Гренвильская и Сёдберийская толщи. Лаврентьевская революция. Альгомская революция. Шесть мировых революций Баррелля, и Шукерта. Четыре стадии Зондера. Его три мировые революции. Четыре революции по Марру, Огу и де-Лаппарану. Таблица революций. Иллюстрируемое таблицей сходство воззрений различных ученых. Ларамийская революция резче выражена в Америке. Как можно объяснить провал земли Гондваны? Одновременные события в Индии. Продолжительность эоцена и олигоцена. Аппалачская революция. Последовательность событий Альпийской революции. Современное состояние субстрата и коры . 118

*Приложение.* Межреволюционные движения коры . . . . . 132

## IX. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Различие между геологическим временем и возрастом земли. Всеобщее распространение радиоактивности в материалах, слагающих наружные части земли. Первоначальное застывание земли из расплав-

ленного состояния гипотетично и могло произойти лишь в очень отдаленные времена. Определение геологического времени на основании накопления продуктов денудации. Содержание натрия в океане и принос натрия реками. Результаты, получаемые по всем методам, исходящим из денудации, подтверждают друг друга. Определение геологического времени по радиоактивным процессам. Урановый свинец и ториевый свинец. Возможные ошибки. Возможная ненадежность определения времени по урановому методу. Ореолы. Как они могут указывать на происшедшие изменения скорости распада? Размеры ореола не во всех подробностях соответствуют тому, чего можно было бы ожидать, исходя из нынешней скорости распада урана. Новое подтверждение этих измерений. Маленькие разницы в измерениях очень древних и очень свежих ореолов. Взгляд Резерфорда. Числовые данные, полученные по способам отношений уран-свинец и торий-свинец. Сравнение цифр, полученных по методу натрия, с подсчетами геологического времени по урановому и ториевому способам. Продолжительность геологических периодов, определяемая с точки зрения революций. Эти данные довольно близки к данным, полученным по ториевому способу . 135

*Приложение.* Определение геологического времени содержания натрия в океанах . . . . . 144

## Х. ГОСПОДСТВО РАДИОАКТИВНОСТИ

Возникновение земли. Луна образовалась в до-геологическое время. Доказательство постоянного существования радиоактивности с весьма отдаленных времен. Можно ожидать сейсмических явлений, вызываемых богатым энергией субстратом. Как и почему изменялись соотношения между сушей и водой? Изменения климата и движения материков. Почему высота возвышенностей земной поверхности так незначительна? Образование основных элементов лика земли предопределялось предшествующей историей. Значение циклической истории земли для органической жизни . . . . . 147

## П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приливообразующие силы и орогенезис . . . . . 159  
 Проблема передвижения материков . . . . . 163

## Р Е З Ю М Е

Изменения поверхности земли . . . . . 166



## I. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**В**СЕ доступные нашему наблюдению материалы, слагающие земную кору, обнаруживают ясное послойное расположение, зависящее от их различной плотности. Действительно, прежде всего мы имеем атмосферу; ниже следуют воды то в виде озер, покоящихся в углублениях суши, то в виде морей, которые заполняют находящиеся между материками впадины, а далее — горные породы материков, средняя плотность которых приблизительно в 2,7 раза превышает плотность воды. У нас имеются доказательства того, что породы, слагающие океаническое дно, обладают плотностью, превышающей 2,7. Такое слоистое расположение вполне согласуется, конечно, с общим стремлением физических систем к устойчивому равновесию.

Если бы эта слоистость проявлялась в полном совершенстве, то вся земля была бы покрыта водой, которая всюду покоилась бы на породах, слагающих материки. Почему этого не произошло — об этом мы скажем в дальнейшем. Что же залегает под океанами и под материками? Вопрос этот весьма важен, и мы должны довольно подробно его обсудить.

Во многих областях земли можно видеть обширные площади, измеряемые многими тысячами квадратных километров, которые покрыты тяжелой горной породой — базальтом. Значительная часть этого находящегося на поверхности базальта удалена денудационными процессами; однако и то, что осталось на месте, поражает нас своим огромным объемом.

В продолжение давно минувших времен истории земли громадные массы этих лав от времени до времени подымались из глубин и достигали дневной поверхности. Порода эта должна была находиться в весьма текучем состоянии,

потому что при последовательных своих излияниях она, прежде чем застыть, успевала распространиться на многие десятки километров от извергавших ее трещин. Базальт представляет всем известную тяжелую черную породу, образующую „Мостовую гигантов“ в Ирландии; из него же состоят траппы Деккана, а также и лавы реки Колумбии в западной части Северной Америки. Плотность базальта около 3,0. Расплавляется он приблизительно при  $1\ 150^{\circ}$ , и при несколько высшей температуре он течет, как очень жидкое масло [1]. Когда базальт достигал дневной поверхности, он должен был находиться при температуре белого каления. Те громадные трещины, из которых излились эти расплавленные массы, разверзались или в более низменных областях материков, или же на морском дне, поблизости от последних. Мы не имеем никаких данных о количестве базальта, излившегося на дно океанов.

Хорошо известные траппы Деккана, которые теперь покрывают обширное пространство в северо-западной части Индостанского полуострова \*, охватывали, по всей вероятности, вначале площадь, превышающую один миллион  $\text{км}^2$ ; да и теперь еще там сохранился покров, простирающийся на  $500\ 000\ \text{км}^2$  и имеющий среднюю толщину не менее  $0,75\ \text{км}$ . Иначе говоря, вероятно, не менее  $1\ 000\ 000\ \text{км}^3$  базальта достигло дневной поверхности. Это великое излияние произошло приблизительно в конце мелового периода \*\* или же в самом начале эоцена.

Подобные же массы лав излились на морское дно около северо-западных берегов Европы и распространились приблизительно на  $3\ 000\ \text{км}$  от северной Ирландии до Земли Франца-Иосифа, причем остается неизвестным, на какое расстояние эти потоки разлились к западу по дну Атлантического океана. Горы внутренней группы Гебридских островов представляют изрезанные эрозией остатки этих покровов. Они захватывают также западную Гренландию и Исландию, и кажется довольно вероятным, что они составляли часть другой обширной области плато-образующих

---

\* См. карту земли в конце этой книги.

\*\* Таблица геологических периодов приведена ниже, на стр. 78—80.

базальтов\*, — так называемых „сибирских траппов“ северной России. Эти излияния — эоценового возраста.

В западной части Соединенных Штатов Северной Америки базальты реки Колумбии покрывают площадь в 500 или 600 тысяч  $км^2$ , а их объем составляет не менее 120 000  $км^3$ . Эти излияния достигли максимума в миоцене и плиоцене. Другие огромные излияния того же возраста происходили в десяти различных районах, расположенных в Передовых хребтах Скалистых гор и вдоль тихоокеанского побережья. В этих покровах находятся часто андезиты и другие лавы, являющиеся, вероятно, продуктом расщепления базальтовой магмы.

За последнее время в Южной Америке была обследована обширная базальтовая область бассейна Параны, охватывающая часть южной Бразилии, а также часть Парагвая, Уругвая и северной Аргентины, и было обнаружено, что здесь имеются покровы, простирающиеся по меньшей мере на 750 000  $км^2$  и достигающие в объеме не менее 200 000  $км^3$ . Кроме того, в прежнее время, как предполагают, была покрыта базальтом площадь около 200 000  $км^2$ , которая примыкает с востока к выше указанной области. Эти излияния происходили, вероятно, в юрское время [2]. На Патагонском плоскогорьи базальты покрывают многие тысячи квадратных километров. Огромные потоки базальтовых лав излились также в юго-восточной и северо-западной Австралии в третичном периоде и приурочены к середине и к более поздней эпохе этого последнего [3].

Многие из этих великих излияний происходили в сравнительно недавнее время; мы знаем, однако, что такие же излияния имели место и в весьма ранние эпохи истории земли. В весьма отдаленное кьюиноуское время Альгонкская область, расположенная вокруг Верхнего озера, была залита подобными же излияниями. В триасовом периоде (т. е. значительно позднее, но все же гораздо раньше по сравнению со временем излияния декканских и других лав) „столбчатые“ базальты покрыли обширные площади к западу от Аппалачских гор.

---

\* Они названы так потому, что обычно образуют холмы с плоскими вершинами.

Характерной чертой этих образующих плато лав является то, что по всему лику земли они обнаруживают поразительно одинаковый химический состав. Этот замечательный и многозначительный факт был весьма отчетливо выяснен Вашингтоном (Washington). Таким образом вполне определенно подтверждается то воззрение, что эти лавы произошли из одного общего резервуара, залегающего под океанами и материками (см. приложение к настоящей главе).

На предыдущих страницах мы рассмотрели излияния базальта, и выяснили, что он поднялся из субстрата\*, а это дает нам полное основание предположить, что последний состоит из базальта. С другой стороны, имеются доказательства и того, что также из базальтов состоит повсюду и океаническое дно, которое в действительности представляет ни что иное, как ту часть внешней поверхности общего субстрата, которая не покрыта материковыми породами, и на которой непосредственно покоятся охлаждающие субстрат воды океанов. Некоторые доказательства в пользу этого будут приведены в следующих главах. Впрочем, доказательством может служить уже и тот факт, что океанические острова сложены главным образом из базальтов, поднимающихся с морского дна, при чем особого внимания заслуживает сходство химического состава этих выступов субстрата, выходящих на дневную поверхность. Это было выяснено исследованиями Вашингтона, который изучил много образцов горных пород, происходящих с островов как Атлантического, так и Тихого океанов (см. приложение).

Все вышеизложенное очень определенно говорит в пользу того, что эти огромные излияния произошли из одного общего мирового субстрата, состоящего из базальтовой лавы. Огромный объем излившихся лав, постоянство их химического состава, их широкое распространение по всему земному шару и, наконец, их неизменяемость во времени — все это подтверждает существование базальтового субстрата.

Имеются еще и дальнейшие доказательства; петрографы говорят нам, что базальт отнюдь нельзя относить к группе

---

\* Этим термином автор обозначает магматический слой, который подстилает материи и образует также дно океанов (см. ниже). *Примеч. переводчика.*

пород, которые произошли путем изменения других, существовавших прежде. Дэйли (Daly) [4], придерживающийся этого взгляда, говорит: „Базальты, диабазы и габбро нужно рассматривать как первичную магму земли“ \*.

Далее этот автор говорит: „Все доступные нашему изучению базальты, и экструзивные и интрузивные, правильное всего считать образовавшимися в результате абиссальной инъекции вещества субстрата по абиссальным трещинам коры. Факты заставляют нас признать это основное положение вполне достоверным и не относить его к области гипотез“ \*\*.

Повидимому, фон-Котта (von Cotta) был первым автором, считавшим в 1858 году, что необходимо допустить существование непрерывного базальтового слоя, залегающего под внешней кислой оболочкой земли \*\*\*. Дэйли цитирует В. Л. Грина (W. L. Green), который в 1887 году высказывался в пользу этого взгляда. Дэйли добавляет: „В 1901 году автор, пишущий эти строки, независимо пришел к такому же выводу, как к единственной плодотворной гипотезе, которая может объяснить обычную последовательность извержений, наглядно выступающую в горе Аскетней в Вермонте... Помимо этой гипотезы, все данные, относящиеся к распределению базальтовых извержений, как во времени, так и в пространстве, заставляют нас признать или присутствие отдельных подземных полостей, заполненных базальтовой магмой, или же существование непрерывного базальтового субстрата“. Очевидно при этом, что „общая площадь, которая подстилается этими предполагаемыми отдельными пустотами, находящимися под землей, должна быть так велика, что в своей совокупности она должна образовать, правильно говоря, особую земную оболочку... „Без такого основного допущения проблема изверженных пород должна остаться навеки неразрешимой“.

---

\* Габбро и диабазы представляют видоизменения базальтовой лавы.

\*\* Слово „абиссальный“ указывает, что мы имеем в виду очень глубокие недра, т. е. субстрат. Точно также и абиссальные трещины должны открываться в субстрат [5].

\*\*\* Т. е. под оболочкой материковых пород, богатых кремнеземом, который является кислотой. В противоположность этому породы, относительно бедные кремнеземом, называются основными.

Читатель, можно надеяться, признает в дальнейшем, что, допустив существование базальтового субстрата, мы не только сможем разрешить проблемы, связанные с происхождением изверженных пород, но будем также в состоянии сделать еще много других важных выводов. Действительно, вся история земной поверхности обусловлена существованием этого субстрата и без него остается необъяснимой.

Многое говорит в пользу той мысли, что под базальтовой оболочкой находится, по всей вероятности, еще более плотный и более основной слой; хотя доказательства, приводимые в пользу этого, будут совершенно иного порядка, чем те, которые подтверждают существование базальтового субстрата. Правдоподобность такого предположения основана на том соображении, что в медленно застывающих лавах при первом образовании кристаллов более тяжелые из последних должны опуститься вниз. Ввиду этого такой минерал, как оливин (железисто-магнезиальный силикат, имеющий плотность 3,3 — 3,4), должен опуститься в расплавленном базальте. Породы, содержащие этот минерал в большом количестве и лишенные более легких силикатов (например, полевых шпатов), будут ультра-основными по своему химическому составу. Таковы „перидотиты“, „лимбургиты“, „дуниты“ и т. д. Поэтому весьма возможно, что в субстрате происходит гравитационная дифференциация, и образуется залегающий в основании перидотитовый слой.

Исходя из той гипотезы, что некоторые метеориты, достигающие земной поверхности, представляют материал, некогда выброшенный из глубоких недр земными вулканами, мы можем считать вероятным, что эти метеориты дают нам некоторое представление о тех материалах, которые находятся на некоторой глубине под земной поверхностью. Каменные метеориты содержат в среднем: металлического железа — 11%, закиси железа — 16%, кремнезема — 39%, окиси магния — 23%, глинозема и извести — 5%. Если мы примем, что металлическое железо выпадает вниз, то состав остающейся части магмы наводит на мысль, что в более глубоких слоях наружной оболочки земли должны изобиловать перидотитовые породы. При нормальном давлении плотность таких пород будет около 3,2 [6].

Мы не касаемся здесь более глубоких недр земли. Отметим лишь одно: при отсутствии противоположных указаний, многое говорит за то, что в состав внутреннего ядра в большом количестве входят металлическое железо и никель, которые представляют весьма значительную составную часть металлических метеоритов. Магнитные свойства земли также подтверждают этот взгляд.

Географическое распределение суши и воды на поверхности земного шара не обнаруживает каких-либо особенностей, которые можно было бы поставить в связь с вращением его вокруг оси. Это кажется странным, так как скорость вращения настолько велика, что оказывает воздействие на самую форму планеты. Известно также, что некоторая малая сила действительно стремится сдвинуть материки к экватору. Эта сила возникает вследствие высокого положения центра тяжести материков и скорости вращения земли. Она весьма незначительна, хотя некоторые и считают возможным допустить, что под ее воздействием материки перемещались в прежние времена.

Ясно, что в настоящее время суша распределена не вдоль экватора. Значительные ее части вытянуты к северу и к югу. Можно даже сказать, что земные материки расположены меридионально. Ярким примером служат обе Америки и Африка. Затем возьмем ту область, которая простирается от Сиамы до Тасмании и охватывает мелкие окруженные сушей моря и острова, лежащие между Австралией и Китаем; эта область в общем образует большой материковый полуостров, выдвинутый к югу по меридиану. В конце концов и экватор на большей части своего протяжения проходит по океанам, а не по суше.

Вообще говоря, главным географическим признаком земного шара является взаимоотношение материков и океанов, выражающееся в том, что океаны разделяют материки и протягиваются от полюса до полюса.

Можно заметить, что суша словно не хочет располагаться вокруг земного шара в виде пояса, который тянулся бы по экватору или был бы параллелен последнему; с другой стороны, она как бы избегает сосредоточиваться у какого-либо полюса. Так, северный полюс находится посередине

глубокого моря. Что же касается до антарктического материка (правда, мало известного), то омывающий его океан образует заливы, врезающиеся в сушу по крайней мере до 80-й параллели.

Мы должны отметить эти географические особенности. Причины, которые их обуславливают, будут рассмотрены в дальнейшем.

Земные горы, как это можно ясно видеть, расположены по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Как в Северной Америке, так и в Южной они тянутся приблизительно с севера на юг; так же расположены и горы Австралии, Новой Зеландии и восточной Азии, затем Урал и некоторые горы Европы и Африки. Главные же горные хребты Евразии направлены приблизительно с востока на запад. Такие взаимоотношения по большей части сохраняются с отдаленной древности. Насколько мы можем судить теперь, два этих направления мало различаются между собой по количеству орогенетических (т. е. горообразовательных) движений, приуроченных к каждому из них.

Отношение земных гор к океанам поразительно однообразно. Во многих случаях горы окаймляют океан, чего именно, казалось бы, мы не должны были ожидать. Вокруг Тихого океана горы поднимаются подобно громадной стене и достигают наибольшей высоты на восточном его побережьи. Первое появление этих хребтов приурочено к весьма отдаленным временам, и та часть их, которая уже снесена денудационными процессами в реки и моря, вероятно, значительно превосходит их нынешний объем. Однако новые хребты, возникавшие один за другим, располагались опять-таки параллельно берегам океанов.

Горы, окружающие Тихий океан, часто являются вулканическими. Нельзя, конечно, сказать, что эти горы сложены главным образом из излившихся пород, но они увенчаны лавовыми конусами, высота которых достигает иногда нескольких километров.

По атлантическому побережью горы сравнительно слабо развиты. Аппалачи образовались давно, и новейшие события сообщали им только вертикальные движения. Если продолжить эти горы в северо-восточном направлении, то, как думают некоторые, они должны составить одно целое с

одной из древних западно-европейских горных систем, имеющей одинаковый с ними возраст, а именно с Армориканскими горами. Другие приатлантические горы не образуют хребтов, параллельных побережью океана, и не граничат с большими глубинами. Нет между ними и вулканов. Вообще говоря, эти горы незначительны и часто срезаются наискось линией берега.

Величайшие горы земли — Гималаи поднялись в новейшее время. Они граничат с величайшей полосой океана (мы оставляем в стороне вклинивающийся Индостанский полуостров, который составлял некогда часть Гондванского материка)\*. Если измерить на глобусе полосу океана, которая охватывает земной шар и примыкает к этой области высоких гор, то окажется, что длина ее превышает 20 000 км. Противоположным краем этой океанической полосы является тихоокеанское побережье Мексики.

Дэна (Dana) давно уже отметил, что „величайшие горы воздымаются перед обширнейшими океанами“. Как мы видели, это приложимо к большинству горных хребтов земли. Конечно, между возникновением этих последних и близостью океана должна существовать какая-то связь. Какова же природа этого соотношения? В следующих главах мы обсудим этот вопрос. Здесь, однако, надо подчеркнуть одну внешнюю особенность, на которой нам придется часто останавливаться: геологическое изучение великих горных хребтов обнаруживает тот факт, что породы, из которых сложены горы, подвергались, повидимому, в некие минувшие эпохи воздействию огромных сил, направленных со стороны океана; так, едва ли можно сомневаться в том, что силы, обусловившие возникновение горных систем западной части Америки, исходили: со стороны Тихого океана.

Вот что говорит Рэнсом (Ransome) [7] „Между геологами широко распространено воззрение, что большинство великих горных хребтов земли образовалось вследствие давлений, исходивших со стороны ближайшего океанического водоема; классический пример представляют Аппалачи. Многие склонны также думать, что возникновение Ларамийской горной системы связано с Тихим

\* См. главу VIII.

океаном, и что дислокации, давшие ей начало, явились следствием взаимодействия между тихоокеанским водоемом и материковым краем“.

У и л л и с (Willis) утверждает [8]: „Если мы пожелаем выяснить причину складкообразования, которое имело место в конце мелового периода и в эоцене и охватило всю область Скалистых гор вплоть до Передового хребта Колорадо на востоке, то мы должны приписать это явление или напору, проявлявшемуся со стороны Тихого океана, или давлению, исходившему от Великих равнин“. Выяснив, что возможный источник этих сил отнюдь не может быть приурочен к этой последней области, У и л л и с в заключение высказывает уверенность в том, что Тихий океан „был источником горообразующей деятельности, которая и создала Кордильеры от Аляски до мыса Горн“.

К и т (Keith), говоря о горообразующих движениях, благодаря которым воздвиглись Аппалачские горы, приходит к заключению, что эти движения были направлены с юго-востока [9].

Не трудно назвать многих выдающихся геологов, которые высказывают сходные с этим взгляды. Обычно считают, что великие цепи складчатых гор восточной Евразии постепенно возникли под действием сил, которое исходило с юга или юго-востока, т. е. со стороны обширной океанической полосы, уже упоминавшейся нами. Г о б б с (Hobbs) в своей работе по изучению изогнутых хребтов восточной Азии (к которым относятся и гирлянды островов) приводит много доводов, подтверждающих то предположение, что действие горообразующих сил исходило со стороны океана, при чем он приводит доказательства в пользу того, что деятельность океанического дна продолжается до сих пор и что это дно медленно приподнимает восточный край Японских островов [10].

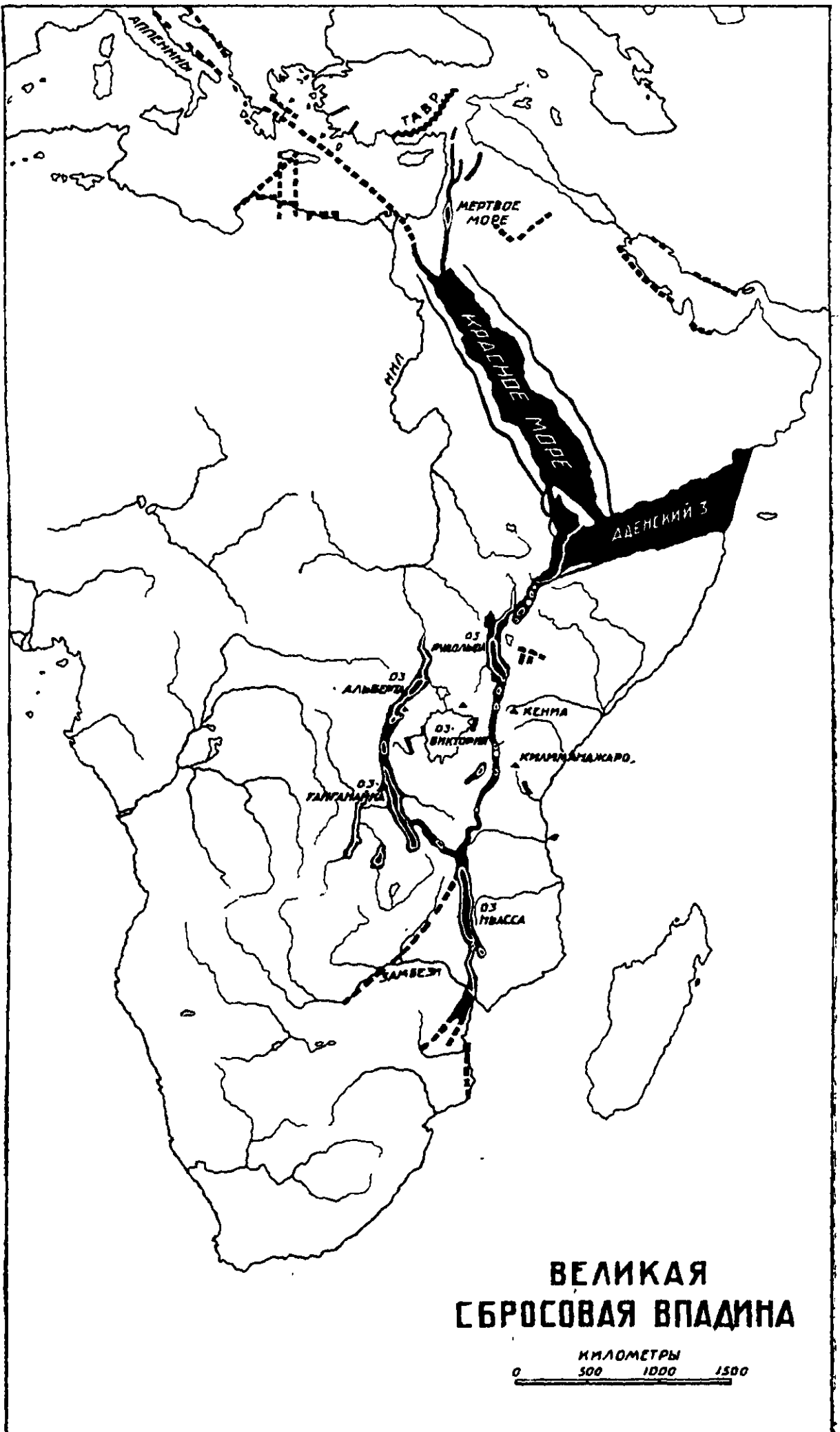
Таким образом по особенностям строения земной поверхности мы замечаем, что материки испытали воздействие сильных давлений. Однако это можно сказать не об одних материках: океаническое дно обнаруживает признаки такого же воздействия. Пологие антиклинали, где это дно выгибается кверху, тянутся по нему на протяжении многих сотен километров. Одна такая антиклиналь идет по середине Атланти

ческого океана от крайнего юга до крайнего севера. Великие „впадины“, или синклинали, в которых дно выгибается книзу на многие тысячи метров, существуют во многих частях океанов, причем часто расположение их повторяет изгибы берегов суши\*. С глубинами часто бывают связаны сейсмические явления (землетрясения и микросейсмические колебания), а также проявления вулканической деятельности. Ярким примером может служить впадина Тускароры, которая окаймляет не знающие покоя Японские острова.

Повсюду на земной поверхности мы встречаем также указания и на действовавшие прежде силы растяжения. Вероятно, наиболее наглядным примером этого является Великая сбросовая впадина Африки (стр. 12). Длинные и узкие восточно-африканские озера расположены по опустившемуся дну этой великой впадины. В олигоценовое время в материке образовались две приблизительно параллельные трещины, направленные с юга на север: сначала поверхность суши выгнулась кверху; после того, как обозначились сбросовые трещины, проникшие до самого основания материка, находящаяся между ними узкая полоса осела на 1 500 м и даже более. Мы увидим далее, как это произошло. Красное море заполняет значительно расширенную часть полосы опускания, связанной с этими двумя сбросовыми трещинами. Таким же путем образовалась и долина Иордана. Вдоль сбросовой впадины имели место вулканические явления, и изливались базальтовые лавы. Впадина имеет 6 000 км в длину, и протяжение ее превышает шестую часть окружности земного шара. Зюсс (Suess) и другие геологи, изучавшие ее, установили, что она произошла от действия растяжений. Зюсс говорит: „Процесс, который проявляется на протяжении, превышающем 52 градуса широты, должен был возникнуть в связи с особенностями строения самой планеты. Мы должны допустить, что в этой обширной области во внешней части земной коры имели место натяжения, действовавшие в направлении, перпендикулярном к трещинам, в данном же случае, как мы видим,—под прямым углом к меридиану“.

---

\* См. карту земли в конце книги.



Менее значительные сбросовые долины, имеющие меридиональное направление, встречаются и в других местах земного шара. Меридиональные опускания большого масштаба можно видеть в юго-восточной Австралии [1]. Фиорд Христиании и долина Рейна также являются сбросовыми впадинами, указывающими на действие натяжений. Дно рейнской долины представляет перевернутый свод, сложенный из более юных пород, которые, благодаря нормальным сбросам, оказались зажатыми между более древними отложениями, с поверхности которых смыты более поздние образования\* (рис. 1).

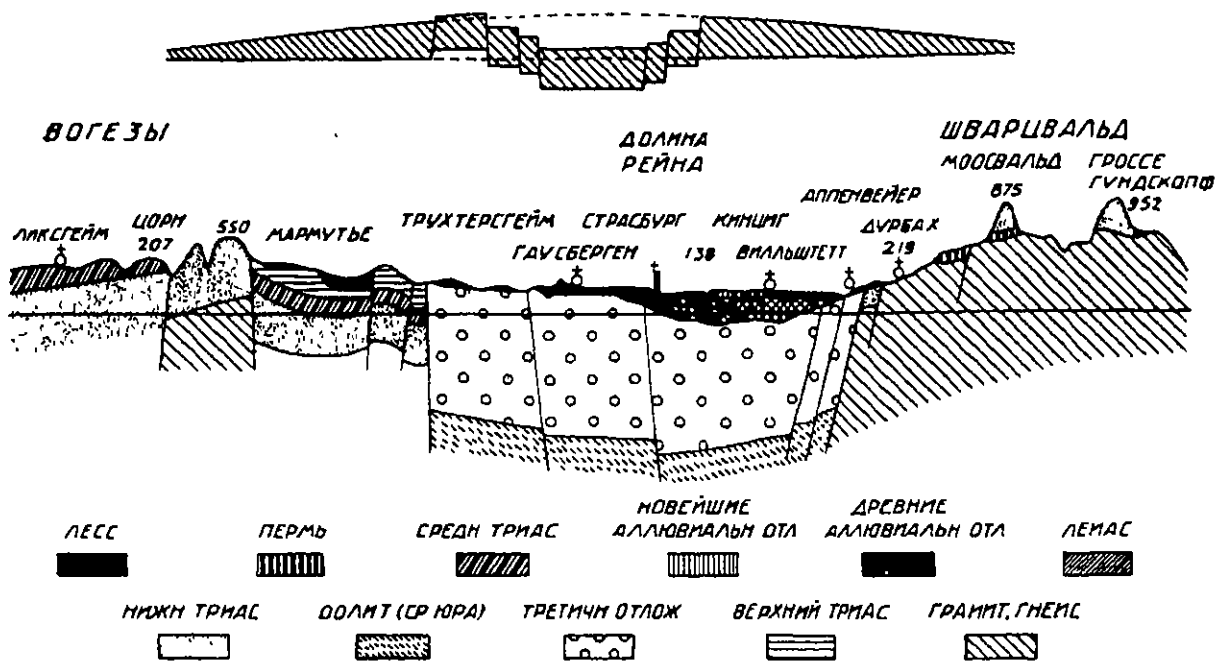


Рис. 1. Сбросовая впадина долины Рейна в поперечном разрезе с запада на восток. Третичные породы опустились между гранитами Шварцвальда (на востоке) и триасовыми отложениями Vogezов (на западе); это и предохраняло их от денудации. Такое строение долины произошло очевидно оттого, что материковая кора не выдержала действия сил, которые растягивали ее в широтном направлении, вследствие чего возникли трещины. Участки земной коры опустились по этим трещинам и образовали ступенчатые сбросы, как это изображено на верхнем чертеже.

Нормальные сбросы большого масштаба были причиной, вызвавшей возникновение Великой сбросовой впадины Африки. Эти нормальные сбросы происходят от действия сил растяжения, как это давно уже указал Соллас (Sollas); при этом породы, образующие противоположные края наклонной трещины, перемещаются, таким образом, что в

\* См. От, Геология, гл. XVI (имеется русский перевод под редакцией акад. А. П. Павлова).

данном месте поверхность земной коры увеличивается. Обратные же сбросы происходят от действия сил сжатия: противоположные края трещины, перемещаясь, вызывают сокращение коры. Горнорабочий повсюду убеждается в присутствии таких сбросов; они продолжаются глубоко вниз и связаны либо с растяжением, либо со сжатием. Добре (Daubrée) и Кайзер (Kaiser) отмечают, что в материковой коре весьма распространены трещины, происшедшие от растяжения. Дёттон (Dutton) приводит случаи, когда глыбы, составляющие часть гор, должны были опуститься вследствие того, что другие поддерживающие их глыбы отошли друг от друга под действием сил растяжения. Несомненно, что вследствие действия именно сил растяжения как на морском дне, так и на суше возникли те трещины, по которым поднялись из субстрата базальтовые лавы. Расположение тихоокеанских вулканических островов, приуроченных к определенным линиям, является, по всей вероятности, дальнейшим доказательством в пользу того, что океаническое дно подвергалось воздействию сил растяжения. Вообще говоря, океаническое дно, простирающееся от одного берега до другого, должно было расколоться в направлениях, намеченных островными цепями, так как действительно последние расположены перпендикулярно к наибольшему протяжению океана, они идут с северо-запада на юго-восток. Образовавшиеся таким путем трещины поведут к проявлению вулканической деятельности, обусловленной тем, что под дном океана находится субстрат, состоящий из жидкого базальта [12] (рис. 2, стр 15.).

Всякий, кто посещает области высоких гор, поражается величием сил, проявивших здесь свое могущество. Об этом последнем можно судить по твердости тех горных пород, которую преодолели эти силы. Наблюдателю приходится также задумываться над медленной и малозаметной работой других весьма слабых деятелей. Ему должно броситься в глаза, что тем всеокрушающим силам, которые подняли горные хребты, отнюдь не уступает по своему значению действие времени; благодаря длительности этого последнего работа таких слабых факторов, каковыми являются трение и растворение постепенно накапливается в течение долгих геологических эпох. Одни силы поднимают горы, другие разрушают

и понижают их. За время земной истории горные хребты возникали и исчезали, и это происходило неоднократно. Мощные силы поднимали эти хребты, слабые же деятели, пользуясь неисчерпаемыми избытками времени, разрушали их.

Представляется, однако, очевидным, что за всем этим кроется какая-то тайна. Откуда возникают великие созидательные силы, которые в нынешнее время являются, повидимому, такими же могущественными, какими они были в самой от-

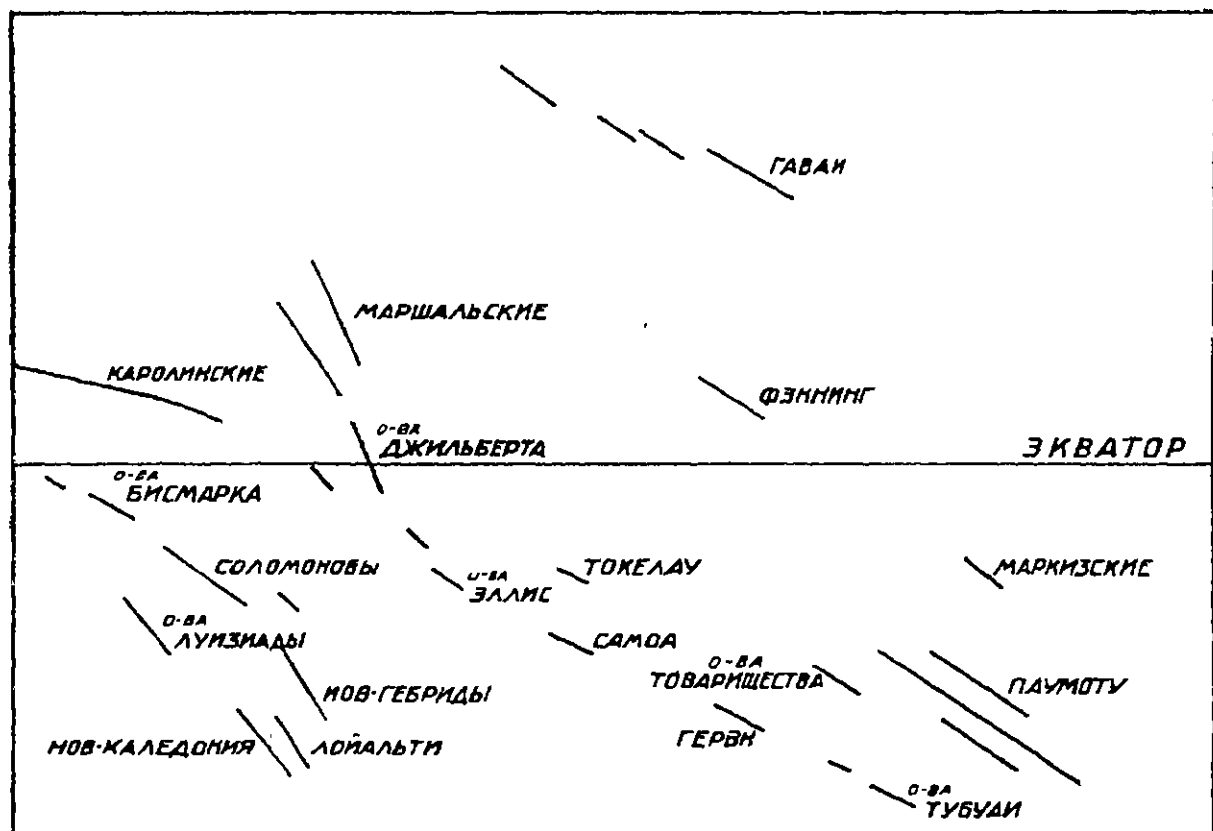


Рис. 2. Линии, определяющие расположение островов Тихого океана. По Дж. Д. Дэна. Масштаб 1 : 100 000 000.

даленной древности? Они не истощились, производя работу, ибо нынешние горные хребты (которые, как мы увидим, возникли недавно) отнюдь не уступают прежним горам по своим размерам, если только не превосходят их,

Тайна становится еще более глубокой, когда нам говорят, что эти складкообразующие силы исходят со стороны океанов, и что проявление их тем могущественнее, чем обширнее протяжение данного океана.

Мы видим также, что материки испытывали на себе воздействие не одних только давлений. В прежние времена действовали иногда и весьма мощные растяжения, и мы

видели уже, что один из крупнейших материков раскололся от края до края вследствие этих натяжений. И вот перед нами опять встает вопрос: откуда происходят эти мощные силы растяжения?

Этими фактами не исчерпывается, однако, тот элемент таинственности, который свойствен чертам лика земли. Наши города воздвигнуты на горных породах, которые некогда находились глубоко под поверхностью океанов. Поперек великих материков тянутся обширные пространства, представляющие дно древних морей; и путем геологического исследования мы узнаем, что эти материковые области не первый раз приподнялись теперь из вод океанов, чтобы узреть свет солнца: затопление суши морем и новое ее появление над водой повторялись неоднократно.

Наконец, наиболее замечательным является то, что эти великие события следовали друг за другом в определенном порядке; да и вся история земной поверхности разворачивается перед нами, как бы согласуясь с последовательностью этих событий, которые разделяются огромными промежутками времени.

В дальнейшем мы увидим, что между поднятием суши и горообразованием существует связь физического характера. т. е. что эти два явления происходят от одной и той же причины, и что в свое время суша и горы обретают общую могилу в океанах, затопляющих материки.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

---

### Сходство химического состава плато-образующих БАЗАЛЬТОВ

Вашингтон недавно опубликовал приводимые здесь результаты химического анализа плато-образующих базальтов.

Мы видим замечательное сходство их химического состава: (см. табл. на стр. 17).

В графе „Орегон“ дается химический анализ базальтов из Орегонской области западной части Северной Америки,

	Деккан	Орегон	Гебриды	Патагония	Нью-Джерсей
	11	6	33	1	8
SiO <sub>2</sub> . . . . .	50,61	49,98	47,46	50,74	50,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	13,58	13,74	13,89	12,60	14,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,19	2,37	3,58	4,78	3,41
FeO . . . . .	9,92	11,60	9,38	7,25	8,58
MgO . . . . .	5,46	4,73	6,79	9,00	6,92
CaO . . . . .	9,45	8,21	9,83	8,90	8,60
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,60	2,92	2,90	2,59	2,92
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,72	1,29	1,01	0,72	0,72
H <sub>2</sub> O . . . . .	2,13	1,22	1,48	—	2,28
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,91	2,87	2,71	2,73	1,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,39	0,78	0,43	0,37	0,17
MnO . . . . .	0,19	0,24	0,22	0,31	0,12
	100,12	99,95	99,78	99,99	99,96

а в графе „Гебриды“ — анализ базальтов из Гебридской области северо-западной Европы.

Интересно отметить, что, если мы сравним эти базальты с другими, а именно с теми, которые извержены вулканами и источник которых находится, вероятно, ближе к земной поверхности, то окажется, что для первых „главным отличием является значительно большее содержание окислов железа, причем закиси железа значительно больше, чем окиси“. Кроме того, в образующих плато базальтах процентное содержание титана является более высоким (Вашингтон, [13]).

#### АТЛАНТИЧЕСКИЕ И ТИХООКЕАНСКИЕ БАЗАЛЬТЫ

Исходя из 72 анализов пород, происходящих со дна Атлантического океана, и 56 анализов пород со дна Тихого океана, Вашингтон вывел следующий средний химический состав для атлантических и тихоокеанских базальтов (см. табл. на стр. 18).

	Дно Атлантиче- ского океана	Дно Тихого океана
SiO <sub>2</sub> . . . . .	50,63	50,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,82	15,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4,44	3,88
FeO . . . . .	5,73	6,23
MgO . . . . .	5,79	6,62
CaO . . . . .	7,36	7,99
Na <sub>2</sub> O . . . . .	4,27	4,00
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,31	2,10
H <sub>2</sub> O . . . . .	1,47	1,16
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,63	1,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,43	0,25
MnO . . . . .	0,04	0,15
Остаток . . . . .	0,07	0,08
	100,05	100,00
Удельн. вес . . . . .	2,85	2,89

Результаты этих анализов согласуются в общем с химическим составом базальта, содержащего довольно много кремнезема и щелочей. Удельный их вес ниже, чем у глубже залегающих разновидностей этих магм (у долеритов и габбро) [14].

### РАСЩЕПЛЕНИЕ МАГМ

Чтобы вполне усвоить излагаемое, читатель должен быть близко знаком с природой и структурой многих классов горных пород и их отдельных видов. Уяснить же основные идеи, связанные с этим вопросом и проистекающие из них выводы — довольно легко. Воззрение, которое отстаивает Дэйли и которое во многих отношениях поддерживается другими выдающимися петрографами, сводится, коротко говоря, к тому, что граниты образовались „как самый кислый продукт первичного расщепления вещества земного шара, при чем кислая оболочка отделилась от подстилающего ее

базальтового субстрата [15].“ Этот теоретический вывод находит, повидимому, широкое подтверждение в фактах, наблюдаемых в природе“. Основной принцип, наблюдаемый в данном случае, состоит в том, что, когда составные части весьма медленно охлаждающейся магмы начинают выделяться в виде кристаллов, то более тяжелые опускаются под влиянием силы тяжести, а более легкие поднимаются. Весьма часто образуется последовательный ряд пород, переходящих кверху в граниты.

Подобный взгляд вполне приложим и к образованию андезитов из базальтовой магмы. Андезиты содержат меньше железа и больше кремнезема, чем базальты. Так как железо представляет тяжелую составную часть, а кремнезем — легкую, то андезиты обладают меньшим удельным весом, чем базальты. Полагают, что если мы даже смешаем более легкие и более тяжелые фракции в расплавленном состоянии, то они отделятся одна от другой под влиянием силы тяжести, и этому процессу „гравитационной дифференциации“ будет помогать еще то обстоятельство, что способность расплавленных магм смешиваться между собой является несколько ограниченной подобно тому, как сливки не могут оставаться в смеси с молоком, но отделяются от него [16]. В подтверждение той „правдоподобной и давно признанной гипотезы, что авгитовый андезит отщепился от базальта“, Дэйл указывает на экспериментальные работы Дёльтера (Doelter) и других исследователей; работы эти приводят нас к неизбежному заключению, что, если мы будем поддерживать базальт в жидком состоянии, то из него должны выделиться оливин, авгит и магнетит. „Мы должны поэтому ожидать, что встретим в природе непрерывный последовательный ряд лав, идущий от чистого оливинового базальта через лишенный оливина базальт к тем фазам первоначального магматического раствора, которые должны приближаться к основному авгитовому андезиту, а затем к кислому авгитовому андезиту“. На основании этого взгляда многие перидотиты, пикриты, лимбургиты и отступающие от нормы, богатые оливинном, базальты (т. е. „ультра-основные“ породы) являются породами, происшедшими из оливинового базальта путем фракционной кристаллизации, между тем как авгитовый андезит и родственные

ему разновидности пород представляют другой крайний продукт расщепления“ [17]. Выдвигаются также и многие другие соображения.

Из сказанного можно заключить, что андезиты, излившиеся в тех великих горных хребтах, от которых они получили свое название, не являются первичными породами, но произошли из обширного базальтового субстрата, который залегает значительно глубже.

---

## II. ИЗОСТАЗИЯ

**Л**ЕТ 70 тому назад в северной Индии производилась триангуляция, и этим путем было установлено, что разница широт Калианпура и Калианы составляет  $5^{\circ} 23' 42,294''$ , между тем как астрономическое наблюдение, при котором положение зенита определялось отвесом, дало разницу  $5^{\circ} 23' 37,058''$ , т. е. на  $5,236''$  менее, чем это было установлено триангуляцией. Более северная из этих станций — Калиана лежит километров на 100 к югу от великого массива Гималаев.

Отсюда заключили, что на отвес подействовало притяжение горных хребтов, и что это повело к неправильному результату измерений. Затем Пратт (Pratt) определил путем точного вычисления, какова должна быть ошибка измерения, если принять плотность Гималайских гор равной 2,75 по отношению к воде. Он нашел, что ошибка будет значительно больше, чем наблюдавшаяся. Она должна равняться  $15,885''$  на основании принятой им величины силы того притяжения, которое оказывают горные породы, слагающие эти великие горные хребты. И вот возник вопрос: почему сила притяжения, которое горы оказывают на отвес, не проявилась полностью?

Это важное обстоятельство навело на мысль сэра Джорджа Эйри (Airy), бывшего тогда королевским астрономом, предложить объяснение, которое в своих конечных выводах коренным образом изменило наши взгляды на строение земной поверхности.

Он первый указал, что такие большие горы должны иметь особую поддержку снизу и не могут непосредственно опираться на однообразную кору, подстилаемую плотной, вязкой лавой, даже в том случае, если бы эта кора достигала

160 км мощности. „Что же именно поддерживает горы?— спрашивает Эйри. — Насколько я понимаю, наблюдаемое нами положение вещей может существовать только в том случае, если от некоторого участка более легкой земной коры отходит вниз выступ, погруженный в более тяжелую лаву; при этом горизонтальное протяжение такого выступа соответствует в самых общих чертах горизонтальному протяжению плоскогорья“. (Под этим последним обозначением автор понимает некое воображаемое плоскогорье, которое должно соответствовать общей массе Гималаев.)

Исходя из этой теории, Эйри объясняет неполное отклонение отвеса. Он говорит: „Следует заметить, что отклонение зависит от двух воздействий: от положительного притяжения, производимого возвышающимся плоскогорьем, и от уменьшения притяжения, стоящего в связи с тем, что некоторый объем тяжелой лавы замещен более легкой корой (образующей направленный вниз выступ); при этом уменьшение притягивающей массы снизу, вызванное заменой тяжелой лавы легкой корой, будет почти равно увеличению притягивающей массы сверху“. Иными словами, горы плавают на плотном субстрате.

Такого же точно результата мы можем достигнуть, если поместим отвес вблизи плывущей по морю льдины или айсберга. Выступающий над водой лед на некотором расстоянии не будет уже оказывать заметного для наблюдателя воздействия на отвес. На самом деле, здесь значительная масса льда, имеющего меньшую плотность, чем пресная вода, опускается вниз на такую глубину, при которой она заместит массу более тяжелой соленой воды, в точности равняющуюся весу айсберга, так как это является основным условием плавания тел. Поэтому притяжение всей массы, притягивающей отвес к айсбергу, будет не больше, чем притяжение океана, действующее в противоположном направлении; в результате никакого отклонения не будет. Подобно этому, наблюдая отвес на достаточном расстоянии от Гималаев, мы не заметим воздействия гор, хотя последние и будут видны.

Объяснение Эйри положило начало широко теперь известной и хорошо разработанной теории изостазии (название это дано Деттоном) [18].

Эта теория связана с тем воззрением, что более легкая материковая кора плавает на субстрате, состоящем из более тяжелого материала и распространенном по всей земле. Отсюда следует, что толщина (или глубина) материкового слоя значительно больше того, что доступно нашему наблюдению. На самом деле, основываясь на веских доказательствах, приведенных в главе I, предположим, что субстрат обладает плотностью глубинных базальтовых пород (габбро), т. е. 3,0, и что средняя плотность материковых пород (главным образом, гранитов, гнейсов и других богатых кремнеземом пород) будет равна 2,67; отсюда следует, что погруженная часть материкового слоя простирается вниз на расстояние, в 8 раз превышающее высоту выступающей сверху части; или, пользуясь морскими выражениями, „углубление судна“ в 8 раз превышает его „надводную часть“. Чтобы убедиться в этом, заметим, что  $1 \text{ см}^3$  базальта весит на 0,33 г больше, чем  $1 \text{ см}^3$  гранита. Иными словами, если мы заместим  $1 \text{ см}^3$  базальта одним  $\text{см}^3$  гранита, то на этом последнем может плавать нагрузка в 0,33 г. Отсюда можно видеть, что если мы имеем, например, вертикальный гранитовый столб, то для того, чтобы та часть его, которая выдается над базальтом, равнялась  $1 \text{ см}^3$ , погруженная его часть должна составлять  $2,67 : 0,33 = 8,09 \text{ см}^3$ . Поэтому объем выдающейся сверху части относится к объему погруженной приблизительно как 1 : 8.

Средняя высота материков над уровнем моря принимается равной 0,82 км \*. Средняя глубина океанов, по Меррею (Murray), составляет 3,8 км. Складывая эти две величины, мы видим, что материки в среднем поднимаются на 4,62 км над морским дном. Допустим, что морское дно является поверхностью субстрата; в таком случае материки выдаются над этой поверхностью на 4,62 км. Нельзя, однако, вычислять глубину, на которую погружены материки, не учитывая давления воды океанов. Если принять во внимание это давление, то окажется, что глубина, до которой погружаются в море породы материков, равная 3,8 км, по существу сведется к 2,4 км. Таким образом эффективная высота мате-

---

\* Таково самое последнее определение (1912 года), сделанное Вагнером (Wagner) [19].

риков над поверхностью субстрата составляет  $2,4 + 0,82 = 3,22$  км. Помножая это на 8,09, мы получаем, что часть, погруженная в субстрат, достигает глубины 26,05 км, общая же средняя толщина материков будет  $26,05 + 4,62 = 30,67$  км.

Нам придется производить и другие подсчеты такого же рода. Читатель должен иметь в виду, что на полученные результаты нужно смотреть только как на приблизительные числа. Наши данные не могут претендовать на точность.

Между прочим начерченный по масштабу схематический рисунок (рис. 3) позволяет нам представить себе наглядно то, что собственно означают наши вычисления. Мы имеем перед собой поперечный разрез, скажем, Гималаев. С левой стороны простирается обыкновенная материковая кора. В месте, отмеченном крестиком, мы опустили отвес. Вспомним

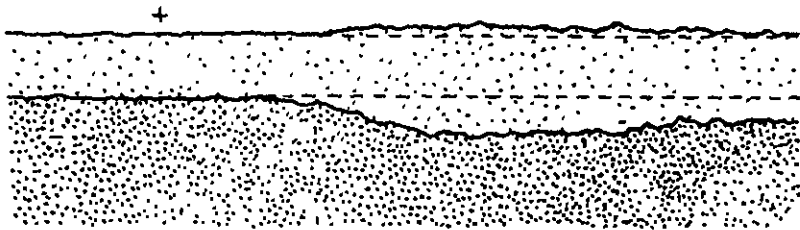


Рис. 3. Схематический чертёж, изображающий Гималаи с отходящими вниз компенсирующими выступами. Крестиком обозначено место, где производилось наблюдение над отвесом.

теперь, как объясняет Эйри воздействие горного хребта на отвес; при этом введем здесь одно полезное обозначение: воздействие гор на отвес „компенсируется“ (т. е. возмещается) воздействием огромного объема легкого материала, которое как раз под горами заняло место тяжелого базальта.

Подобные же условия господствуют и по всей поверхности земного шара; конечно они проявляются не в мелком местном масштабе, но в тех случаях, когда мы имеем перед собой значительные площади, большие горные хребты или обширные пространства, покрытые водой. Закон, выражающий это явление, известен под названием изостазии.

Чтобы усвоить суть изостазии, обратимся к основному закону плавания тел. Если какая-либо среда поддерживает плавающие на ней тела, состоящие из другого вещества, то количество массы под единицей поверхности остается всюду одинаковым. Возьмем тот случай, когда в море плавает айсберг. Чтобы сделать наше рассуждение более точным,

рассмотрим общую массу (и льда и морской воды), которая помещается под любой площадью, принятой за единицу, до некоторой воображаемой плоскости, находящейся, скажем, на 1,5 км под поверхностью. В таком случае, в силу вышеуказанного закона, масса должна быть одинаковой под любой единицей поверхности независимо от того, возьмем ли мы эту последнюю над плавающим льдом или же непосредственно над морем. Истинность этого закона основывается, конечно, на хорошо известном принципе Архимеда: плавающее тело вытесняет массу поддерживающей жидкости, в точности равную массе этого тела.

То же самое можно применить и к земной поверхности. Если изостазия господствует повсеместно, или если везде, как мы выражаемся, существует „изостатическое равновесие“, то повсюду должна быть одинаковой та масса, которая соответствует единице поверхности и измеряется вглубь до некоторой предполагаемой плоскости, параллельной поверхности земли и находящейся на достаточной глубине в субстрате.

Упомянутая здесь поверхность земли соответствует среднему океаническому уровню или поверхности не подвергающегося приливам моря. Эта поверхность, известная под именем геоида, будет всюду перпендикулярна к направлению силы тяжести, а потому она везде расположена под прямым углом к линии отвеса.

Прежде чем приступить к дальнейшим доказательствам существования изостазии, мы должны ясно понять ее сущность.

Материки плавают; при этом каждый из них вытесняет в субстрате массу базальта, равную массе данного материка. Океан просто покоится на поверхности субстрата. Таким образом эта последняя поверхность тождественна с океаническим дном. Каждый материк „компенсирован“ полностью. Океан же „компенсирован“ в том смысле, что недостаток массы возмещается поднятием лежащего ниже субстрата.

Значительная часть исследований, посвященных изостазии, направлена к разрешению следующего вопроса: приурочены ли компенсирующие неровности материкового основания к местным особенностям рельефа, или же они соответствуют только более значительным областям? Нельзя сказать, что-

бы относительно этого было достигнуто определенное решение. Невозможно, повидимому, сомневаться в том, что изостазия господствует по всей земле, взятой в целом, т. е. что материки и моря находятся в изостатическом равновесии. Это означает, что массы, находящиеся под одинаковыми, достаточно обширными площадями земной поверхности и простирающиеся вглубь до некоторой предполагаемой плоскости, будут равны между собой независимо от того, имеем ли мы дело с океаном или с материком. Основываясь на результатах наблюдений, все исследователи, повидимому, допускают, что наиболее крупные черты материкового рельефа (например: Гималаи, Скалистые горы, Аппалачи, Великие равнины) связаны с соответствующими им особыми компенсирующими выступами материкового основания. Некоторые выдающиеся авторитеты, например Гейфорд (Hayford) и Боуи (Bowie), считают, что эти компенсирующие неровности распространяются вплоть до площадей, равных приблизительно одному квадратному градусу широты.

Остается неизвестным, насколько местный компенсирующий выступ может выходить в горизонтальном направлении за пределы того возвышения земной поверхности, которое он поддерживает, да и простирается ли вообще он за эти пределы. По отношению к менее значительным топографическим особенностям представляется очевидным, что благодаря крепости и твердости материковой коры их вес распределяется на смежные участки последней, и местной компенсации быть не может. Несомненно также, что, исходя от отдельных вершин горных хребтов, нельзя получить какие-либо данные для определения той глубины, до которой погружаются вниз компенсирующие выступы. Из дальнейшего выяснится, что такие отдельные выступы оказались бы во многих случаях неустойчивыми. Компенсация горной области должна быть определяема по средней высоте последней или же по высоте эквивалентного ей плоскогорья.

Со времени открытия, сделанного Праттом и Эйри, очень много труда было потрачено на исследование изостазии. Последнюю можно изучать или при помощи отвеса, или при помощи маятника.

Отвесом определяется в любом месте равнодействующая сила тяжести, но наблюдения над отвесом могут дать нам

ценные указания и относительно изостазии, и они привели, как мы видели, к ее открытию.

В самом начале нынешнего столетия Гейфорд произвел в Соединенных Штатах большую геодезическую работу с целью изучения „фигуры земли и изостазии“, и работа эта сделалась исторической. В своей более ранней работе Гейфорд пользовался только отвесом.

Работа состояла в определении геодезической широты и долготы многих сотен пунктов, разбросанных на пространстве 33 штатов. Эти определения были выполнены путем триангуляции (т. е. путем непосредственных измерений, производимых на поверхности земли), причем отдельные пункты связывались с исходной точкой или базой, широта и долгота которой были тщательно определены заранее.

Астрономическая широта какого-либо места определяется углом, образуемым направлением отвеса в данном пункте и плоскостью экватора. Поэтому при таком определении широты принимается, что линия отвеса направлена в точку зенита. Только делая такое допущение, и можно пользоваться отвесом для нахождения широты.

Гейфорд составил таблицы геодезических широт и долгот, а также астрономических широт. При вычитании геодезической широты из астрономической получается некоторая величина — разность, которая может быть положительной или отрицательной и никогда не превышает немногих секунд дуги. Это будет та из слагающих отклонения вертикала (в определенном пункте), которая лежит в плоскости меридиана; отклонением же данного пункта называется угол между наблюдаемым направлением силы тяжести (оно определяется отвесом) и линией, нормальной к некоторому сфероиду, называемому „сфероидом Кларка“ (Clarke), который почти совпадает с поверхностью земли и которым обычно пользуются при геодезических определениях. Если знак разности  $+$ , то зенит, определенный по наблюдаемому направлению силы тяжести, будет находиться на небесном своде несколько севернее, чем зенит, определенный линией, нормальной к сфероиду Кларка. Таким же точно путем определяется отклонение в вертикальной плоскости, проходящей через точки востока и запада, т. е. в плоскости пер-

вого вертикала. В этом случае  $\mp$  обозначает западное отклонение зенита.

Так, например, для города Солт-Лэйк-Сити геодезическая широта составляет  $40^{\circ} 46' 12,38''$ , а астрономическая —  $40^{\circ} 46' 03,36''$ ; получается разность —  $9,02''$ , т. е. линия отвеса отклоняется на этот угол к югу от геодезического зенита.

Для вычисления этих отклонений отвеса прежде всего должны быть учтены все неровности рельефа. Это отчасти и сделал Пратт в своих столь важных вычислениях, которые привели к выяснению этого таинственного явления. Ясно, что холм, находящийся к северу от данного пункта, притянет к себе отвес, что и вызовет в этом месте отклонение зенита к югу. Была затрачена огромная работа, чтобы вычислить на протяжении 4126 км воздействие притяжений, связанных с топографическими особенностями.

Отклонения отвеса от вертикала, зависящие от топографии, были вычислены для всей площади Соединенных Штатов а затем они были сопоставлены с теми отклонениями, которые наблюдались в действительности, и оказалось, что последние значительно меньше первых. Гейфорд пришел к такому логическому выводу: „должно иметь место некоторое воздействие, которое вызывает неполное уравнивание отклонений, зависящих от топографии, и в результате получаются отклонения в том же направлении, но значительно более слабые“. Это та же самая мысль, которая возникла при объяснении наблюдений над Гималаями. Гейфорд приходит к следующему заключению: „Должен существовать некоторый общий закон распределения подземных плотностей, определяющий такое соотношение между этими последними и поверхностными возвышениями, благодаря которому получается неполное уравнивание между отклонениями двоякого рода: с одной стороны, теми, которые зависят от топографии, а с другой стороны, теми, которые вызываются изменениями подземных плотностей. Теория изостазии требует именно такого соотношения между подземными плотностями и возвышениями поверхности“.

В своем более раннем труде Гейфорд не касается наблюдений над силой тяжести. Позже он и Боуи выполнили весьма ценную работу по этому вопросу.

Из многих способов, предложенных для определения силы тяжести, самым надежным является, повидимому, наблюдение над маятником. Качающийся маятник по сущности своей представляет падающее тело, ускорение которого используется на то, чтобы заставить это тело подняться опять почти до исходного его положения. Падение происходит дважды в каждом полном качании, и время этого последнего зависит при этом от напряжения силы тяжести. На полюсах маятник будет качаться быстрее, чем на экваторе, так как на полюсах напряжение силы тяжести более значительно.

Обычно оставляют маятник качаться под действием его инерции минут 40, при чем производятся поправки на удлинение его от изменения температуры, на плотность атмосферы (если маятник не заключен в безвоздушном пространстве) и на колебания, возникающие в подставке. Вычисление напряжения силы тяжести основано на времени качания, определенном путем точного сравнения этого времени с временем качания некоторого маятника, принимаемого за образец. Последний находится на особой станции — базе, для которой напряжение силы тяжести в точности известно благодаря особым исследованиям.

Определение напряжения силы тяжести дает нам средство установить насколько полно выражены условия изостазии в любой точке материковой поверхности. Пользоваться наблюдениями для этой цели можно, однако, не ранее, чем будут подсчитаны возмущения, происходящие от многочисленных причин. Нужно учесть широту и долготу данного места, высоту его над уровнем моря, а также топографические особенности, даже весьма отдаленные, вплоть до находящихся на противоположной стороне земного шара. Вычислив напряжение силы тяжести для какой-либо станции, эту величину сравнивают затем с наблюдаемой. Если обнаруживается разница, то ее называют „аномалией силы тяжести“. Эта аномалия указывает на местное уклонение от совершенной изостазии. Оно обычно незначительно; выражают его в динах\*. По всей земле сила тяжести колеблется около величины в 980 дин, т. е. некоторый падающий на землю тяжелый пред-

---

\* Дина — сила, сообщающая массе в 1 г ускорение, равное 1 см в секунду.

мет (находящийся недалеко от поверхности) получает в секунду ускорение, близкое к 980 см в секунду. В результате наблюдений над силой тяжести при помощи маятника получили, скажем, для некоторой местности (например для Кей-Уэста во Флориде) величину в 978,970 дин. Вычисленная же для этой станции величина равняется 978,957. Разница составляет 0,013 дин, что и считается аномалией силы тяжести для данного пункта\*.

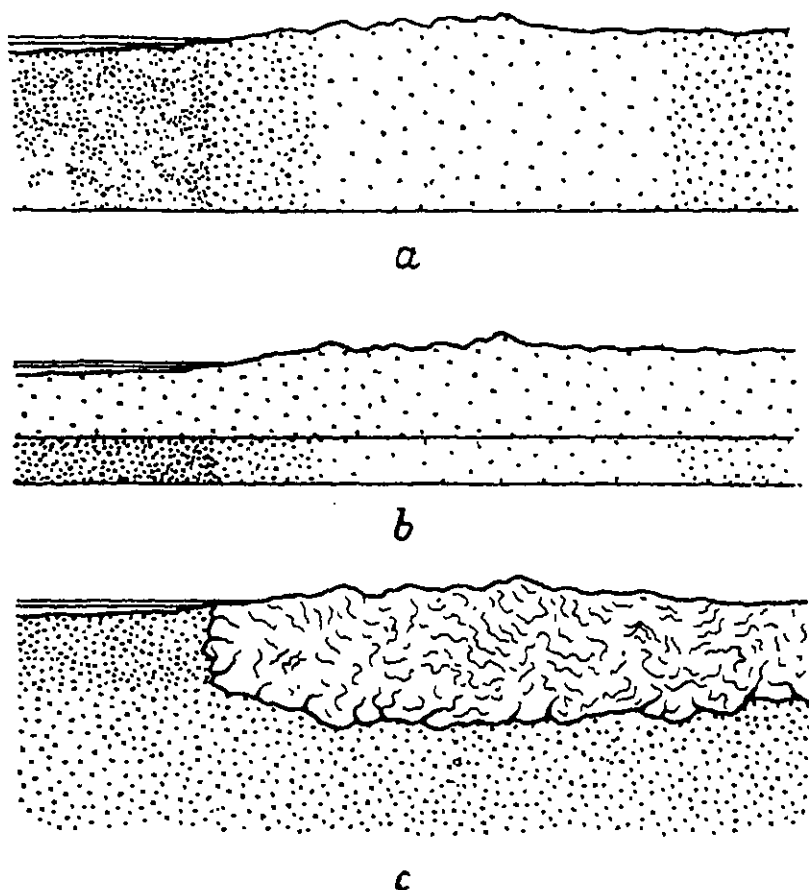
Гейфорд и Боуи в своих вычислениях совершенно не руководствуются тем предположением, что они имеют дело с телом, плавающим вследствие вытеснения им поддерживающей его жидкости. Они принимают такое строение поверхностных частей земли, которое является более удобным для математической обработки. Правда они допускают действие основного закона плавания, который мы уже рассматривали (т. е. что под равными площадями имеются равные массы); однако они приходят к этому, исходя из такого гипотетического распределения плотностей в наружной коре, какое изображено на рис. 4а. Здесь предполагается, что в зависимости от возвышений поверхности изменяется плотность материковой коры выше некоторой плоскости или уровня, соответствующего полной компенсации выше лежащих масс. Под горами кора — легкая, под океанами она — тяжелая и т. д. Таким образом по всей земле под равными горизонтальными площадями будут находиться равные массы. Ту глубину, на которой расположен этот предполагаемый уровень полной компенсации, находят путем проверочных вычислений, цель которых состоит в том, чтобы определить, при каком положении этого уровня аномалии силы тяжести окажутся наименьшими. Под этим уровнем плотность будет одинаковой во все стороны в горизонтальном направлении.

Излишне доказывать, что происхождение подобной материковой коры было бы совершенно необъяснимым. Да

---

\* Величину напряжения силы тяжести вычисляют по следующим данным: широта Кей-Уэста  $24^{\circ} 36,6'$ , долгота  $81^{\circ} 48,4'$ , что дает теоретическую величину напряжения силы тяжести, равную 978,922. Высота над уровнем моря 1 м, поправка на высоту = 0,000. Поправка на топографические особенности и на компенсацию 0,035. Отсюда и получается приведенная выше вычисленная величина напряжения силы тяжести ( $978,922 + 0,035 = 978,957$ ).

если бы даже мы могли объяснить ее происхождение, то боковые давления, которым подвергалась бы в этом случае кора, а также перемещения материалов на поверхности земли, происходящие от вулканической деятельности и от денудации, должны были бы в скором времени нарушить вышеописанное строение коры, и в результате неизбежно установились бы естественные условия плавания, сопровождаемого вытеснением поддерживающей жидкости.



*Рис. 4.* На схематическом чертеже *a* изображена земная кора по теоретическому представлению Гейфорда (однообразные компенсирующие выступы простираются вниз до некоторой определенной плоскости). На черт. *b* изображена земная кора, согласно другому предположению того же автора (компенсирующие выступы приурочены к слою, имеющему 16 км толщины и залегающему на значительной глубине под материками и океанами). На черт. *c* изображено то, что существует, вероятно, в действительности.

Путем особого исследования Гейфорд установил, что наблюдаемые явления одинаково хорошо объясняются, если мы примем другую гипотезу строения земной коры; по этой гипотезе строение земной коры во многих отношениях тождественно с тем, какое должно быть, если мы допустим, что происходит плавание с вытеснением поддерживающей жидкости. Согласно этому последнему предположению о строе

нии земной коры принимается, что непосредственно под материками расположен слой толщиной в 16 км, к которому и приурочены все изменения плотности, обуславливающие изостазию. Толщина коры, находящейся над этим слоем, предполагается равной 40 км и даже 43 км. Оба эти числа согласуются с наблюдениями, при чем последнее несколько лучше, чем первое. Ясно, что предполагаемое в данном случае распределение плотностей весьма напоминает плавание, сопровождаемое вытеснением поддерживающей жидкости: более легкие участки 16-километрового слоя являются компенсирующими выступами, проникающими вглубь в тяжелую магму, более же плотные участки представляют возвышения на поверхности более тяжелой среды. Это вполне соответствует распределению плотностей, изображенному на рис. 4с.

Мы увидим из дальнейшего, что первоначальное предположение Гейфорда о строении земной коры встречает одно неизбежное возражение. Действительно, из этого предположения следует, что та глубина, которой соответствует уровень полной компенсации выше лежащих масс, должна превышать 100 км. Все то, что залегает выше, состоит из материковых пород. Однако можно легко доказать, что на столь значительной глубине в материковых породах должны создаться такие температурные условия, при которых эти породы сделаются неустойчивыми и станут расплавляться снизу. Доказательство этого мы найдем в следующих главах. Мог бы быть только один выход из этого затруднения: нужно было бы предположить, что материковая кора состоит из таких горных пород, которые никогда еще не встречались на земной поверхности.

Много сотен наблюдений было произведено в Индии, во многих областях Европы, в Африке, на океанических островах, а за последнее время в Голландии, и все эти наблюдения говорят в пользу того, что изостатическое равновесие действительно существует. Имеются ясные указания на то, что под океанами залегает более тяжелый материал. Прежние попытки определить силу тяжести на океанах, хотя и подтверждали существование изостазии, не считались вполне надежными. Однако наблюдения последнего времени, производившиеся на подводной лодке, дали возможность определить с большой точностью напряжение силы тяжести на море; при этом приме-

нялся придуманный д-ром Мейнешем (Meinesz) способ двойного маятника, устраняющий действие легких колебаний судна. Наблюдения, произведенные этим путем в экваториальных областях Индийского океана, дали результаты, которые показывают, что эти океанические площади находятся в почти полном изостатическом равновесии с материками; а так как слой морской воды обладает весьма низким удельным весом по сравнению с материковыми породами, то вышеуказанные результаты наблюдений приводят к заключению, что океаническое дно имеет более значительную плотность, чем материки, а также к признанию того основного факта, что эти последние плавают, поддерживаемые именно этой плотной средой.

Для 219 станций Соединенных Штатов средняя величина аномалий составляет  $+0,005$  дин. Для 73 станций Индии была получена такая же приблизительно величина, как и для Соединенных Штатов. Для 42 станций Канады средняя аномалия равняется  $-0,009$ . Данные, полученные недавно для Голландии, очень близки к тем, какие указаны для Соединенных Штатов. В различных местностях Европы были произведены наблюдения, подтверждающие эти данные. Предполагают, что причина аномалии в значительной степени зависит от местных причин. Указанные выше наблюдения в Индийском океане дали среднюю аномалию, равную  $-0,011$ .

Говоря вообще, по всему земному шару компенсация оказалась настолько полной, что это побудило почти всех авторитетных ученых принять теорию изостази, при чем даже утверждают, что она является „фактом“, а не теорией. Баррелль (Barrell) после долгого критического рассмотрения тех результатов, которых достигли Гейфорд, Боуи и другие, говорит: „Вопрос остается нерешенным только в отношении того, насколько компенсация является вполне точной, а также в отношении пределов тех площадей, которые нужно иметь ввиду в данном случае“, иными словами, — представляет ли компенсация местное явление или же она соответствует более обширным площадям. По его убеждению „доказательства, не оставляющие места для возражений, подтверждают“ то, что теория изостази является истинной по своему существу.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

## РЕЗУЛЬТАТЫ НОВЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д-р Гейсканен (Heiskanen) в своей недавней работе („Исследование силы тяжести и изостазии“), [20] подвергает рассмотрению не только изостатические аномалии, наблюдавшиеся в Европе и на Кавказе, но также и те, которые Гейфорд и Боуи установили для Соединенных Штатов. В своих вычислениях автор исходит вначале из предположений Гейфорда, а затем из гипотезы Эйри, изложенной в предыдущей главе. Он приходит к тому заключению, что определения силы тяжести согласуются более с гипотезой Эйри, чем с гипотезой Гейфорда.

Д-р Дж. У. Эванс (J. W. Evans) рассматривает в своей статье [21] как эту, так и другие новейшие работы, приводящие к тому же заключению, и высказывает свои собственные воззрения, которые вполне с ними согласуются.

---

### III. МАТЕРИКИ И СУБСТРАТ

**М**Ы имеем все основания считать, что материки по своему строению значительно менее однородны, чем поддерживающий их субстрат. Последний в тех местах, где он благодаря присутствию плато-образующих базальтов становится доступным нашему изучению, поразительно однообразен не только по химическому своему составу\*, но и по физическому строению.

С другой стороны, мы находим на поверхности земли множество указаний на то, как велико разнообразие горных пород, которые постоянно встречаются под нашими ногами. Оставляя в стороне сравнительно тонкий слой осадочных образований, мы видим породы глубинного происхождения, которые обнаруживают большие различия как по своим физическим свойствам, так и по тем минералам из которых они образованы. Хотя обычно эти породы и сходны между собой по высокому содержанию кремнезема, однако они представляют много разновидностей по структуре и по минералогическому составу: таковы, например, граниты, гнейсы, анортозиты, сиениты, диориты и т. д., при чем породы гранитового типа значительно более распространены, чем остальные.

Баррелль получил для материковых пород среднюю плотность 2,67; при этом он исходил из тех пород, которые встречаются на земной поверхности; этой величиной и пользовался Гейфорд в своих вычислениях, упоминавшихся в предыдущей главе. Если на более или менее значительной глубине преобладание гранитов выражено еще сильнее, чем на поверхности (а это представляется весьма правдоподоб-

---

\* См. приложение к главе I.

ным), то указанная выше величина должна, повидимому, быть верной, так как средняя плотность гранитов равняется 2,66.

Теперь мы должны поискать указаний относительно толщины материковой коры. Нельзя, конечно, ожидать, что мы узнаем это в точности, однако и приблизительные определения будут весьма ценными. Имеются некоторые указания, исходя из которых мы можем получить нужные нам сведения. К счастью, те данные, которыми мы в этом случае располагаем, являются весьма разнородными, а поэтому очень убедительным представляется тот факт, что выводы, к которым мы приходим на основании этих совершенно различных данных, согласуются между собой.

Прежде всего мы рассмотрим метод, основанный на указаниях сейсмологии.

Записи тех сотрясений, которые достигают сейсмических станций, обнаруживают присутствие двух главных типов волнообразных движений, происходящих из сейсмического очага, или источника землетрясения. Причина подземного толчка в точности неизвестна. Какого бы, впрочем, происхождения ни был этот толчок, от него исходит энергия, лучеобразно распространяющаяся по всем направлениям в форме волнообразных движений. Наиболее быстро движущиеся волны по природе своей являются волнами сжатия, подобно звуковым. Они первыми достигают отдаленных станций; это — волны малой амплитуды, которые известны под названием „предварительных дрожаний“. Они наблюдаются до тех пор, пока, после некоторого промежутка времени (зависящего от расстояния очага землетрясения), их не поглотят другие волны значительно большей амплитуды.

Достоверно известно, что эти более медленно распространяющиеся колебания являются волнами другого рода. Есть основание считать, что по своему характеру это — волны кручения, т. е. такие, какие должны возникнуть в том случае, если некая упругая среда будет подвергнута скручиванию, а затем возвратится к своему прежнему состоянию. Подобные волны возникнут в натянутой проволоке, если она подвергнется мгновенному резкому скручиванию.

Было установлено, что, если очаг землетрясения отстоит далеко от станции, то эти два рода волн ясно отделены один от

другого, при чем волны сжатия доходят первыми. Однако резкое разделение их наблюдается только тогда, когда место их возникновения находится на расстоянии, превышающем примерно 10 градусов. Разделение этих двух родов волн не может происходить в разнородной среде материковых пород, потому что в такой среде волны будут все время отражаться и преломляться в то время, когда они будут проходить по породам различной плотности и различной упругости; при этом волны должны будут сделаться сложными. Разделение их может иметь место только в однородной среде, в которой и проявится различная скорость их распространения.

Прежде чем волны достигнут станции, отстоящей на  $10^\circ$  от места их возникновения, они должны пройти значительное расстояние по субстрату, как это можно видеть по теоретическим путям сейсмических волн, определенным Ноттом (Knott) [22]. Исходя из этого Ольдгем (Oldham) вычислил для толщины материков величину в 30 км. Основываясь на тех же данных, Вихерт (Wiechert) считает, что материковые породы простираются до глубины в 35 км.

Для определения средней толщины материков существует еще и совершенно иной способ, который основан только на двух факторах: на радиоактивности материковых пород и на том количестве теплоты, утекающей с земной поверхности, которое определяется термическим градиентом. Подробности будут приведены в следующей главе. Полученный этим путем вывод согласуется с указаниями сейсмологии.

Наконец, мы только что видели из предыдущей главы, что материковая кора, обладающая мощностью около 30 км и плавающая на распространенном повсюду базальтовом субстрате, должна вполне отвечать требованиям изостатического равновесия океанов и материков.

Мы видим таким образом, что относительно толщины материков все указания говорят в пользу величины от 30 до 35 км. Писавшие по этому вопросу авторы предлагали также несколько меньшие и несколько большие числа.

Как мы уже неоднократно указывали, существует предположение, что материки плавают на повсюду распространенном субстрате; последний представляет вязкую и плотную

породу (базальтовую по составу), которая вышла бы на дневную поверхность на  $\frac{5}{7}$  земного шара, если бы из океанов была удалена вода\*. Мы видели в главе II, что этот взгляд имеет за собой весьма веские доказательства. Мы можем сослаться здесь еще на дальнейшие подтверждения этого важного вывода.

Было найдено, что скорость первичных сейсмических волн в том случае, когда они распространяются по дну Тихого океана, значительно больше той скорости, с какой они проходят по материковым породам. Эти скорости составляют  $3,891 \pm 0,028$  км в секунду и  $3,801 \pm 0,029$  км в секунду [24]. Ангенгейстер (Angenheister), определявший разности между скоростями этих двух родов поверхностных сейсмических волн, нашел, что скорость главных волн, в случае их распространения по дну Тихого океана, на 21 — 26% превышает скорость этих же волн, когда они проходят по материку Азии [25]. Вегенер (Wegener), делая свои замечания по поводу этих выводов, подчеркивает то обстоятельство, что они согласуются с теми предполагаемыми теоретическими величинами, которые были получены на основании физических свойств вулканических изверженных пород. По его мнению эти различия указывают на то, что дно океанов состоит из более тяжелого материала. Он говорит: „Следует отметить, что мы имеем здесь дело с поверхностными волнами, так что эти данные являются положительным доказательством того, что на дне океанов совершенно отсутствует внешняя кора; состоящая из более легких пород“ [26].

Далее Вегенер ссылается на косвенные доказательства, основанные на распределении земного магнетизма [27]. Это распределение можно легче всего объяснить, если предположить, что океаническое дно является более магнитным, чем материки, а такой результат и получился бы, если бы это дно состояло из базальта.

Коротко говоря, мы видим полное согласие свидетельств в пользу того, что океаническое дно состоит из базальта,

---

\* Может показаться, что, говоря так, мы не уделяем должного внимания тем илам и глинам, которые в продолжение геологического времени скопились на океаническом дне. Однако, исходя из того, что мы знаем о денудации, происходящей путем растворения, нетрудно доказать, что средняя мощность этих осадков не может превышать 200 м [28].

а следовательно, и в пользу того, что существует базальтовый субстрат. Это доказывают: огромные истечения базальтов, происходившие в геологическое время; одинаковый химический состав этих базальтов; то обстоятельство, что изостатические условия распространяются и на поверхность океанов; характер передачи сейсмических волн под материками и по океаническому дну; распределение земного магнетизма. Наконец, мы имеем еще убедительное свидетельство истории земной поверхности, как это будет видно из дальнейшего.

Теперь мы должны перейти к рассмотрению взаимоотношений плавающей коры и вязко-твердого субстрата. В предыдущей главе нам удалось определить приблизительно, на какую в среднем глубину материка погружены в субстрат. Мы нашли, что эта глубина равна 26 км. Чем же это может быть обосновано?

Мы принимаем, что материка сложены главным образом из гранитов, а субстрат состоит из базальта. Для материковых пород мы принимаем среднюю плотность 2,67, а для субстрата 3,0, что будет соответствовать плотности габбро, т. е. глубинного представителя базальтов. Мы допускаем далее, что давления и температуры, господствующие на различных уровнях, должны воздействовать более или менее одинаково на обе эти породы, т. е. на их плотности в твердом состоянии. Это допущение (т. е. что отношение плотностей, наблюдаемое на земной поверхности, сохраняется и в глубине до тех пор, пока обе породы остаются твердыми), по всей вероятности, весьма близко подходит к действительному положению вещей.

Мы считаем, что температура, существующая у основания материков, господствующая там как в субстрате, так и в материковых породах, соответствует точке плавления субстрата на данном уровне.

Основываясь на этих предположениях, мы можем воспользоваться геодезическими определениями высот как средством для вычисления средней глубины, на которую материка погружены в субстрат. Мы нашли, что выдающаяся над субстратом часть материков (с поправкой на давление океанов) достигает высоты в 3,22 км. Далее, коэффициент пловучести (мы можем принять такой термин), выводимый из отношения плотности материков к плотности субстрата,

равняется приблизительно 8. Иными словами, объем погруженной части в 8 раз больше объема той части, которая выдается над субстратом. Таким образом глубина погружения материков (т. е. их „подводной части“) будет около 26 км. Если мы добавим еще среднюю высоту материков над дном океанов (которое является поверхностью субстрата), т. е. 4,62 км, то получим, что средняя мощность материкового слоя будет около 31 км.

Как это видно из предыдущих страниц, мы имеем еще и другое, совершенно независимое доказательство, подтверждающее то, что мы недалеко от истины.

Мы можем теперь, если пожелаем, принять это подтвержденное положение за исходное и можем считать, что произведенные нами вычисления подтверждают наше предположение о том, какие плотности должны господствовать в глубоких недрах, т. е. там, где существуют те условия, которые позволяют материкам плавать на субстрате.

Посмотрим, к чему приводят эти условия. Плоскогорье, занимающее обширную площадь, как, например, Тибетское, должно быть компенсировано самостоятельно. Его средняя высота над уровнем моря считается равной 4,575 км. Поэтому высота его над средней поверхностью материков составит  $4,575 - 0,820 = 3,755$  км\*. Пользуясь коэффициентом 8, получаем искомую глубину направленного вниз компенсирующего выступа, которая будет составлять около 30 км. Если даже наш коэффициент чрезмерно велик, и мы должны принять другой, соответствующий несколько меньшей плотности материковой толщи, то можно показать [28], что температура внутри этого громадного компенсирующего выступа, происходящая от его собственной радиоактивности, может местами доходить до  $1500^{\circ}$ ; а этого (при условиях, господствующих на земной поверхности) будет вполне достаточно для того, чтобы полевые шпаты, гранитов расплавились или размягчились, хотя главная масса породы (кварц) останется твердой\*\*. Это, впрочем, является крайним случаем; плоскогорье, значительно более высокое, чем Тибетское, было бы термически неустойчивым.

\* 0,820 км — высота среднего уровня материков над уровнем моря.

\*\* Точка плавления кварца близка к  $1700^{\circ}$ .

Все эти рассуждения вскрывают перед нами мрачную и величественную картину своеобразного преисподнего мира. Тем не менее это не сон: образ этот логически вытекает из прозаических фактов и связанных с ними выводов.

Средняя высота материков весьма неравномерна. Вычислено, что Европа в среднем возвышается над уровнем моря на 300 м, Азия — на 950 м, Африка — на 650 м, Австралия — на 350 м, Северная Америка — на 700 м, Южная Америка — на 580 м, Антарктический материк — на 2 000 м. Средняя высота всей площади суши над уровнем моря будет около 800 м. Так как компенсирующие выступы материков погружаются в субстрат до глубин, пропорциональных этим числам, оказывается, что у Азии эти выступы достигают в среднем такой глубины, которая в 3 раза превосходит среднюю глубину для выступов Европы, а у Северной Америки среднее погружение компенсирующих выступов более чем в 2 раза значительнее, чем у Европы.

Так как субстрат состоит из базальта, то в связи с этим физические особенности этой породы приобретают для нас большое значение. К сожалению, данные, которыми мы располагаем, не соответствуют тем условиям давления, какие мы имеем ввиду, когда обсуждаем процессы, происходящие в субстрате. Прежде всего мы остановимся на точке плавления базальта.

Упомянувшиеся уже опыты Дэй, Сосмана и Гоштеттера указывают, что нормальный оливиновый диабаз, являющийся вполне выкристаллизованным, т. е. свободным от стекла базальтом, начинает плавиться около  $1\ 150^{\circ}\text{C}$  и легко течет при  $1\ 225^{\circ}\text{C}$ . При обратном процессе (т. е. при охлаждении) расплавленная порода остается жидкой до  $1\ 050^{\circ}\text{C}$ . Затем она внезапно кристаллизуется с резким повышением плотности.

Автор настоящей книги производил опыты, применяя метод, совершенно отличный от того, каким пользовался Дэй, и ему удалось обнаружить, что базальт легко течет при  $1\ 160\text{—}1\ 170^{\circ}$  [29].

При возрастающем давлении точка плавления будет повышаться, но не беспредельно\*. По аналогии со свойствами

\* См. приложение к этой главе.

некоторых органических веществ можно заключить, что с увеличением давления температура плавления сначала будет повышаться, а затем в конце концов начнет понижаться при дальнейшем возрастании давления. Однако те давления, которые необходимы для того, чтобы вызвать подобное явление у силикатов, должны быть очень велики. Эта стадия достигается только тогда, когда изменение объема тела, сопровождающее его расплавление, перестает быть положительным, а это произойдет в то время, когда давление (которое вообще оказывает более ощутительное воздействие на жидкости, чем на твердые тела) сделается достаточным для того, чтобы воспрепятствовать возрастанию объема. Фогт (Vogt) пришел к заключению, что давление, производимое толщею пород, мощность которой равняется 40 км, должно повысить точку плавления на 50°, и что наивысшая точка плавления будет достигнута на глубине в 150 км [30].

Нам известны (хотя, быть может, и не вполне точно) те физические условия, от которых зависит плавание материков на субстрате, и для нас очень важно воспользоваться этими сведениями для решения вопроса о том, как должна измениться способность магмы поддерживать плавающие на ней материи, если субстрат из твердого состояния перейдет в жидкое. Мы, действительно, увидим из дальнейшего, что хотя теперь субстрат и находится в твердом состоянии, однако прежде он был жидким и что в отдаленном будущем он неизбежно должен будет снова перейти в жидкое состояние. Как же это изменение должно воздействовать на поднимающуюся над магмой часть материков?

Когда мы в лаборатории расплавляем базальт, то гранит легко плавает в этой жидкой породе, при этом выдается наружу значительная его часть, и мы получаем такое впечатление, что гранит неопределенно долго будет сохранять эту способность плавать. Оказывается, что полевой шпат несколько расплавляется, образующий же главную массу кварца не подвергается изменению.

Возвращаясь снова к тем результатам, которых достигли Дэй, Сосман и Гоштеттер, мы видим, что, по лабораторным наблюдениям, при 1150° (как раз при этой температуре начинает плавиться кристаллический базальт) разность объемов жидкого базальта и кристаллического составляет 12% по-

следнего (при данной температуре). Барюс (Barus) получил несколько меньшую величину (см. приложение к настоящей главе), равно как и автор настоящей книги, который пользовался при этом другим методом исследования.

Если сделать грубый подсчет тех последствий, которые повлечет за собой возрастание объема субстрата на 12%, то происходящее при этом уменьшение плотности оказывается, как и следовало ожидать, более чем достаточным для того, чтобы объяснить оседание материков в тех его размерах, о которых мы знаем из исторической геологии.

Хорошо известно, что жидкости значительно легче поддаются сжатию, чем твердые тела. Жидкости представляют промежуточное состояние между твердым и газообразным. У них сжимаемость будет иного порядка, чем у твердых тел. Так, например, сжимаемость последних — т. е. уменьшение их объема от давления в 1 мегабар\* — выражается в величинах от  $0,5 \times 10^{-6}$  (сталь) до  $3,0 \times 10^{-6}$  (стекло), между тем как сжимаемость жидкостей будет  $78 \times 10^{-6}$  (терпентин),  $62 \times 10^{-6}$  (оливковое масло),  $25 \times 10^{-6}$  (глицерин),  $43 \times 10^{-6}$  (вода).

Из этого мы заключаем, что нельзя оставить без внимания воздействие давления, раз мы имеем дело с жидким базальтом, хотя это и было вполне допустимым, когда мы рассматривали отношение объемов твердого гранита и твердого базальта.

Сжимаемость большинства жидкостей при давлении в 1 атмосферу колеблется около величины 0,00005 (она должна достигнуть 5% при 1 000 атмосфер.) Поэтому мы имеем полное основание ожидать, что при давлении, превышающем 8 000 атмосфер, возрастание плотности жидкого базальта, выраженное в процентах, составит по крайней мере несколько единиц.

Если мы учтем это и сделаем еще некоторые допустимые предположения, то мы можем составить себе некоторое представление о том, в какой мере материка могут быть затоплены морем. Из нашего предыдущего вычисления мы получили, что в настоящее время материка на 26 км погру-

---

\* Мегабар соответствует давлению одного миллиона дин на 1 см<sup>2</sup>. Это составляет около одной атмосферы.

жены в субстрат, который находится теперь в твердом состоянии и имеет плотность 3,00. Выдающаяся из него часть материков, измеряемая до средней высоты их поверхности, поднимается до 4,62 км. Средняя глубина моря равняется 3,80 км (по Мёррею) и высота среднего уровня материков над морским уровнем составляет 0,82 км.

Когда субстрат станет расплавляться, плотность его будет понижаться. Допустим, что она уменьшится на 7%, т. е. она сделается равной 2,79. Воздействие этого изменения на высоту материков будет проявляться постепенно, потому что сперва, когда расплавление только начинается, дно океанов обладает еще достаточной толщиной и так охватывает материки, что на последних еще не отражается уменьшение плотности субстрата; однако, по мере того как это дно становится тоньше, изменение плотности начинает все более и более сильно сказываться на материках. Предположим, что толщина дна дойдет до некоторого минимума — около 6 км, вследствие чего материки окажутся непосредственно погруженными в расплавленный субстрат приблизительно на 20 км. Плотность этого субстрата на 7% меньше плотности вязко-твердого базальта, который прежде держал на себе материки, а поэтому последние должны еще опуститься вниз в соответствующей пропорции, т. е. они погрузятся на 7% от 20 км, что составит 1,4 км. Поверхность материков в тех местах, где она достигает средней их высоты, окажется под водой на глубине  $1,4 - 0,82 = 0,58$ . По мере того как материки будут затопляться морем, уровень его будет понижаться; он должен опуститься также и вследствие того, что в это время произойдет увеличение площади океанического дна\*. Эти воздействия незначительны; кроме того, они компенсируются тем, что нахлынувшие моря будут своею тяжестью давить на материки. Можно принять, что все поправки сведутся к тому, что материки останутся опущенными на 1,4 км по отношению к господствующему уровню океанов.

Согласно геодезическим данным Вагнера [31], это поведет к тому, что материки утратят 80% своей площади. Хотя эта величина является только приблизительной, однако она указывает, что предполагавшееся нами понижение плотности

\* См. главу VI.

субстрата на 7% в действительности будет, вероятно, меньше. В точности не известны ни глубина надвигавшихся морей, ни величина их поверхности. Из летописей истории земли мы знаем, что обширные материковые пространства перемещались в вертикальном направлении гораздо более чем на 1,4 км; это происходило в конце третичного периода и в начале плейстоцена [32]. На палеогеографических картах Уиллиса (Willis) [33], относящихся к концу среднего кембрия, к верхнему кембрию, среднему ордовицию, силуру и среднему девону, мы видим, что материковые моря покрывают значительно более половины Северной Америки. Карты, которые составил Грабау (Grabau) [34], изображают нам еще большее наступание морей в палеозойскую эру и почти полное затопление Северной Америки в кембро-ордовицкие времена. Ряд палеогеографических карт, составленных Арльдом (Arldt) на основании работ многих авторитетных ученых, подтверждает эти воззрения и указывает, что очень близкие к этому условия установились в Евразии в ордовицкий и силурийский периоды [35]. Однако согласно, воззрениям некоторых авторитетов, представляется неправдоподобным, чтобы вся площадь суши могла уменьшиться одновременно более чем на 50%.

Как мы указывали уже на стр. 16, большая часть материков покрыта породами, которые явно свидетельствуют о том, что в прошедшие времена значительная часть суши находилась под поверхностью океанов. Из сказанного выше представляется очевидным, что если бы субстрат стал расплавляться, и если бы переход его в жидкое состояние сопровождался изменением его объема всего только на 4% или 5%, то произошло бы опускание материков, вполне достаточное для того, чтобы вызвать затопление их морем. В дальнейшем мы остановимся еще на этом объяснении.

Имеются убедительные доказательства в пользу того, что в нынешнее время субстрат пребывает в твердом состоянии\*. По отношению к быстро изменяющимся усилиям он ведет себя как твердое и упругое вещество. Несомненное доказа-

---

\* Тем не менее субстрат, повидимому, ведет себя как вязкое тело по отношению к значительному и длительному воздействию сил, вследствие чего, вероятно, он и может отвечать на проявление подобных сил; именно благодаря этому и существует изостатическое равновесие, которое устанавливается в соответствии с более крупными чертами земной поверхности.

тельство его твердости дают нам сейсмические волны, доходящие до какой-либо станции из отдаленного места, где происходят подземные толчки: потому что, как было выяснено выше, эти волны по своему характеру в значительной степени являются волнами кручения, а таковые не передаются жидкой средой. Во всяком случае вполне достоверно то, что, пройдя многие сотни и тысячи километров по субстрату и пронизав последний на значительных глубинах, эти волны не изменяются и сохраняют свою энергию. Отсюда можно заключить, что в состав субстрата не могут входить непрерывные слои жидкого вещества.

Имеется, однако, еще другое доказательство в пользу твердости субстрата; доказательство это основано на явлении приливов, происходящем от притяжения солнца и луны.

В теории приливов объясняется, что жидкая оболочка, покрывающая землю, должна перемещаться как целое вследствие притяжения солнца и луны. Достаточно будет рассмотреть более мощную из этих сил, а именно ту, которую проявляет луна.

Если мы предположим, что земля покрыта слоем жидкости без трения, то вызываемые приливом выступы этой жидкости должны будут постоянно располагаться — один непосредственно под луной, а другой с противоположной стороны земли, как это изображено на рис. 5. Жидкость притекает отовсюду в эту приливную волну, которая сообщает земле форму яйца, один конец которого обращен к луне, а другой — в противоположную сторону. Если же, однако, жидкость будет производить трение, то образование приливной волны будет запаздывать; она будет перемещаться вследствие вращения земли и примет положение, изображенное на рис. 6.

Отметим теперь, что притяжение, производимое луной на ближнюю приливную волну, должно оказывать воздействие на вращение земли, замедляя скорость его. Действительно, хотя притяжение, производимое луной на вторую приливную волну, более удаленную от нее, действует в противоположном направлении, все же более сильным оказывается притяжение, производимое на первую волну, находящуюся на той стороне земли, которая обращена к луне.

Рис. 6 соответствует приливу, который возникает в слое жидкости, имеющем весьма значительную мощность. При

океанических приливах как непосредственно под луной, так и с противоположной стороны земли будет находиться не полная вода, а малая. Однако и в этом случае происходящее от прилива трение будет стремиться замедлить вращение земли вокруг оси. Произойдет это от того, что при тонком слое воды, каковым является океан, действие трения будет стремиться передвинуть приливную волну назад, т. е. с востока на запад. Поэтому замедляющее воздействие проявляется в том же направлении, как и в случае более мощного слоя жидкости. Воздействие это такого же рода, как если бы к вращающейся земле был приложен тормоз. Период вращения планеты должен понемногу увеличиваться, и продолжительность суток должна возрасти. В нынешнее время имеются доказательства, говорящие в пользу того, что с весьма

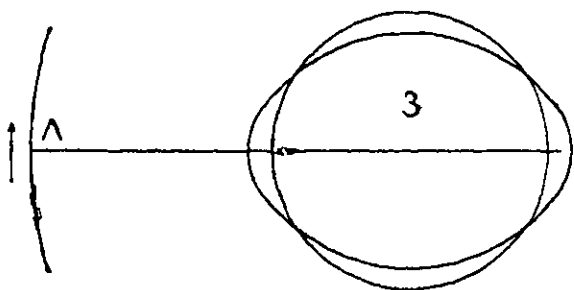


Рис. 5.

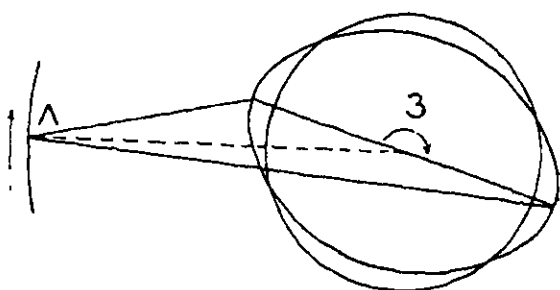


Рис. 6.

отдаленных исторических времен могло произойти только весьма незначительное удлинение суток, настолько незначительное, что уловить его можно было только с большим трудом, исходя из летописных указаний о древних затмениях. Сутки удлиняются, приблизительно, на одну тысячную секунды в столетие или на одну минуту в шесть миллионов лет.

Лёв (Love) обсуждал этот вопрос в недавнем своем докладе, сделанном им в Королевском обществе, и пользовался для его освещения новейшими успехами в области знания. Вот его заключительные слова: „Представляется, тем не менее, вполне возможным, что земля состоит из весьма плотного и твердого ядра, заключенного в более легкую тонкую кору, с которой оно соединяется при посредстве твердого вещества. Кора эта является твердой в большей своей части и по прочности ее можно сравнить с гранитом (около  $\frac{1}{3}$  прочности стали); кроме того, эта оболочка обладает пустотами, в которых содержится расплавленное вещество. Представляется, однако, невозможным, чтобы это расплавленное

вещество располагалось непрерывным слоем, отделяющим внешние части земли от внутренних“ [36].

Джордж Дарвин (Darwin), подвергший рассмотрению этот вопрос, приходит к не менее решительному заключению: „Хотя имеется много ученых (главным образом среди геологов), которые верят в существование жидкого вещества, находящегося непосредственно под твердой корой земли, однако для большинства людей науки доводы, излагаемые мною в общих чертах, являются убедительными для того, чтобы опровергнуть подобное предположение“ [37].

Рассматривая приливы с другой точки зрения, мы находим еще новые доказательства в пользу обсуждаемого нами положения. Как показали Кельвин (Kelvin) и Дарвин, результаты тщательных и систематических измерений, производившихся над приливами, подтверждают то воззрение, что земля, рассматриваемая как единое целое, является твердой. Математически доказывается, что если бы существовал жидкий субстрат, или если бы земля не была вполне твердой, то океанические приливы не достигали бы своей теперешней амплитуды. Объясняется это тем, что если бы земной шар сам подвергался приливной деформации, то океанические приливы по своей величине представляли бы только разность между общим приливым эффектом и амплитудой приливной волны в земной коре. До некоторой степени эти приливы и на самом деле таковы, потому что тело земли не обладает все-таки совершенной твердостью. Приливы в значительной степени утратили бы свою отчетливость, если бы субстрат материков был жидким.

Что в нынешнее время субстрат является твердым — это можно считать вполне достоверным. Как будет видно из дальнейшего, одинаково достоверно и то, что он при этом сильно нагрет.

Нотт, обсуждая вопрос о сейсмических волнах и упругости земли [38], касается противоречия, которое как будто бы возникает, если мы сопоставим, с одной стороны, вулканизм, сопряженный с извержением жидких материалов, а с другой стороны, различные волнообразные движения, которые, как известно, передаются через субстрат. Он говорит так: „Каковы бы ни были свойства материалов, залегающих непосредственно под доступной для нас корой, они должны

на некоторой глубине перейти в сильно нагретое и почти однородное вещество, которое проявляет себя как упругое и твердое тело, обладающее двумя родами упругости, дающими начало так называемым волнам сжатия и волнам кручения“.

Имеем ли мы какие-либо сведения о той глубине, до которой простирается субстрат? На это можно ответить, что сейсмология и в этом случае приходит к нам на помощь, и хотя она и не вполне отвечает на этот вопрос, но все же дает нам ценные указания.

Ольдгем в речи, произнесенной им в 1922 г. на торжественном заседании Лондонского геологического общества, выражает уверенность в том, что „действительный и самый первоначальный источник землетрясений должен находиться глубже поверхностных пород“. Позже, рассматривая землетрясение, имевшее место в северной Италии, он приурочивает его очаг к глубине, находящейся примерно в 160 км от поверхности [39]. Тёрнер (Turner) также поддерживает то воззрение, что очаг многих землетрясений, которые дают хорошие записи на далеких расстояниях, лежит на глубине около 200 км и приводит случаи, когда глубина очага колеблется между 80 и 480 км от поверхности. Пильгрим (Pilgrim) вычислил, что очаг одного землетрясения находился на глубине в 160 км от поверхности. Банерджи (Banerji) подвергает проверке определения глубин, сделанные Тёрнером, и приходит к заключению, что наибольшая глубина, которую можно вывести из стационарных записей, должна быть все же менее 200 км: она может соответствовать некоторой величине, близкой к 100 км [40].

Едва ли можно сомневаться в том, что очаги землетрясений должны находиться в субстрате; однако нельзя, конечно, с достоверностью установить, что базальтовая область простирается так далеко вглубь земли. Нам неизвестны кремнеземистые породы, более плотные, чем перидотиты и родственные последним магмы, которые, как мы уже видели, по своим свойствам близки к ультра-основным силикатам, найденным в каменных метеоритах. Металлическое ядро земли должно залегать еще глубже. Представляется вероятным, что базальтовая оболочка, находящаяся под основанием материков, продолжается вглубь от 150 до 300 км, и что за ней следует

4. История поверхности земли.

ультра-основная оболочка. Однако, по мере того как мы будем все далее и далее углубляться в недра земли, наши предположения будут становиться все более умозрительными.

С течением времени мы, быть может, расширим наши сведения о субстрате. Имеется достаточно побудительных причин для этих исследований, так как происходящие в нем изменения определяют историю поверхности земли.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Воздействие давления на точку плавления

Хорошо известное термодинамическое уравнение Джемса Томсона (James Thomson) устанавливает отношение между точкой плавления и давлением. Вот это уравнение:

$$\frac{d\theta}{dp} = \frac{\theta (V_2 - V_1)}{L}$$

$\theta$  — точка плавления, отсчитываемая от абсолютного нуля (т. е.  $^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}$ ),  $p$  — давление в атмосферах (1 атм. = 1 033 г на 1 см<sup>2</sup>);  $L$  — скрытая теплота плавления в калориях, выраженная как работа (1 г-калория = 42 800 г см);  $V_2 - V_1$  — возрастание удельного объема (т. е. выраженное в см<sup>3</sup> увеличение объема, которое обнаруживает 1 г данного вещества при расплавлении).

Из этого уравнения можно вывести некоторые ценные заключения общего характера, но оно не применимо к большим глубинам, потому что еще не имеется достоверных сведений о том, как изменяются с глубиной возрастание объема и скрытая теплота плавления.

Как мы видим, из этого уравнения следует, что положительное изменение объема (т. е. расширение), сопровождающее плавление, ведет к повышению точки плавления при возрастающем давлении; отрицательное же изменение объема (т. е. сжатие) ведет к понижению точки плавления при возрастающем давлении. Так, точка плавления льда (одного из немногих веществ, обнаруживающих отрицательное изменение объема) понижается на 0,0075° С при увеличении давления на 1 атмосферу. На больших океанических глубинах точка

плавления льда должна быть на 7—8° ниже, чем у поверхности моря. Иными словами, на таких глубинах пресная вода не может замерзнуть, пока не охладится до 7° или 8° ниже 0° С.

Горные породы при расплавлении обнаруживают положительное изменение объема. Поэтому часть их, оставшаяся твердой, должна потонуть в расплавленной их части. Нельзя ожидать, что это будет происходить при очень высоких давлениях, так как жидкости обладают более значительной сжимаемостью, чем твердые тела. Поэтому можно ожидать, что такие материалы, как горные породы, имеют максимум точки плавления; он соответствует давлению, при котором нет изменения объема. Опыты, произведенные Тамманом (Tammann) над некоторыми органическими веществами, выяснили это условие; оно состоит в том, что  $\frac{d\theta}{dp}$  становится = 0. Дельтер думает, что для породы, которая в обычных условиях расплавляется при 1100°, максимум точки плавления должен лежать между 1300° и 2000°; он будет достигнут на глубине от 150 до 370 км.

Бесполезно строить предположения относительно того, что будет происходить на еще более значительных глубинах. Следовало бы, однако, иметь ввиду, что для нас совершенно непостижимы такие условия, которые позволили бы тепловой энергии бесконечно накапливаться. В конце концов должно создаться неустойчивое положение. Освобождение же энергии необходимым образом повлечет за собой переход ее кверху. Раньше или позже, но это должно совершиться; при чем благоприятное условие для такого перехода энергии будет заключаться в том, что верхние части субстрата начнут терять свою твердость (это изменение будет распространяться сверху вниз). Можно поэтому ожидать, что энергия, сосредоточенная в глубине субстрата, найдет себе выход: она будет переноситься благодаря направленным кверху движениям магмы, которые в течение геологической истории должны повторяться через некоторые промежутки времени, как это и будет изложено в дальнейших главах [41].

## ПЕРЕХОД КВАРЦА В КРИСТОБАЛИТ И ТРИДИМИТ

Мы высказали выше наше предположение о той плотности, которой обладают материковые породы в тех местах, где они подвергаются действию высокой температуры; это предположение может оказаться ошибочным в одном отношении. Известно, что кварц, содержащийся в гранитах в количестве от 25 до 35% [42], переходит в аллотропическую разность при 1000° и обычном атмосферном давлении: он изменяется в кристобалит — особую разность кремнезема, обладающую более низкой плотностью. В присутствии же воды кварц при 870° может перейти в тридимит; это вещество тоже имеет меньшую плотность, чем кварц [43]. Дэй, Сосман и Гоштеттер измерили изменения объема кварца при различных температурах до 1600°. Уменьшение плотности при высокой температуре было хорошо заметно. Эти ученые исследовали также изменение объема гранита, и в этом случае тоже можно было видеть, как проявлялось изменение, связанное с переходом кварца в кристобалит. При 20° у кристобалита удельный объем на 13,4% больше, чем у кварца. Поэтому, если бы в каком-либо граните кварц перешел в кристобалит, то возрастание объема (или уменьшение плотности), происходящее от одной этой причины, составило бы около 4% [44].

Если бы это изменение произошло в глубинах, где материковые породы находятся при температуре, превышающей 1000°, то в этих отдаленных недрах земли плотность рассматриваемых нами пород была бы не 2,67, а приблизительно 2,56. Мы не можем, однако, принять эту плотность, не имея дальнейших доказательств. Возможно, что такого изменения там не будет происходить вследствие тех высоких давлений, которые господствуют на этих глубинах (около 8000 атмосфер). Это подтверждается и тем фактом, что кристобалит (который является стойким веществом) не был обнаружен ни в гранитах, достигших дневной поверхности, ни в каких-либо других близких к ним породах.

ОПУСКАНИЕ МАТЕРИКОВ, СОПРОВОЖДАЮЩЕЕ РАСПЛАВЛЕНИЕ  
СУБСТРАТА

Приводимые в главе III вычисления, относящиеся к опусканию материков, можно было бы непосредственно сопоставить с опытными данными, пользуясь при этом результатами работ Дугласа (Douglas) и Барюса. Дэйли дал возможность применять эти выводы в более удобной форме: он вычислил удельные веса некоторых важных пород при различных температурах как в твердом, так и в расплавленном состоянии [45].

На основании этих последних данных мы находим, что габбро, плотность которого при  $20^{\circ}$  равняется 3,0, обладает при  $1000^{\circ}$  плотностью 2,92; между тем как гранит, плотность которого при  $20^{\circ}$  равна 2,7, обнаруживает при  $1000^{\circ}$  плотность 2,63. Последняя будет близка к 2,6 для породы, имеющей при  $20^{\circ}$  плотность 2,67, а это и дает нам коэффициент пловучести, равный 8, который и был принят при наших вычислениях. Числа, колеблющиеся около этой величины, можно получить, подбирая породы, несколько отличающиеся по их начальной плотности. Отсюда можно заключить, что нет основания отказываться от нашего коэффициента, раз мы находим подтверждение в определениях, полученных опытным путем.

Если мы используем таблицы Дэйли для разрешения вопросов, возникающих в связи с изменением состояния субстрата, то найдем, что габбро (плотность которого равна 3,0 при  $20^{\circ}$  и 2,92 при  $1000^{\circ}$ ), будучи расплавлен, приобретает плотность, равную 2,74 при  $1100^{\circ}$  или 2,75 при  $1000^{\circ}$ ; потеря плотности весьма близка к 6%. Знакомясь далее с таблицами, мы видим, что во многих случаях получается такое же приблизительно уменьшение плотности.

Интересно будет теперь, исходя из этой величины, определить, насколько будут затоплены морем материка.

Способность магмы поддерживать плавающее тело уменьшается на 6%. Если та часть погруженных в магму материков, на которой отразится это изменение, достигает мощности в 20 км, то материка должны опуститься на 1,2 км. Теперь та их часть, которая выступает над субстратом, будет обладать средней высотой в 3,42 км, а так как средняя глу-

бина моря равна 3,8 км, то средний уровень материков окажется под водой на глубине 0,38 км, или 380 м. Действительное опускание береговой линии будет около 1,2 км; из таблиц же Вагнера, упоминавшихся в главе III, мы находим, что в этом случае море затопит около 75% всей площади материков.

При этом вычислении не учитывается воздействие давления, благодаря которому должна уменьшиться потеря плотности, стоящая в связи с изменением состояния тела. Ясно, что имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют нам объяснить происхождение эпейрических (материковых) морей, возникающих при приближении революции, тем изменением плотности базальтового субстрата, которое зависит от изменения физического состояния этого последнего. Далее этого мы в настоящее время идти не можем.

---

## IV. РАДИОАКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

**Т**ЕПЕРЬ мы поговорим о другом свойстве земли, имеющем для истории ее поверхности такое же основное значение, как и сама изостазия.

Граниты, гнейсы и другие выходящие на дневную поверхность породы, из которых сложены материки, равно как и поднявшиеся из субстрата плато-образующие базальты,— все без исключения радиоактивны. Это значит, что они содержат весьма незначительные количества таких элементов, которые непрерывно и без всякой внешней причины превращаются в вещества все меньшего и меньшего атомного веса и при этом превращении выделяют теплоту. Теряемая ими масса выбрасывается в виде атомов; она излучается с большой энергией, но ее быстро задерживают окружающие атомы. При этой остановке выделяется теплота совершенно так же, как происходит нагревание мишени, останавливающей летящую пулю. Одновременно с этим уничтожается и „отдача“, испытываемая прародительским атомом. Преимущественно этим путем явление радиоактивности становится особой формой медленного, но постоянного возникновения теплоты в горных породах.

Для всех радиоактивных веществ можно установить их последовательное происхождение от одного из двух весьма тяжелых прародительских элементов — от урана или тория; это — наиболее тяжелые из известных нам элементов. Весьма вероятно, что неустойчивость их каким-то образом проистекает от их большого атомного веса. Разрушаются они весьма медленно и, теряя постепенно массу, в конце концов приобретают свойства свинца.

По мере распада урана его атомный вес уменьшается от 238 до 206, т. е. до атомного веса одного из изотопов\* свинца; у тория же потеря атомного веса идет от 232 до 208 — до атомного веса другого изотопа свинца. Возможно, что обычный свинец, атомный вес которого 207, является смесью двух этих изотопов, происшедших один из урана, другой — из тория.

Отметим, что радиоактивные явления резко отличаются от химических. К первым относятся самопроизвольно возникающие внутренние изменения, которые происходят в атоме и начинаются, по всей вероятности, в атомном ядре. Излучаемые при атомном распаде материальные атомы представляют составную часть самого прародительского атома. Действительно, альфа-луч — это заряженный положительным электричеством атом гелия, получившийся из ядра. Химические же явления, напротив того, состоят во взаимодействиях между молекулами. Поэтому на них легко оказывают влияние те факторы, которые изменяют концентрацию материальных частиц, состояние их теплового движения и главным образом их ионизацию.

С радиоактивными же явлениями дело обстоит совершенно иначе: ни нагревание, ни давление не оказывают, по видимому, на них ни малейшего воздействия. Фаянс говорит:

„Были произведены попытки повлиять на быстроту превращения эманации и многих других радио-элементов, но даже повышение температуры с  $-250^{\circ}$  С до  $+1000^{\circ}$  С и выше не оказало ни малейшего воздействия ни на быстроту превращения, ни на интенсивность излучения какого-либо радио-элемента. Ничего не получилось также и от весьма сильных  $x$ -лучей, катодных лучей и, наконец, даже лучей радиоактивных веществ. Таким образом до сих пор мы остаемся все еще совершенно бессильными по отношению к естественным радиоактивным превращениям и не можем ни ускорить их, ни замедлить“ [46].

Бронсон (Bronson) [47] безуспешно применял крайние температуры от  $-180^{\circ}$  С до  $+1600^{\circ}$  С. Г. В. Шмидт (H. W. Schmidt) [48] нашел, что ни температура в  $1500^{\circ}$  С,

\* Объяснение слова изотоп дано на стр. 140.

ни давление в 2000 атмосфер не вызвали никаких изменений в препаратах радия. Рёзерфорд (Rutherford) и Питэвель (Petavel) воспользовались давлением и нагреванием, возникающими при взрыве кордита (1200 атмосфер и около 2500° С) и попробовали, не окажут ли эти условия какого-либо воздействия на излучения, проходящие через стальные стены взрывной камеры. Никакого воздействия во время взрыва не было обнаружено. Незначительное временное воздействие на излучение (9%) было отмечено после взрыва; возможно, что оно связано с натяжениями, появившимися в самом сосуде.

Хотя для горных пород и уран, и торий являются редкими элементами, однако должно пройти очень много времени, пока запас их иссякнет хотя бы наполовину. Если вычисленная нами скорость их распада останется неизменной и в будущем, то половина всего существующего теперь на земле урана должна исчезнуть приблизительно через 5000 миллионов лет, а половина тория — приблизительно через 13000 миллионов. С тех пор как в первобытных океанах отложились самые древние осадки, прошло, быть может, около 200 миллионов лет или, как полагают некоторые исследователи, 800 миллионов лет и даже более. Если мы поэтому возьмем даже самые высокие числа, принимаемые для возраста архейских отложений (1200 миллионов лет), то все же геологическое время будет только незначительной частью того периода, который необходим для того, чтобы влияние радиоактивности заметно уменьшилось.

В горных породах количество урана и тория весьма незначительно; оно так мало, что определить его обычными химическими приемами представляется невозможным. Однако некоторые из элементов, в которые превращается уран и торий, обнаруживают особые физические свойства, позволяющие с довольно большей точностью определить количество прародительских элементов.

В результате нескольких сотен определений обнаружилось, что эти прародительские вещества содержатся во всех горных породах, встречающихся на земной поверхности. Наиболее богаты ураном и торием граниты и близкие к ним кислые горные породы. Более основные породы — базальты — содержат их в значительно меньшем количестве. Данные, от-

носящиеся к породам вторичного происхождения, т. е. осадочным, приведены в приложении (стр. 66).

При этих определениях мы имеем дело с такими незначительными количествами, что их приходится выражать в триллионных долях грамма, т. е. в миллионных частях миллионных частей. Для большей простоты пользуются обозначением  $10^{-12}$  г. Определение количества урана удобнее производить косвенным путем, а именно, определяя количество одного из происходящих из урана элементов — радия; количество последнего предварительно можно установить по электрическим свойствам „эманации“ — газа, в которые превращается радий. Путем такого исследования получено для гранитов среднее содержание радия, равное  $3 \times 10^{-12}$  г на 1 г породы. Отсюда при желании легко получить наличное количество урана, так как между этим последним и содержанием радия существует постоянное соотношение.

Для тория обычно прямо указывают его количество, хотя и оно определяется не непосредственно, а по происходящему из тория элементу, который тоже является газом и известен под названием эманации тория. На основании такого определения можно предполагать, что в граните на 1 г породы содержится  $2,0 \times 10^{-5}$  г тория. Таким же путем были недавно изучены 58 образцов базальтов из всех частей света, и было найдено, что в них среднее содержание радия на 1 г породы равняется  $1,19 \times 10^{-12}$  г, а среднее содержание тория —  $0,77 \times 10^{-5}$  г [49]. Числа эти имеют большое значение, но, быть может, они все же не так важны, как те, которые получены для великих базальтовых излияний. Были исследованы образцы трех великих излияний: декканского, тебридского и орегонского. Полученные данные приведены в прилагаемой таблице:

	Радий	Торий
Деккан (6) . . . . .	$0,77 \times 10^{-12}$	$0,46 \times 10^{-5}$
Гебриды (6) . . . . .	$0,77 \times 10^{-12}$	$0,49 \times 10^{-5}$
Орегон (7)* . . . . .	$1,69 \times 10^{-12}$	$1,52 \times 10^{-5}$

\* Относительно орегонского материала нельзя быть вполне уверенным, что это действительно настоящий плато-образующий базальт [50].

По этим числам легко подсчитать то количество теплоты, которое непрерывно выделяется в любой из этих пород. Путем специальных исследований было определено, что в 1 г радия, который находится в „равновесии“ со всеми родственными ему элементами (т. е. со всем рядом, происходящим из урана), количество непрерывно выделяющейся теплоты равняется  $5,6 \times 10^{-2}$  калорий в 1 секунду \*. Теплота же, выделяемая одним граммом тория и родственных ему элементов, равняется  $6,6 \times 10^{-9}$  калорий в 1 секунду.

Поэтому в 1 г гранита из содержащихся в нем элементов уранового ряда развивается  $3 \times 10^{-12} \times 5,6 \times 10^{-2} = 16,8 \times 10^{-14}$  калорий в секунду, а из элементов ториевого ряда  $2,0 \times 10^{-5} \times 6,6 \times 10^{-9} = 13,2 \times 10^{-14}$  калорий. Складывая эти числа, находим, что количество теплоты, развивающейся в 1 г этой породы в 1 секунду, будет  $30,0 \times 10^{-14}$  калорий. Правда, это количество весьма незначительно, но ведь и секунда очень краткий промежуток времени, а секунд очень много в миллионе лет; когда же мы имеем дело с геологическими событиями, то этот долгий срок служит нам единицей времени.

Определения лорда Рейлея младшего (Rayleigh), опубликованные в 1906 году в двух его статьях [51], впервые дали возможность сделать количественный подсчет. В весьма многих породах, как изверженных, так и осадочных, этот автор точно определил содержание радия в количествах, соответствующих указанному выше порядку величин. В его статьях высказывается весьма естественная догадка, что такое содержание производящих теплоту веществ должно ограничиваться небольшою глубиною и простирается на немного километров вниз от земной поверхности. Следует помнить, что в это время не было сделано ни одной попытки к систематическому определению содержания тория в горных породах. В 1909 году был найден способ производить эти определения, и было обследовано много пород [52].

Тот взгляд, что распространение радиоактивных элементов вглубь земли является ограниченным, подкрепляется как будто тем обстоятельством, что теплообразующая способ-

---

\* Эта калория равняется количеству теплоты, потребному для нагревания 1 г воды на 1° С.

ность радиоактивных веществ еще более увеличивается в горных породах благодаря присутствию тория. Однако, как мы увидим, является совершенно излишним произвольно и без оснований ставить пределы для радиоактивности.

Теперь, поскольку это представляется для нас возможным, мы рассмотрим тепловое состояние земной коры в нынешнее время. Хорошо известно, что, если мы начнем бурить, углубляясь в поверхностные породы, то температура последних станет повышаться. Степень этого повышения — термический градиент — сильно изменяется по отдельным местностям. Наличие градиента в материковом слое указывает на то, что с поверхности земли должна постоянно утекать теплота. Количество этой теплоты легко вычислить.

Примем, что материи обладают средней мощностью в 31 км и что они состоят из пород гранитового типа; выше было вычислено, что каждый грамм этих пород обладает радиоактивностью, дающей  $30 \times 10^{-14}$  калорий в секунду. Если плотность породы будет 2,7, то это составит около  $0,8 \times 10^{-12}$  калорий в секунду на  $1 \text{ см}^3$ . Если теплота совершенно не переходит из основания материков в поддерживающую их магму, то тепловая энергия, выделяющаяся во всей материковой толще, должна непрерывно утекать с поверхности.

Рассмотрим вертикальный столб с поперечным сечением в  $1 \text{ см}^2$ . Ясно, что количество теплоты, развивающееся в таком столбе в 1 секунду, составляет  $0,8 \times 10^{-12} \times 31 \times 10^5 = 2,48 \times 10^{-6}$  калорий. Такое количество должно каждую секунду выделяться с поверхности. Как же это согласуется с наблюдаемым градиентом?

Градиенты весьма различны; можно сказать, что они колеблются от  $1^\circ \text{ C}$  на 28 м до  $1^\circ \text{ C}$  на 40 м. Часто принимается, что градиент, наиболее приближающийся к средней величине, равняется  $3,5^\circ \text{ C}$  на 100 м; иначе говоря, температура при углублении на каждые 100 м должна повышаться на  $3,5^\circ \text{ C}$ . Само по себе это не является точным определением, так как, судя по наблюдениям, полученным при глубоких бурениях, градиент с возрастанием глубины немного повышается. Вероятно, это повышение прекращается на определенной глубине.

Количество утекающей с поверхности теплоты может быть легко вычислено, если известна теплопроводность пород, в которых наблюдается это явление. Теплопроводность вещества может быть определена как количество теплоты, которое проходит в 1 секунду через 1  $\text{см}^2$  плиты данного вещества толщиной в 1  $\text{см}$ , при чем разница температур с двух сторон плиты остается все время равной  $1^\circ \text{C}$ . При этих условиях подобная плита гранита пропускает около 0,005 калорий в 1 секунду через 1  $\text{см}^2$ . Некоторые граниты пропускают несколько меньше. Теплопроводность материковых пород вообще принимается обычно равной 0,004\*.

Теплопроводность базальта равняется 0,004. Влажность сильно влияет на теплопроводность пород средней пористости. Так, сухой песчаник (обыкновенная поверхностная порода) обладает теплопроводностью 0,0055, но при насыщении влагой теплопроводность его может возрасти до 0,0085. В среднем влажный песчаник обнаруживает теплопроводность 0,007.

Количество проходящей теплоты увеличивается с градиентом, и при отсутствии последнего передвижение теплоты происходить не может.<sup>1</sup> Градиент, равный  $1^\circ$  при расстоянии в 1  $\text{см}$ , принимается за единицу. Если же он составляет  $2^\circ$  на 1  $\text{см}$ , то будет проходить вдвое более теплоты и т. д. Если поблизости от земной поверхности мы будем считать градиент равным  $3,5^\circ$  на 100  $\text{м}$ , то очевидно, что в принятых нами единицах он выразится  $3,5 : 100 \times 100$ . Мы теперь в состоянии подсчитать утечку теплоты с земной поверхности. Можно принять, что породы, в которых наблюдается этот градиент, более или менее влажны: хорошо известно, что „горная влажность“ свойственна всякой поверхностной породе. Мы примем поэтому, что теплопроводность равна 0,007. Умножив это на поверхностный градиент, т. е.  $3,5 \times 10^{-4}$ , получаем  $2,45 \times 10^{-6}$  калорий в 1 секунду на 1  $\text{см}^2$ , что в общем согласуется с величиной  $2,48 \times 10^{-6}$ , полученной нами выше другим путем.

Мы находим таким образом, что температурный градиент, наблюдаемый у поверхности земли, стоит в соответствии

\* Опыты, производившиеся над гранитами и базальтами при температурах до  $600^\circ$ , обнаружили несколько меньшую теплопроводность, что, по видимому, связано с возникновением трещин [53].

с тем взглядом, согласно которому наблюдаемая нами радиоактивность горной породы господствует по всей толще материкового слоя.

Мы принимаем при наших вычислениях, что теплота совершенно не проникает в материковую кору снизу. Мы также знаем, что находящийся под ней базальт должен быть радиоактивным. Если же теплота из него не выходит, то мы должны считать, что его температура в данный момент вполне равняется той, которая господствует в основании материков. Здесь мы несколько забежим вперед. Как мы увидим из дальнейшего, у нас есть основание предполагать, что субстрат находится теперь в условиях, весьма близких к тем, какие наблюдаются у только что застывшего базальта. Дэй Сосман и Гоштеттер наблюдали, что при охлаждении отвердевающего базальта температура его падает до  $1050^\circ$ , после чего он внезапно кристаллизуется. Очевидно, что температура кристаллизации не будет оставаться той же самой при давлениях, господствующих под материками. Мы можем действительно заключить, что как расплавление, так и затвердение будут происходить при температурах несколько более высоких, чем те, какие наблюдаются в лаборатории. Однако, так как мы имеем дело только с приблизительными величинами, то мы будем придерживаться тех данных, которые получены при лабораторных исследованиях.

Мы рассуждаем так: если теплота не восходит из субстрата через материковую толщу, и если соответствует действительности только что сделанное нами допущение, что теплота материковой толщи не проникает вниз, в субстрат, то температура базальта и температура в основании материкового слоя должны быть одинаковы. Температура субстрата в нынешнее время должна быть около  $1050^\circ$ . Каковой же окажется средняя температура материкового основания, если мы ее вычислим, исходя из радиоактивности материковых пород?

Не трудно определить температуру, господствующую в основании материков при том условии, если теплота не уходит вниз. Если эту температуру мы обозначим  $\theta$ , то можно доказать, что  $\theta = \frac{Q \times D^2}{2K}$ , где  $Q$  — количество теплоты радиоактивного происхождения, возникающее в 1 секунду

в  $1 \text{ см}^3$  породы;  $D$  — толщина материковой коры в  $\text{см}$ , а  $K$  — теплопроводность [54]. Из этих величин  $Q$ , как мы уже знаем, равняется приблизительно  $0,8 \times 10^{-12}$  калорий,  $D$  мы принимаем равным  $31,4 \times 10^5 \text{ см}$ ;  $K$  можно считать равным  $4 \times 10^{-3}$ . Таким образом для  $\theta$  мы получаем величину  $986^\circ \text{C}$ .

Этим выводом подтверждается то положение, что теплота, передаваемая к поверхности материковой коры, происходит главным образом от радиоактивности последней. Такой взгляд можно принять без всяких оговорок, если только мы сможем дать себе отчет в судьбе теплоты, непрерывно возникающей в находящемся ниже субстрате. Из дальнейшего будет видно, что происходит с этой теплотой. Независимо от сделанного нами вывода, у нас есть основание предполагать, что некоторая часть теплоты в действительности все-таки проникает в материковую кору. Вероятно, это происходит там, где толщина последней меньше ее средней толщины или близка к таковой. В тех же местах, где толщина материков на много превышает их среднюю толщину, должно получиться обратное: в этом случае часть теплоты перейдет вниз, в субстрат.

Мы видим также, что сделанные нами выводы можно рассматривать и с иной точки зрения. Мы исходили из некоторой определенной толщины материков, близкой к той средней величине, которая выводится из данных сейсмологии; с другой стороны, мы руководствовались радиоактивностью горных пород, пользуясь при этом данными, полученными на основании нескольких десятков опытов; в результате мы пришли к тому заключению, что в основании материков господствует температура, которая близка к температуре только что затвердевшего базальта. Является вопрос: случайно ли это? И вот в дальнейшем мы докажем, что это заключение отнюдь не случайно; наоборот, оно неизбежно.

Из наших данных можно сделать еще и тот очевидный вывод, что в субстрате, который находится под материками, должна теперь накапливаться теплота, возникающая от собственной его радиоактивности. Ведь куда же иначе она денется? Этого вывода избежать нельзя. Кверху, по направлению земной поверхности, теплота эта уходить не может; ведь и материковой радиоактивной теплоты почти достаточно для

того, чтобы у земной поверхности могла возникнуть такая утечка тепловой энергии, какая имеет место в действительности. Теплота, происходящая из распадающихся атомов, медленно накапливается и накапливается в субстрате в продолжение веков. Что будет с ней в дальнейшем?

Под океанами существуют несколько иные условия. Здесь субстрат приходит в непосредственное соприкосновение с холодной морской водой, и та радиоактивная теплота, которая возникает в верхних частях субстрата, должна вследствие теплопроводности переходить в океаны. Такие условия, однако, не могут оставаться неизменными до беспредельной глубины. На некотором определенном уровне исходная температура остывающего базальта должна благодаря его собственной радиоактивности подняться до его точки плавления. Если мы имеем слой базальта, исходная температура которого, происходящая от его собственной радиоактивности, совершенно одинакова с температурой залегающего ниже базальта (т. е. соответствует точке плавления на данной глубине), то такой базальтовый слой задерживает теплоту ниже лежащей толщй таким же точно образом, как материковая кора задерживает теплоту той магмы, которая под ней находится. Именно поэтому теплота более глубоких частей субстрата не может уходить через океаническое дно; напротив того, теплота эта должна скопляться, как она скопляется под материками, и по той же самой причине. Критическая глубина, ниже которой должна сохраняться вся теплота, будет около 48 км<sup>[55]</sup>. Как мы увидим ниже, весьма вероятно, что в нынешнее время теплота переходит в океаны из верхних частей твердого, но сильно нагретого субстрата, так как образование океанического дна не вполне еще закончилось. Это дно в продолжение всего периода своего образования имеет у своей наружной поверхности температуру воды (0° С), а у основания — температуру, соответствующую точке плавления базальта, которая зависит от глубины. Поэтому, средняя температура дна колеблется лишь незначительно.

Мы закончим здесь рассмотрение явлений радиоактивности, оказывающих воздействие как на плавающие материк, так и на океаническое дно и на субстрат. Совершенно ясно, что тепловые условия не могут оставаться такими,

каковы они теперь: радиоактивная теплота все время накапливается.

Действительно, мы видим, что живем на планете, поверхность которой сложена из материалов заключающих в себе почти неисчерпаемый источник теплоты. Перед нами встает вполне естественный вопрос: простирается ли этот источник теплоты до внутренних недр земли? Мы должны ответить, что имеющиеся в нашем распоряжении данные наводят нас на мысль, что внутреннее ядро земли по своему составу похоже на содержащее никель железо метеоритов. Метеорное железо содержит иногда весьма незначительные следы радия, а следовательно, и урана. Что же касается содержания тория, то в этом отношении металлические метеориты изучены не были. В земных породах наблюдается некоторая пропорциональность между содержанием урана и тория: она соответствует приблизительно отношению 2:1. Ее нельзя, однако, распространять на железо метеоритов. Все кремнеземистые метеориты содержат радий. Некоторые из них по содержанию радия приближаются к сходным горным породам земли, например, к ультра-основным породам. Один из таких метеоритов при следовании обнаружил незначительное содержание тория [56]. На основании этих фактов представляется правдоподобным, что ниже, за радиоактивной магмой, следует менее радиоактивный ультра-основной слой, который, быть может, простирается на несколько сотен километров в глубину от поверхности земли. Залегаящее еще глубже обширное ядро земли содержит, по всей вероятности, еще меньшее количество выделяющих теплоту элементов. Это, однако, уже только догадка.

Оглядываясь назад на прошедшее, мы можем спросить: существовал ли когда-либо какой-нибудь другой источник теплоты, кроме радиоактивности? А если существовал, то чем это можно доказать? Какой бы ответ ни последовал на эти вопросы, мы, конечно, в праве прежде всего обратить наше внимание на последствия, проистекающие из действия того источника, о существовании которого мы хорошо осведомлены. Тот, кто думает, что существование радиоактивного субстрата только плод нашего умозрения, обязан, считаясь с требованиями, выдвигаемыми теорией изостазии, заме-

нить базальт какой-либо другой тяжелой породой, обладающей теми же физическими свойствами, как и базальт, т. е. такой же плотностью и точкой плавления, но не содержащей следов радиоактивных элементов. А такое вещество неизвестно на земной поверхности.

### ПРИЛОЖЕНИЕ

---

#### Радиоактивность пород вторичного происхождения

Общий объем осадочных пород (сланцев, песчаников, известняков и пр.) может быть приравнен слою толщиной в 2 км, распространяющемуся по всей поверхности материков. Как и можно было ожидать, средняя радиоактивность этих пород меньше, чем первичных (изверженных), из которых они образовались. Недостающая часть радиоактивных веществ была растворена и снесена в океаны. Этим, вероятно, и объясняется высокая радиоактивность некоторых глубоководных осадков.

Многочисленные определения позволили установить для пород вторичного происхождения среднее количество развивающейся в них радиоактивной теплоты (из элементов рядов урана и тория); оно равняется  $16,6 \times 10^{-14}$  калорий на 1 г, против  $30 \times 10^{-14}$  калорий, — величины, найденной для гранитовых пород, которые, по всей вероятности, слагают большую часть материков [57].

---

## V. РАСКРЫТИЕ ТАИН ЗЕМНОЙ ИСТОРИИ

**КОГДА** мы рассматриваем те горные породы, из которых сложена земная поверхность, то отовсюду перед нами встают факты, на первый взгляд резко противоречащие друг другу, и все взаимоотношения представляются нам совершенно запутанными. И в самом деле: на высотах, поднимающихся на много сотен метров над уровнем моря, мы встречаем горные породы, несомненно образовавшиеся в море на большой глубине, или такие, которые отложились в мелких водах. В иных местах эти осадки нагромождены друг на друга и образуют великие горные хребты. Кроме того мы имеем доказательства деятельности огромных сил сжатия, которые смяли эти отложения и заставили их расположиться складками; и мы знаем также, что эти силы не могли действовать на поднятые склоны гор на той высоте, до которой эти последние теперь вздымаются. Под этими дислоцированными и раздавленными осадочными породами на большой глубине можно часто встретить обширные массы пород совершенно иного происхождения, — пород, которые должны были медленно выкристаллизовываться из сильно нагретой магмы. Мы видим картину путаницы и беспорядка, и нам представляется, что разобраться во всем этом не по силам человеку.

Подобные осадочные породы встречаются, однако, и в равнинных местностях; здесь они могут залегать в виде пластов, покоящихся один на другом и расположенных в определенной последовательности; начинает намечаться некоторый порядок. Становится ясным, что эти пласты отложились в море последовательно, более древние залегают внизу, более новые — сверху. Затем, по мере того как мы распространяем наши наблюдения по всей земле, мы начинаем встречать сход-

ные формы ископаемых животных и растений в пластах, находящихся в различных местностях (это наблюдается главным образом при изучении тонкозернистых осадочных пород, отложившихся в глубоких водах), и тогда становится возможным установить полное соответствие между такими породами на основании находящихся в них органических остатков. Эти пласты будут одного возраста, т. е. они одновременно\* отлагались по всей земле. Таким путем, и только таким, возможно установить общую хронологию для истории земной поверхности.

Обладая теперь этой путеводной нитью, вернемся снова к изучению гор. Мы увидим, что по всей земле эти значительно перемещенные пласты образовались по большей части в недавнюю сравнительно эпоху долгой истории земли. Факт этот имеет весьма большое значение: он указывает, что в недавнее время произошло нечто, оказавшее влияние одновременно на всю земную поверхность: какая-то причина заставила слои осадочных пород согнуться и образовать складки; в конце концов они были приподняты над общим уровнем земной поверхности.

Хотя все это и произошло сравнительно недавно, однако после этого прошло много времени. Ведь мы знаем, что рельеф нынешних гор обусловлен медленным процессом разрушения, происходящим от действия дождя и мороза; и вот, глубоко прорезанные долины должны были быть некогда заполнены до краев породами, при чем все пласты пород должны были находиться под земной поверхностью, потому что только в этом случае могли вполне проявить свою силу те давления, которые вызвали образование складок. И если мы проследим смятые в складки пласты от одного склона какого-либо хребта до другого его склона, то увидим, что здесь удалены мощные толщи пластов, которые некогда залегали сверху.

При свете этих важных фактов мы приобрели более широкий кругозор и можем теперь вернуться к изучению земли. Наши прежние понятия о „древности“ исчезли; в нас развилось новое чувство времени, без которого мы не в со-

---

\* Говоря „одновременно“, мы применяем это слово в геологическом смысле, указывая на такое совпадение во времени, для которого различие в несколько десятков тысячелетий не имеет существенного значения.

стоянии понять окружающее и не можем судить о тех явлениях, которые нам приходится рассматривать. Миллионы лет сделались теперь нашими единицами времени.

Основным законом геологической науки является то положение, что настоящее служит ключом к познанию прошедшего. Поэтому, если недавно минувшие века были свидетелями того, как по всей земле возникли величественные горные хребты, то что можно сказать о еще более древних веках? Ведь на материках, местами, является возможность, изучая отложения, проследить их вглубь до столь отдаленной древности, что по сравнению с ней кажется кратким даже период размывания и разрушения новейших гор.

Продвигаясь вглубь, мы проходим толщу пород, мощность которой измеряется многими десятками километров, и все же мы видим, что жизнь и тогда уже существовала, хотя формы ее были более простыми. Постепенно исчезает органический мир нашего времени. Опустимся еще глубже, и исчезнут более высоко организованные формы; распространение позвоночных животных ограничивается морем; а затем они уже совершенно исчезают. Дышащих воздухом животных тоже уже нет, остаются только морские беспозвоночные животные и растения: кораллы и моллюски, плеченогие и морские лилии; трилобиты и граптолиты; черви и водоросли.

Изучая горные породы отдаленных минувших веков, мы обнаруживаем тот факт, что и в те времена уже создавались горы. Правда, от них остались только стертые основания, и мы только до некоторой степени можем представить себе, какой высоты они достигали и как далеко простирались. Однако по разрушенным остаткам этих горных хребтов можно выяснить, что и в те отдаленные века они появлялись на земной поверхности одновременно.

В конце концов, отступая вглубь времен, мы достигаем веков столь отдаленных, что либо жизни тогда совсем еще не было, либо ее ископаемые остатки успели совершенно исчезнуть. Однако и в те времена земной шар переживал, повидимому, отдельные периоды великих горообразований; стертые основания архейских гор занимают в Канаде пять миллионов км<sup>2</sup>, да и во всех частях света везде, где

смыты более юные породы, мы можем распознать смятые в складки и метаморфозированные породы — остатки первобытного мира.

Наше рассмотрение мы начали с заключительных глав геологической науки, а не с ее начала. Однако в истории



Рис. 7. Северный склон Большого Каньона в Колорадо.

В этом изумительном естественном разрезе обнажены осадочные породы, относящиеся к более ранним периодам земной истории. Наиболее древние образования отмечены буквой *G*. Это архейские гнейсы (измененные осадочные породы); в них проникли гранитные интрузии. Эти образования подверглись сильной эрозии. Вслед за эпохой эрозии произошло опускание, и страна покрылась морем. Тогда отложились ункарские и чуарские сланцы и известняки (*U*) мощностью около 3 600 м. Породы эти, вероятно, альгойского возраста; они относятся к наиболее древним из тех отложений, в которых были обнаружены остатки организмов. Затем последовало поднятие, сопровождавшееся расколами и смещениями. Началась деятельность эрозии, вследствие которой была снесена значительная часть ункарских и чуарских отложений; в некоторых местностях эти породы совершенно смыты.

После этого море снова заняло страну, и отложились тинтоские песчанки и сланцы (*T* и *Sh*), образовавшие толщу в 240 м и более. Эти породы, вероятно, верхнекембрийского возраста.

Ордовиция, силура и девона здесь нет.

В начале каменноугольного времени опять произошло наступание моря, в котором и отложились редвольские известняки (*R*) мощностью в 150 м и более. Их покрыли красные глинистые и песчаные осадки, — супайские песчанки (*S*), — отлагавшиеся в более мелком море; они достигают не менее 300 м мощности. За ними следуют коконинские слои (*C*) мелководного характера, мощностью около 100 м. После этого глубина моря снова увеличилась, и отложился кайбабский известняк (*K*), относящийся к более позднему времени каменноугольного периода. Эти осадки накапливались медленно, а поэтому для образования 200-метровой толщи потребовался очень долгий промежуток времени. Они представляют теперь поверхностную породу. Имеются данные, говорящие за то, что отложения пермской системы, а также мезозоя и кенозоя были удалены денудационными процессами в более позднее время [58].

науки всегда случается так, что основные факты обнаруживаются в самом конце. К общему последовательному обзору можно приступить только тогда, когда заканчиваются первоначальные исследования.

Подразделение геологической истории было установлено прежними учеными, пользовавшимися при этом менее важными событиями, которые происходят сравнительно чаще. В основу этого подразделения было положено два критерия: сравнительно незначительные изменения физико-географических условий, которые обнаруживаются при изучении горных пород, а также изменения палеонтологического характера.

Ни один из этих критериев не может считаться безусловным в каждом отдельном случае, так как и тот и другой могут иметь местное значение и ввести в заблуждение. Хорошо известным примером являются изменения как физико-географического, так и палеонтологического характера, которые приурочены к границе между каменноугольными и пермскими отложениям Великобритании и которые так резко выражены, что дают основание для подразделения их на две системы. Однако всеми теперь признается, что в некоторых частях света такого перерыва в палеонтологической последовательности не существует. Исходя из самых основ органической эволюции, мы действительно должны заключить, что изменение палеонтологического характера может зависеть исключительно от местных условий.

Несмотря на такие возражения против „систем“, установленных прежними поколениями геологов, эти системы оказали науке хорошую услугу. Возможно, что в будущем их заменят более научным подразделением геологического времени; а пока что всякий, приступающий к изучению стратиграфической геологии, должен направить первые свои усилия к приобретению сведений о физико-географических и биологических особенностях последовательных геологических систем. Нужно, однако, иметь в виду, что эти системы отнюдь не имеют притязаний на одинаковую продолжительность. Неоднократно высказывалось мнение, что более древние системы отвечают более продолжительным периодам, чем позднейшие. По всей вероятности, совершенно верно, что тонко-зернистые осадки кембрийских, ордовичских или силурийских отложений соответствуют более долгим

промежуткам времени, чем одинаково мощные толщи девонских песчаников, угленосных свит карбона или юрских известняков. И тот факт, что тонко-зернистые, медленно накапливавшиеся осадки часто в исключительном изобилии встречаются в более древних системах, является веским доводом в пользу того воззрения, что системы эти отвечают очень долгим промежуткам времени. Однако сказать более этого в настоящее время довольно трудно.

Сопоставляя нынешнее время с историей прошедшего, геолог оказывается в весьма невыгодном положении: перед ним встают затруднения, связанные с денудационным разрушением и метаморфическими изменениями, происшедшими за те десятки и сотни миллионов лет, которые отделяют нас от тех отдаленных времен. Как, например, может геолог установить, что в данном месте в некоторую эпоху преобладали материковые условия? Если такие условия длились даже в продолжение миллионов лет, то все же от них обычно сохраняется мало следов, за исключением рыхлых поверхностных образований и глин малой мощности, отложившихся в пресноводных озерах; могут быть пласты угля, возможны также следы оледенения. Правда, если это сохранится, и геолог-наблюдатель все это обнаружит, то он получит данные для суждения; однако подобные образования легко разрушаются в то время, когда существование материка приближается к концу, и море надвигается на сушу. Единственным указанием, которое сохраняется при этих условиях, будет несогласное напластование. Это последнее имеет место в том случае, когда подвергшиеся денудационным процессам породы заливаются затем морем, и на их размытой поверхности отлагаются новые осадки. Если в дальнейшем произойдет новое поднятие, то размытая поверхность более древних пород, наблюдающаяся в месте соприкосновения их с более новыми отложениями, укажет геологу на существовавшие некогда материковые условия, так как только на материках происходят денудационные процессы. Денудация повествует геологу о минувших материковых условиях точно так же, как отложение осадков свидетельствует о том, что данная местность находилась прежде под водой. Таким образом несогласное напластование может дать указание на то, что в прежние времена здесь имело

место поднятие дна и появление суши над уровнем моря. Необходимо разбираться и в других условиях, проистекавших от действия могучих сил сжатия и растяжения, которые много времени тому назад господствовали в земной коре. По присутствию складок мы можем заключить о происходившем прежде сжатии, и о крайнем напряжении последнего говорят нам опрокинутые складки. В этом случае сводообразные антиклинали, смещаясь как целое, опрокидываются и испытывают даже такие сбросовые дислокации, в результате которых верхнее крыло лежащей складки оказывается передвинутым по нижнему крылу. В горных странах можно иногда видеть, что при подобных смещениях масс происходили передвижения их на много километров.

По присутствию сбросов мы заключаем о происходивших сжатиях и растяжениях. Сбросы, связанные со сжатием, указывают на сокращение первоначальной площади, а связанные с растяжением — на ее расширение. Трещины тоже свидетельствуют о происходивших некогда растяжениях. В некоторых частях земного шара трещины развиты в очень большом масштабе, как это было подробно изложено в главе I.

Одна из важных основных задач, встающих перед геологом, заключается в том, чтобы определить направление, по которому происходило давление. Указанные уже явления сбросов и надвигов, осложняющих антиклинали, дают один из способов решения этой задачи. Кроме того мы часто наблюдаем, что нарушение первоначального залегания пластов увеличивается по мере приближения к тому месту, откуда исходило давление; продвигаясь в этом направлении, мы часто видим, что приподнятыми являются более древние, глубже залегающие породы. Говоря вообще, если мы приближаемся к источнику давления, то перед нами обнаруживаются все усиливающиеся нарушения и изменения, независимо от того, выражаются ли последние в сбросах и складках, или же в изменении пород от нагревания и давления, т. е. в метаморфизме. Этот последний критерий имеет огромное значение, потому что часто бывает трудно распознать, имеем ли мы дело с нижним давлением (т. е. давлением, действующим на значительной глубине) или же с верхним (т. е. давлением, проявляющимся на меньшей глубине), действовавшим в противоположном направлении, так как и в том и в другом

случае могут образоваться складки, опрокинутые в одну и ту же сторону.

Некоторые из наиболее поразительных и важных фактов геологической науки обнаруживаются при изучении гор, и в дальнейшем мы особо остановимся на этом предмете. Здесь достаточно упомянуть, что горные хребты земли построены из смятых в складки отложений. Действительно, горы поднялись со дна моря. На Гималайских вершинах находятся породы, которые в сравнительно недавние времена отлагались в морских глубинах. Этот факт дает нам возможность определить возраст гор. Ясно, что поднятие Гималаев должно было произойти после образования этих пластов, и мы должны признать, что там, где теперь высятся горы, когда-то, задолго до начала истории человечества, простиралось пустынное море. Веками длилось накопление осадков, мощность которых достигла нескольких тысяч метров; это накопление должно было закончиться прежде, чем началось великое поднятие. Такие огромные толщи отложений не могли бы, очевидно, накопиться, если бы дно древнего моря не продолжало все время опускаться. Вследствие своего огромного протяжения эти обширные области опускания получили название геосинклиналей. Геосинклиналь, давшая начало северо-американским Кордильерам, простиралась от Мексиканского залива до Северного Ледовитого океана, и ширина ее была более 1600 км.

История земли отнюдь не была однообразной, монотонной. От времени до времени повторялись великие физико-географические изменения. В ходе геологической истории земли можно, повидимому, распознать шесть великих циклов событий, видоизменявших ее лик. В каждом из этих циклов наблюдается одна и та же последовательность событий. Материки начинают опускаться под уровень океанов, воды затопляют более низменные места, и обширные области покрываются наступающими морями. Моря эти сохраняются в продолжение очень долгих периодов; размеры их поверхности колеблются — они то наступают, то опять отступают, при чем часто случается, что это происходит неоднократно; однако в общем они все время продолжают надвигаться на сушу. Наконец приходит время, когда отступление морей берет перевес над их наступанием, и

суша снова мало-по-малу приподнимается. Теперь настает момент самого удивительного завершения этого события: в тех именно местах, где долее всего существовали моря, начинают приподниматься горы. Сначала, повидимому, возникают боковые давления, так как поднимающиеся отложения (т. е. осадки, которые накопились за много веков в геосинклиналях) оказываются раздробленными, смятыми в складки и даже переброшенными на много километров; они предназначены для образования гор новой наступающей эры. Затем, много времени спустя после первых нарушений первоначального залегания осадков, возникает сильное вертикальное движение, которое высоко вздымает эти новорожденные горы над общим уровнем материков; это поднятие может достигать нескольких тысяч метров.

После этого наступает сравнительное затишье. Часто ко времени наибольшего материкового поднятия бывают приурочены признаки холодного климата. Наконец спустя тысячи лет эти климатические условия изменяются, что свидетельствует о возобновившемся опускании суши. Этот период медленного опускания продолжается миллионы лет, и все более и более близится то время, когда моря должны будут опять затопить материки. А затем цикл событий начинается снова. Эта изумительная история — не сказка: ее удалось проследить во многих частях света, и имеется достаточно фактов, свидетельствующих об одновременности подобных величественных событий в различных местах земного шара и убеждающих нас в том, что по всей поверхности земли изменения совершались в одной и той же, приблизительно, последовательности.

Мы переживаем теперь начало эпохи, следующей за временем великого горообразования. Все наиболее значительные горные хребты земли возникли сравнительно недавно: Альпы, Гималаи, Кавказ, Пиренеи, Анды, Скалистые горы и др. — все это новосозданные черты земного лика. Правда, можно, пожалуй, считать, что с поднятием этих хребтов словно возродились на том же месте разрушенные веками древние горы. Остатки последних погребены глубоко под одеждой снегом вершинами, которые ныне высятся над облаками.

Хотя от последнего великого поднятия гор нас отделяет только незначительный промежуток времени (незначительный, конечно, с геологической точки зрения), но посмотрите,

что успела сделать с этими горами рука времени! Первоначальная огромная их масса, состоящая из твердых и прочных пород, уже, повидимому, более чем на половину разрушена и снесена; обломки увлечены в океаны или же рассеяны по низменностям.

На земле в нынешнее время нет надвинувшихся на материки морей, в которых могли бы скопляться эти обломки. Однако мы знаем, что это наступание непременно должно возобновиться, и должны образоваться новые геосинклинали, в которых и будет погребаться огромное количество сносимого материала.

В связи с этими периодами горообразования может проявиться весьма напряженная вулканическая деятельность; во время опускания материков в более низменных местностях или же по границам океанов могут возникнуть трещины, и поднявшиеся по ним базальты могут в ужасающем количестве разлиться по суше или по морскому дну; это — те излияния, о которых мы упоминали в главе I.

Американские геологи называют горообразовательные периоды революциями. Бросая взгляд на прошедшую историю земли, мы замечаем, что содержание ее исчерпывается этими революциями и ведущими к ним подготовительными периодами. Одна революция следует за другой. Возможно, что еще не удалось выяснить всего их ряда. Отмечены также более слабые колебания уровня моря, меньшие поднятия суши, случаи менее напряженного горообразования, которые считаются теперь происшедшими от местных причин. Возможно, что и некоторые из этих событий окажутся всемирными революциями, которые, хотя и потребовали длительной подготовки, но выразились в более слабых изменениях. Мы остановимся в дальнейшем на возможности подобных явлений. Теперь же, основываясь на мнении наиболее авторитетных ученых, мы можем определенно считать, что за свою историю от начала геологического времени земля испытала шесть или семь великих революций.

Мы приводим их здесь в порядке последовательности и отмечаем для каждой ее время по отношению к геологическим периодам. В дальнейшем мы рассмотрим их более подробно. Во всех этих случаях именем революции обозначается эпоха горообразования.

ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ И РЕВОЛЮЦИИ

Эры	Периоды	Эпохи	Изменения органического мира	Революции
Кенозой- ская	Четвер- тичный	Нынешнее время Плейстоцен	Господство человека. Палеолитический человек.	Альпийская
	Третичный	Плиоцен	Появление человека? Высшие отряды млекопитающих.	
		Миоцен	Продолжается постепенное приближение органических форм к нынешним (это обнаруживается, главным образом, в типе моллюсков и классе насекомых).	
		Олигоцен	Продолжаются изменения, приближающие животных и раститель- ный мир к нынешнему.	
	Меловой	Эоцен	Первое появление нынешних групп животных. Уже в самом на- чале эоцена обнаруживается заметный шаг вперед по сравнению с меловыми животными (особенно резко это выражено в классе млекопитающих).  Первое появление покрытосеменных растений. "Век пресмыкающихся" (травоядных и хищных, наземных и "мор- ских). Разнообразием своих форм пресмыкающиеся словно предве- щают птиц и млекопитающих.  Резко бросающаяся в глаза эволюция в классах брюхоногих, головоногих (аммонитов) и пластинчатожабренных; появление млеко- питающих. Первые цикадовые и хвойные растения.  Вымирание палеозойских семенных папоротников, кордаитов и лепидодендронов.	
Мезозой- ская	Юрский			
	Триасовый			

Эры	Периоды	Эпохи	Изменения органического мира	Революции
Палеозойская	Пермский	Эпохи	<p>Продолжается эволюция дышащих воздухом позвоночных животных. Появление более совершенных форм среди насекомых и растений. Появление настоящих аммонитов в классе головоногих моллюсков. Замечается упадок плеченогих. Трилобиты вымирают.</p>	Аппалачская
	Каменноугольный (карбон)		<p>Мощное развитие папоротникообразных растений и наземных плеченогих, а также морских лилий и кораллов.</p>	
Палеозойская	Девонский		<p>«Век рыб» (панцирных и обладающих ганоидными чешуями). Предшественники амфибий. Первые флоры наземных растений. Изобилие морских животных, особенно замковых плеченогих и кораллов. Начало расцвета аммонитид (класс головоногих моллюсков); трилобиты теряют свое значение.</p>	Каледонская
	Силурийский		<p>Рыбы вначале редки, позже появляются в изобилии; животный мир представлен главным образом кораллами, замковыми плеченогими, моллюсками (мощное развитие наутилд, принадлежащих к классу головоногих), трилобитами, морскими лилиями, мшанками и граптолитами; последние вымирают в силурийском периоде.</p>	
Палеозойская	Ордовичский		<p>Появление настоящих кораллов и панцирных рыб. Начало расцвета морских животных, обладающих известковой раковиной (замковых плеченогих и пластинчато-жаберных моллюсков). Мшанки и граптолиты.</p>	
	Кембрийский		<p>Господство трилобитов. Первые головоногие моллюски (наутильды). Первобытные кораллы и губки. Изобилие беззамковых плеченогих. Девеишше ракообразные и пластинчатожаберные моллюски (отчасти сомнительные). Наземные животные и растения неизвестны.</p>	Килларийская
Протерозойская	Кьюниоу-ский		<p>Черви, радиолярии, кремневые губки.</p>	Альгомская
Архейская	Гуронский		<p>Известковые водоросли.</p>	Лаврентьевская
	Тимискамский		<p>Следов организмов не обнаружено.</p>	
Архейская	Лотанский			

## VI. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ РЕВОЛЮЦИЙ

**КАК** это было уже видно из первых глав, особенности строения земной поверхности указывают нам на то, что материки плавают на обширном, повсюду распространенном слое базальта, причем как материковые породы, так и базальтовая магма обладают слабой радиоактивностью. В тех же местах, где субстрат остается непокрытым, на поверхности его покоятся океаны. Мы нашли, что в нынешнее время субстрат пребывает в твердом состоянии. Непрерывно выделяющаяся во всей его массе теплота не может во сколько-нибудь заметном количестве утекать через материковую толщу; водам же океанов она передается в весьма ограниченном количестве, причем это совершается весьма медленно; поэтому вся эта теплота будет скопляться в субстрате.

Просматривая историю земной поверхности, мы встречаем памятники, свидетельствующие о периодическом затоплении материков морем. После, долгого промежутка времени, следовавшего за таким затоплением, происходило отступление надвинувшегося ранее моря, а затем — величественная эпоха горообразования и вулканической деятельности. Наконец наступало затишье, и устанавливались такие условия, какие господствуют в нынешнее время: суша возвышается над уровнем моря, и поверхность ее подвергается только разрушительной деятельности дождевых и речных вод, мороза и оттепели. Таким образом завершается полный цикл, и конец его незаметно переходит в начало нового цикла, за время которого моря должны опять постепенно проникнуть в область суши и залить более низменные ее участки.

Для прохождения каждого такого цикла требуется несколько десятков миллионов лет. Возникает вопрос: возможно

ли выяснить начальную причину этих великих циклов и поставить ее в связь с физико-географическими особенностями земной поверхности?

Мы уже ознакомились с вескими доводами, позволяющими думать, что субстрат имеет температуру, близкую к точке плавления, хотя он и пребывает в твердом состоянии. Скоро нам предстанут дальнейшие доказательства, а пока мы примем, что тепловое состояние субстрата действительно является таковым, и, проникая нашим взором в будущее, мы постараемся выяснить, к чему в конце концов должно привести непрерывное накопление радиоактивной теплоты.

Недавно были изучены базальты глубинного происхождения, т. е. те, которые в виде огромных излияний покрыли земную поверхность; при этом обнаружилось, что содержание радия в 1 г породы равняется  $1,0 \times 10^{-12}$  г, а содержание тория  $0,8 \times 10^{-5}$  г. Это — средние числа, полученные для базальтов трех областей: Деккана, Гебридских островов и Орегонской области, находящейся в западной части Северной Америки (эти средние числа являются несколько преувеличенными вследствие повышенной радиоактивности орегонского базальта). Умножив содержание радия в 1 г породы на  $5,6 \times 10^{-2}$ , а содержание тория на  $6,6 \times 10^{-9}$ \*, и сложив эти произведения, мы находим, что количество теплоты, выделяемое в 1 секунду одним граммом базальта, равняется  $0,11 \times 10^{-12}$  калорий. Если плотность базальта равна 3,0, то 1 см<sup>3</sup> его даст  $0,33 \times 10^{-12}$  калорий в секунду.

Приложим теперь эти данные к субстрату. Читателю уже известно, что вещество, находящееся при температуре точки плавления, но остающееся в твердом состоянии, перейдет в жидкое, если ему будет доставлено количество теплоты, равное скрытой теплоте плавления. Над определением скрытой теплоты плавления базальтовых пород работал Фогт, который и нашел, что она составляет около 90 калорий на 1 г породы [59]. Гемпель (Hempel) и Гереус (Heraeus) нашли, что скрытая теплота минерала мелилита (аналогичного базальту по своему химическому составу) равняется 90 калориям. Дельтер (Doelter) установил, что скрытая теплота плавления силикатов близка к 100 калориям на 1 г.

\* См. главу IV.

Мы видели, однако, в главе III (стр. 41), что, помимо скрытой теплоты, надо добавить еще некоторое количество теплоты. Когда расплавленный базальт наконец застывал, температура его падала приблизительно на  $100^{\circ}$  ниже точки плавления прежде, чем он выкристаллизовался. Затем обнаруживалось резкое возрастание плотности, сопровождаемое повышением температуры; последнее, вероятно, вызывается выделением скрытой теплоты при переходе в твердое состояние. Мы оставим без внимания этот источник теплоты, а начнем наше рассмотрение с определенной температуры в  $1050^{\circ}$  С. В этом случае прежде всего необходимо сообщить базальту количество теплоты, потребное для нагревания его до точки плавления, т. е. до  $1150^{\circ}$ .

Это количество зависит от удельной теплоты базальта при этой последней температуре и при несколько высшей. Действительно, удельная теплота такого рода веществ, т. е. силикатов, возрастает с температурой, но это возрастание обычно прекращается при температуре около  $500^{\circ}$  С. Для породообразующих минералов она будет составлять около 0,23 калории, т. е. это последнее количество теплоты потребуется для нагревания 1 г породы на  $1^{\circ}$ . Поэтому, чтобы довести базальт до  $1150^{\circ}$ , нужно  $0,23 \times 100 = 23$  калорий на 1 г породы.

Затем нужно добавить скрытую теплоту, необходимую для изменения твердого состояния в жидкое. Ее можно принять равной 90 калориям. Таким образом всего нужно 113 калорий, чтобы перевести 1 г породы в жидкое состояние.

Все приводимые нами данные получены из определений, сделанных при обычном атмосферном давлении. Конечно, они должны быть несколько иными при давлениях, господствующих под материками. Воздействие давления на величину скрытой теплоты, вероятно, не особенно значительно. В данном случае энергия тратится, главным образом, на внутреннюю работу, и эта часть ее не может, повидимому, испытывать значительного изменения. Та же часть энергии, которая должна расходоваться на внешнюю работу, возрастет. В общем, представляется правдоподобным, что установленные из наблюдений величины для скрытой теплоты не должны сильно изменяться под воздействием условий, господствующих в верхних частях магмы.

Установленное выше количество выделяющейся в базальте теплоты ( $0,11 \times 10^{-12}$  калории на 1 г породы) возрастет в один миллион лет до 3,46 калории. Мы видим поэтому, что должно пройти 33 миллиона лет, чтобы могло накопиться количество теплоты, потребное для расплавления субстрата.

Мы должны рассматривать этот вывод только как некоторое приближение. Возможно, что средняя радиоактивность субстрата ближе определяется тем количеством ее, которое получено для декканских и гебридских базальтов. В этом случае в 1 миллион лет в 1 грамме породы накопится 2,2 калории и для расплавления субстрата потребуется около 56 миллионов лет (для скрытой теплоты мы принимаем в данном случае несколько большую величину).

В главе III мы уже ознакомились с тем действием, которое должно оказать на плавающие материки изменение в состоянии субстрата, и мы пришли также к тому заключению, что хотя лабораторные опыты и дали нам возможность сделать определенные выводы относительно изменения плотности, однако эти выводы оказались бы иными при тех условиях давления, которые господствуют под материками. Такое заключение можно было бы предвидеть, исходя из того, что нам известно о воздействии давления на плотность жидкостей.

Представляется вероятным, что переход из твердого состояния в жидкое должен начинаться с более высоких уровней, и затем уже это изменение будет постепенно распространяться вниз. В конце концов жидкое состояние субстрата сделается преобладающим даже около наиболее углубленных выступов материкового дна, которые соответствуют повышенным частям рельефа, и присутствие которых обуславливается самою сущностью плавания.

Рассмотрим теперь компенсирующие выступы, которые в некоторых случаях проникают на много километров вглубь субстрата, и примем во внимание, что плотность последнего заметно уменьшилась. Эти выступы уже не могут более поддерживать материков, как это было прежде, и таким образом эти последние до некоторой степени теряют свою опору. Это должно воздействовать таким же образом, как если бы была положена значительная нагрузка на поверхность

материков. Они должны будут глубже опуститься в магму; это неизбежно.

По мере того, как дно океанов будет расплавляться и ниже, жидкая магма будет получать все больший и больший доступ к материковому слою; на него все сильнее будет действовать уменьшение плотности субстрата, и, подчиняясь закону изостазии, он станет опускаться все глубже и глубже.

Правда, общее возрастание объема субстрата вызовет небольшое удлинение земного радиуса (всего на несколько километров), вследствие чего и материки и океаны повсеместно приподнимутся на такую же высоту. Однако это не помешает, конечно, материкам погружаться в субстрат.

Океаны не испытают такого воздействия, так как они просто покоятся на верхней поверхности базальтового океанического дна, а это дно, образовавшееся из застывшего базальта, не обладает значительными компенсирующими выступами, проникающими вглубь в расплавленную магму.

Таким образом первое общее проявление изменений выразится в медленном и весьма постепенном опускании материков по отношению к уровню океанов, а поэтому воды последних должны затопить более низменные части суши. Короче говоря, некоторые силы будут приведены в действие, и последнее скажется на материках, не затрагивая, однако, в равной мере океаны. Действие этих сил приведет к вертикальному перемещению материков относительно океанического дна.

Рассмотрим те условия, которые должны в это время господствовать на земле. Твердая земная кора, состоящая из материков и океанического дна, будет подвергаться действию усилий, связанных с увеличением объема субстрата. Действительно, земля возрастет в своем объеме, и ее кора окажется слишком малой для того, чтобы охватить увеличившуюся планету. Из этого произойдут два неизбежных последствия: должно будет проявиться давление жидкого субстрата и должны будут возникнуть соответствующие растягивающие усилия в земной коре. Какие же дальнейшие последствия будут вызваны этими условиями?

Расширение поверхности всей планеты скажется главным образом на океаническом дне. Это следует из того, что толщина дна к этому времени уменьшится, и оно ста-

нет значительно более тонким, чем материковая кора. Можно ожидать, что в поверхностной коре, подвергающейся теперь растяжению, станут появляться трещины,— главным образом в океаническом дне и вдоль материковых краев, где возникнут особые, дифференциальные напряжения: скалывающие силы будут стремиться отделить материки от базальтового дна океанов. По этим трещинам должна выступить расплавленная магма, нагнетаемая высоким давлением. В тех местах океанического дна, где возникнут трещины, они заполнятся большим количеством лавы, которая, выступив из них, разольется по морскому дну. Лава подвергнется охлаждающему действию океана и должна будет вскоре застыть. Повидимому, вдоль таких именно трещин поднялись многие из тихоокеанских островов, как мы это видели в главе I. В тех же местах, где лава излилась вдоль материкового края, создались те особенности земной поверхности, какие наблюдаются теперь вдоль северо-западных берегов Европы— сложенное из базальтов побережье северной Ирландии, а также западной Шотландии и т. д. Иногда такие разломы дают запертой магме возможность выходить на поверхность суши, как это имело место при излиянии траппов Деккана в западной Индии. Материки тоже не избегнут воздействия сил натяжения,— на них непременно должны образоваться трещины, и мы видели уже многие явные доказательства этого.

Нужно напомнить, что указанное выше опускание материков и их затопление морем будут происходить весьма медленно, и для завершения этого процесса потребуется много миллионов лет. В нынешнее время материки сильно приподняты, так как субстрат находится в твердом состоянии и обладает наивысшей плотностью; однако, как мы видели, в нем должна неуклонно накапливаться теплота, что и вызовет постепенный переход его в жидкое состояние. Можно с полной уверенностью сказать, что в конце концов материки опустятся и будут затоплены морем, но это произойдет в очень отдаленном будущем.

Когда расплавление верхней области субстрата проявится в достаточно сильной степени, то должен будет выступить новый фактор, а именно приливы, возникающие от притяжения луны и солнца. Мы уже указывали на это явление, как на неизбежное следствие в том случае, если под

материковой корой существует жидкий субстрат. Нарушения, которые произойдут на поверхности земли, будут, по всей вероятности, незначительны. Океанические приливы сделаются много слабее: они в значительной степени будут возмещены поднятием и опусканием всей твердой земной коры.

Правда, тем разумным существам, которые в это время будут на поверхности земли наблюдать эти приливы, они покажутся незначительными; тем не менее действие приливов вызовет одно весьма важное явление, и мы можем считать, что это явление, по всей вероятности, представляет необходимое условие для того, чтобы на земном шаре могли продолжать свое существование высшие формы организмов. На самом деле, математические исследования показывают, что действие силы приливов заставит наружную кору (т. е. как материки, так и морское дно вместе с покоящимся на нем океанами) медленно передвигаться по подстилающей ее жидкой магме; это движение будет направлено к западу по отношению к внутренней части земного шара. Чтобы выяснить себе всю важность этого явления, мы должны коснуться вопроса о том, каким образом накопившаяся в субстрате радиоактивная теплота в конце концов уходит из него.

Утечка теплоты должна происходить преимущественно через дно океанов. Правда, небольшое количество ее может уходить кверху и через материковый слой (что, по всей вероятности, и происходит), но такой способ утечки теплоты не может заметно уменьшить того количества ее, которое скопилось внутри субстрата. Без сомнения, это поведет к тому, что затвердеет тонкий слой базальта в пределах некоторой площади, приуроченной к тем участкам материкового основания, где кора тонка; однако обширная магматическая область, залегающая глубже, должна оказаться изолированной, и теплота ее будет лишена этой слабой утечки. Поэтому возникает серьезная опасность перегрева под материками. Если для теплоты не было бы возможности выходить наружу, то нам оставалось бы только предположить, что в конце концов должно последовать катастрофическое проявление вулканических сил, которое, быть может, окажется настолько значительным, что уничтожит всю жизнь на суше.

Однако передвижение внешней коры, обусловленное приливами, должно предотвратить это бедствие, при чем это передвижение будет возникать автоматически, как только в субстрате будет накапливаться определенное количество теплоты. Ведь, на самом деле, передвижение земной коры на запад ведет к тому, что океаническое дно перемещается на те участки земного шара, где в предыдущие века расположены были материки; и пока это медленное движение продолжается, охлаждающее воздействие океана распространяется, благодаря этому прекрасному приспособлению, по поверхности субстрата. Любая часть этой поверхности подвергается воздействию одинаковых условий, и из каждой ее части может одинаковым образом утекать теплота.

Теперь нам нужно вкратце коснуться происхождения морского дна и его нарастания. Под названием океанического дна мы подразумеваем тот наружный слой субстрата, верхняя поверхность которого поддерживает воды океанов и который во всех своих частях находится при температуре более низкой, чем точка плавления магмы; температура этого слоя повышается с глубиной, и только в самом основании его она доходит до точки плавления. Если тот огромный промежуток времени, в продолжение которого происходит накопление радиоактивной теплоты, продлится достаточно долго, то дно достигнет такой мощности, при которой исходная его температура, зависящая от его собственной радиоактивности, будет соответствовать точке плавления магмы; утолщаться еще далее океаническое дно уже не может. Достигнув этой предельной мощности, оно должно приобрести такую же способность задерживать теплоту, какою, как мы признали, обладает материковый слой. После этого теплота лишится возможности утекать снизу вверх по той же самой причине, по которой она не может проходить кверху через материковый слой. С другой стороны, если не прошло еще достаточно времени для такого сильного охлаждения, то некоторое количество теплоты все еще будет уходить через океаническое дно из ниже лежащей магмы. Коттер (Cotter) [60] обработал этот вопрос математически. Он указывает, что за 33 миллиона лет (т. е. за промежуток времени, соответствующий той величине периода теплового накопления, которая выводится из более высокой

оценки радиоактивности базальта) нижняя поверхность океанического дна достигнет глубины, которая будет больше 31,4 км и меньше 41,9 км; предельная же толщина этого дна будет около 48 км.

Когда в субстрате начинает наконец преобладать жидкое состояние, то океаническое дно подвергается энергичному действию циркулирующих магматических токов; некоторые из них поднимаются снизу и являются перегретыми сравнительно с температурными условиями более высоких уровней\*. Температура значительной части дна будет тогда, конечно, близка к точке плавления, и толщина его должна сильно уменьшиться за сравнительно короткий промежуток времени. Так, если дно будет расплавляться ежегодно только на 10 см, то менее чем в полмиллиона лет оно утонится от 48 км до 6 км.

Представляется вероятным, что уменьшение толщины океанического дна не может идти далее известного предела: должна быть некоторая минимальная предельная толщина, соответствующая тому моменту, когда количество утекающей теплоты в точности сравнивается с притоком ее, происходящим от конвекционных движений, имеющих место в магме. Однако вычислить эту предельную толщину, конечно, невозможно.

Мы можем все-таки получить некоторое представление о том, что происходит в субстрате в то время, когда он теряет теплоту. Представляется несомненным, что затвердение, хотя и начинается сверху, будет все же распространяться снизу вверх. Причина этого ясна: когда в верхних частях магмы затвердевает некоторое ее количество, то это последнее приобретает плотность более высокую, чем плотность окружающей жидкой магмы. Поэтому затвердевшая часть опускается, и по мере углубления она встречает все более и более высокое давление, которое стремится увеличить ее плотность. Весьма вероятно, что внизу находится более тяжелая и более богатая железом лава, а потому более легкая магма здесь задержится. Заметим, что это движение вниз должно, конечно, сопровождаться обратным движением кверху соответствующих объемов магмы.

---

\* См. приложение к настоящей главе.

К действию этих конвекционных токов надо прибавить еще размешивающее действие прилива, который дважды в сутки проходит вокруг земли. Лава должна притекать, чтобы восполнять приливную волну, и этим вызывается сильное перемешивание. Это будет продолжаться до тех пор пока приливные движения не станут замирать, по мере застывания лавы.

Мы можем теперь видеть, насколько существенно важным для освобождения радиоактивной теплоты является воздействие тех сил, которыми вызываются приливы; при этом, если дарвиновская теория луны верна, то в прошедшие времена это воздействие должно было быть значительнее, чем в наше время. Взгляните на глобус и вообразите себе некоторую силу, действующую более или менее параллельно экватору и стягивающую верхнюю поверхность земли (океанов и моря) справа налево, т. е. к западу. Как вы можете видеть, суша и вода распределены на поверхности земли таким образом, что океаны должны пройти по тем местам, где ранее были материки.

Океаны быстро поглотят ту теплоту, которая накопилась за 30—50 миллионов лет. Может возникнуть мысль, что здесь мы можем найти основную причину климатических изменений: теплый климат должен, казалось бы, преобладать в периоды остывания магмы, а более холодный — в периоды накопления теплоты. Это, однако, не так. Легко можно доказать, что вода океанов никогда не будет заметно нагреваться, как бы ни была велика (в пределах возможного) та скорость, с которой утекает теплота.

Достаточно простого подсчета, чтобы покончить с таким предположением. На основании данных, которые необходимым образом выводятся из наличных условий, можно видеть, что скорость, с которой теплота проходит через океаническое дно, зависит от толщины этого последнего, т. е. так будет, если мы примем, что количество теплоты, доставляемое снизу конвекционными токами, достаточно для того, чтобы удерживать температуру нижней части дна на точке плавления. Как мы уже установили, в связи с этим последним условием должна существовать некоторая предельная толщина дна. Примем, что после некоторого начального периода, в продолжение которого большая часть доставляе-

мой теплоты пойдет на пополнение скрытой теплоты, необходимой для расплавления части дна, толщина этого последнего уменьшится до 6 км. Мы примем далее, что теплопроводность равняется  $4 \times 10^{-3}$ , градиент же, положим, составляет  $1200^\circ : 6 \times 10^5 = 0,0020^\circ$ . Помножая эту величину на теплопроводность, мы находим, что в 1 секунду через  $см^2$  будет проходить  $80 \times 10^{-7}$  калорий — совершенно ничтожное количество. Последнее и останется ничтожным, какое бы допущение мы ни сделали как относительно возможной толщины океанического дна, так и относительно той возможной скорости, с которой утекает теплота вследствие излияния лавы в воду океанов.

По мере того как теплота уходит, и магма затвердевает снизу вверх, приливные движения должны замирать; без сомнения, это будет происходить весьма постепенно. Замедление перемещений магмы, связанных с приливами, прежде всего скажется около наиболее углубленных компенсирующих выступов. В конце концов это передвижение прекратится или же уменьшится до своей нынешней почти незаметной величины.

Мы попытаемся сделать грубый подсчет времени, потребного для того, чтобы теплота, которая скопилась за 30—50 миллионов лет и способствовала наступлению революции, могла перейти в воду океанов. Предположим, что циркуляция магмы, вызванная приливами, продолжается. Ограничимся глубиной в 32 км под материками. Наши вычисления количества теплоты будут просты. Толщина океанического дна равняется, скажем, 6 км, и через 1  $см^2$  проходит  $80 \times 10^{-7}$  калорий в секунду, или 248 калорий в год. Ограничимся вертикальным столбом, имеющим в поперечном сечении 1  $см^2$  и простирающимся вниз на протяжении всей рассматриваемой нами глубины. При скрытой теплоте, равной 90 калориям на 1 г, или 270 калориям на 1  $см^3$ , запас теплоты в нашем столбе, имеющем 32 км высоты, составит, очевидно,  $32 \times 10^5 \times 270 = 864 \times 10^6$  калорий; разделив это на 248, мы получим, что трех с половиной миллионов лет будет достаточно для удаления всей этой теплоты. Чтобы учесть также и все то количество теплоты, которое скопилось в субстрате под материками, до той же глубины, мы должны увеличить вышеуказанный промежуток времени

еще на  $\frac{2}{5}$ — и найдем, что в общем потребуется около  $5 \times 10^6$  лет. Сюда не входит время, потребное для уменьшения толщины дна.

Невозможно решить, приложимы ли эти вычисления к значительно бóльшим глубинам. У нас есть достаточная уверенность только в том, что скорость накопления теплоты в 1 г породы будет повсюду весьма сходной. Однако нам очень мало известны физические условия этого накопления теплоты. Конечно, и принимаемая нами толщина океанического дна взята нами произвольно. Она будет больше или меньше в зависимости от той силы, с которой разразится революция, и от продолжительности последней.

Кроме того, весьма значительной будет потеря теплоты, происходящая от излиятий лавы в океаны. Такая потеря должна иметь место, и притом в очень большом масштабе, так как, на самом деле, морское дно подвергается совместному воздействию разламывающих усилий и направленного снизу вверх магматического давления, вызывающего эти усилия. Увеличение земной поверхности, без сомнения, происходит главным образом за счет океанического дна, которое должно как бы применяться к общему расширению площади; а это последнее за долгий период растяжения коры должно достигнуть нескольких сотен тысяч квадратных километров\*. Вследствие этого при нашем подсчете тепловой потери, основанном на теплопроводности, промежуток времени, потребный для освобождения скопившейся теплоты, должен оказаться преувеличенным.

Что происходит на поверхности, пока продолжается эпоха тепловой потери? По мере того как восстанавливается высокая плотность магмы, земной радиус возвращается к своей прежней величине. По всей земле происходит опускание и материков и океанического дна. Однако, очевидно, это влечет за собой еще некоторые другие явления: раз возрастет плотность магмы, поддерживающей материки, то последние поднимутся, всплывая до своего прежнего уровня. И здесь это воздействие прежде всего скажется на более углубленных компенсирующих выступах. Материки подни-

---

\* См. главу VII, стр. 106.

мутся относительно океанов, а надвинувшиеся на сушу моря должны будут уйти с нее и отхлынуть обратно в океаны.

Теперь цикл завершился. Субстрат снова затвердел. Суша высоко вздымается над уровнем моря, и опять начинается долгий период накопления радиоактивной теплоты; период этот настолько долог, что в продолжение его фантазмагория жизни и смерти успевает вывести на земную арену новые, не виданные еще формы животных и растений.

На земной поверхности должны будут происходить события, которыми мы и займемся теперь. С одним из них мы покончим в нескольких словах. Временное удлинение земного радиуса влечет за собой замедление вращения планеты вокруг ее оси. Теперь это удлинение радиуса исчезает. Восстанавливается прежняя скорость вращения, по крайней мере, постольку, поскольку не изменяет своего течения история динамических отношений между луной, солнцем и землей. Подобные изменения в длине дня имеют, повидимому, мало отношения к рассматриваемому нами предмету.

Сокращение земного радиуса влечет, однако, за собой последствия, которые имеют весьма большое значение для истории поверхности земли. Действительно, по мере того как радиус испытывает это изменение, действие сил растяжения, которое до это времени проявлялось в земной коре, сменяется обратным действием: кора эта приходит в состояние сжатия, которое должно будет преобладать не только в морском дне, но и в материковой коре. Если представляется весьма вероятным и даже достоверным, что предшествующее расширение земной коры сказывалось главным образом на океаническом дне, то теперь наиболее мощные сжимающие усилия возникают от того, что морское дно оказалось теперь слишком обширным и не соответствует более тому пространству, которое оно перед этим занимало на земном шаре. Здесь пред нами встает главная причина образования гор на лике земли.

В этой главе мы проследили происхождение движений земной коры, которые достигают высшей степени своего развития в революции. Этот последний термин американские геологи применяют не ко всему ряду последовательных событий цикла, а к великим событиям, сопровождающим образование складок и воздымание гор. Проследив физические явления вплоть

до тех движений коры, которые проявляются в горообразовании, мы по необходимости должны остановиться до тех пор, пока пред нами не предстанет более полная картина совершающихся на поверхности явлений, которые сопровождают революцию и для которых мы должны найти объяснение.

В заключение обсудим возможно кратко вопрос о том, не могли ли основные факты существования изостазии и радиоактивного субстрата дать начало какому-либо иному ряду последовательных событий, чем тот, который описан нами здесь.

Вопрос этот сводится к другому, более простому вопросу: является ли неизбежным накопление теплоты субстратом и неизбежна ли периодическая утечка этой теплоты? Ведь, на самом деле, эти явления лежат в основании всех геологических явлений, о которых мы говорили выше, каковы: опускание материков, затем их поднятие, а также развитие в коре напряжений, ведущих к горообразованию.

Будем исходить из теперешнего состояния субстрата. Он сейчас тверд. А поскольку он тверд, не может быть утечки радиоактивной теплоты, непрерывно образующейся во всех его частях, или же утечка происходит в очень незначительной степени. Действительно, под материками теплота почти целиком сохраняется, под океанами же она может расходоваться только теплопроводностью, и так как океаническое дно становится все толще и толще, то и в нем должна в конце концов накопиться вся теплота, выделившаяся в глубоких его недрах. Следовательно, нынешнее твердое состояние не может сохраняться беспрестанно: в конце концов должно наступить расплавление.

Однако мы знаем также, что возникающее таким образом жидкое состояние не может быть постоянным. К этому выводу нас приводит изучение физических условий. Мы можем также указать на то, что, если бы это состояние было постоянным, то субстрат не был бы теперь тверд. Но если жидкое состояние, которое, как мы показали, наступает неизбежно, не сохраняется навсегда, то должны возникать условия, создающие возможность утечки накопленного тепла и восстановления твердого (нынешнего) состояния.

Итак мы видим, что существующие условия делают необходимыми периодические изменения физического состояния субстрата — переход от твердого состояния к жидкому, а затем обратно — к твердому и т. д.

Если мы попытаемся найти возможность избежать этого вывода, то мы увидим, что это можно сделать лишь предполагая, что существующие условия не являются условиями накопления, что теплота утекает каким-то путем с такою же скоростью, с какой она вырабатывается во всем субстрате.

Но как это может происходить? Не путем передачи теплоты теплопроводностью. Предохраняющее действие радиоактивности материков и океанического дна не допускает передачи тепла теплопроводностью. Следовательно, для объяснения утечки мы можем прибегнуть лишь к конвекции. Бесчисленные дейки должны, согласно такому объяснению, опускаться из-под океанического дна до самого основания субстрата; и в этих дейках (глубиной, вероятно, не менее 160 км) должна циркулировать расплавленная магма; при этом восходящие токи передают свою теплоту океану и каким-то путем уходят обратно для сохранения циркуляции. Однако затруднения, которые мы встречаем относительно областей, лежащих под океаном, усиливаются, если мы обратим наше внимание на отношения, имеющиеся под материками. Под материками мы можем прибегнуть лишь к предположению горизонтально лежащих пластовых жил, которые должны простираться на многие сотни километров во всех направлениях. Какая, однако, сила может поддерживать горизонтальную циркуляцию? Сила эта не может быть силой тяжести. Ясно, что подобные гипотетические условия неосуществимы.

Оставляя в стороне эти затруднения, вещество, так перемешанное с жидким материалом, как это должно быть при подобном предположении, не может удовлетворить требованиям сейсмологии. Такая среда не передавала бы сейсмических волн кручения.

При изучении этого вопроса мы приходим к следующим выводам: во-первых, причина периодичности заключается в том, что расходование теплоты может иметь место лишь вследствие конвекционных движений и при содействии приливных сил; во-вторых, развивающаяся при этом скорость потери теплоты в столь колоссальной степени превосходит

скорость крайне медленного притока, что становится неизбежным возврат к твердому состоянию; при этом важным условием является то, что отверждение происходит снизу вверх.

Тот же принцип, несомненно, выражается в пароксизмах гейзера и перемежающейся деятельности вулканов.

Наконец, даже в случае возможности другого толкования этих явлений, допустимого с точки зрения физики, его пришлось бы признать несостоятельным, если бы оно не было в состоянии удовлетворить требованиям геологической науки, т. е. если оно не могло бы объяснить явления, наблюдаемые нами на поверхности земли. И вот, невозможно представить себе такую физическую систему, создающую условия постоянного истечения теплоты к поверхности, которая могла бы объяснить те периодические события, которые лежат в основе геологической истории и которые до сих пор представляли труднейшую проблему последней.

### ПРИЛОЖЕНИЯ

---

#### Физические условия, господствующие в субстрате

Как уже было сказано выше, мы знаем очень мало о том, что происходит с раскаленными породами при высоком давлении. Теория и опыт устанавливают то положение, что точка плавления вещества, расширяющегося при плавлении (как, например, базальта), повышается при увеличении давления. Поэтому в глубоких недрах субстрата точка плавления выше наблюдаемой нами в лаборатории. Есть основания думать, что повышение точки плавления достигнет максимума на глубине около 150 км. Выводы, к которым пришел Фогт, говорят о повышении точки плавления на  $50^{\circ}$  С, при глубине в 40 км. Таким образом базальт, плавящийся на поверхности при  $1150^{\circ}$  С, будет плавиться при  $1200^{\circ}$  С на глубине 40 км, т. е. приблизительно у основания материков.

Когда в субстрате начинается циркуляция, то этим создаются восходящие токи перегретой лавы. На самом деле, глубоко лежащая лава, подвергшаяся ожижению, должна иметь более высокую температуру, чем лава, расплавившаяся

на меньшей глубине. Если затем приливные движения уносят глубоко лежащую лаву вверх, то она должна весьма энергично доставлять теплоту, необходимую для уменьшения мощности океанического дна. С другой стороны, когда лава застывает в верхних слоях и, в силу увеличивающейся плотности, падает до тех пор, пока не будет задержана плотной магмой, которая может оказаться внизу, то температура опустившейся лавы будет ниже господствующей температуры (так как на большой глубине магма имеет более высокую точку плавления), и лава эта должна будет поглощать теплоту из окружающей ее среды.

Другим условием, которое должно замедлять ожигение в глубоко лежащих частях субстрата, является увеличение вязкости книзу, которое сопровождается повышением давления. Возможно, что действие это невелико, но, по всей вероятности, оно существует.

#### Океаническое дно и застывание субстрата

В периоды расплавления и приливных движений дно должно прежде всего испытать быстрое уменьшение своей мощности. Действительно, значительная его часть близка к точке плавления, и восходящие точки являются более или менее перегретыми. Расплавление дна должно быть связано с значительным расходом теплоты, что невозможно при температуре, точно соответствующей точке плавления. Представляется возможным — но не вероятным, — что, прежде, чем дно подвергнется энергичному воздействию теплоты, имеет место некоторое общее повышение температуры над действительной точкой плавления. Это может замедлить наступление революции. Но значительная часть магмы, находящейся под материками, так же как и магма, восходящая из более глубоких слоев, должна достигать океанического дна в перегретом состоянии.

Представляется несомненным, что толщина океанического дна не может уменьшаться беспредельно. Должна существовать известная предельная толщина, которая будет достигнута, когда скорость утечки теплоты в океан станет равной скорости притока теплоты снизу. Нужно помнить, что скорость передачи теплоты теплопроводностью через дно зависит

просто от его толщины, при остающихся почти постоянными температурах его верхней и нижней поверхности. Скорость же притока теплоты к океаническому дну зависит от интенсивности конвекционных движений. Она должна с течением времени уменьшаться. Когда достигается равновесие, то совершенно не остается такой свободной части поступающей теплоты, которая могла бы пойти на дальнейшее уменьшение толщины океанического дна, так как вся теплота переходит в океан — либо теплопроводностью, либо путем излияния расплавленной магмы.

По прошествии промежутка времени, в течение которого существует равновесие между скоростью утечки и скоростью притока теплоты из более глубоких частей субстрата, приток должен уменьшаться, и тогда должен наступить период нового нарастания дна.

Приливные движения будут медленно замирать, а по их окончательном прекращении некоторая часть субстрата может еще оставаться жидкой. Под океаном эти условия вызывают нарастание океанического дна сверху вниз. Под материками, возможно, будет продолжаться местами потеря теплоты теплопроводностью через материковую кору. Но наконец магма застывает на всех уровнях, что достигается в связи с окончательным распределением теплоты между опустившейся сверху лавою и глубоко лежащей магмой, имеющей температуру плавления, соответствующую той глубине, на которой она находится.

### Устойчивость океанического дна

Естественно возникает вопрос об устойчивости океанического дна в период расплавления. Будет ли дно разламываться и проваливаться?

Более высокий удельный вес плато-образующих базальтов по сравнению с удельным весом базальтов, излившихся из вулканов (см. главу I, приложение), и воздействие, оказываемое давлением на плотность нижних, жидких слоев магмы, делают вероятным, что „дно“ сохраняет способность плавать, хотя бы даже оно и могло беспрепятственно опуститься. Но во всяком случае является очевидным, что океаническое дно, лежащее между холодными океаническими во-

дами малой плотности и горячим жидким базальтом, является действительно устойчивым. Если бы дно испытало разломы, и части его провалились бы вниз, то такие части дна были бы лишь поглощены и переплавлены жидкой магмой, которая при этом охлаждалась бы и которая должна была бы быстро перейти в твердое состояние в силу значительной теплоемкости вышележащей холодной воды. Поэтому такое явление не может вести ни к каким значительным последствиям, кроме сравнительно быстрой утечки теплоты из субстрата.

Однако подобные провалы могут происходить лишь в редких случаях, так как возникающие вследствие растяжения или сжимания трещины должны быстро восполняться инъецируемой снизу, под давлением, лавой. Такие разломы вызвали, без сомнения, изливания гебридского базальта; такие же разломы, по всей вероятности, повторялись часто в течение геологической истории и происходили в колоссальном масштабе на дне океана.

Давление на дне океана слишком велико для того, чтобы могло происходить кипение. Критическое давление, выше которого кипения не может быть, составляет около 200 атмосфер; давление же, существующее на средней глубине океана, составляет не менее 400 атмосфер. Поэтому теплота переходит в воду спокойно и быстро уносится конвекционной циркуляцией.

---

## VII. ОБРАЗОВАНИЕ ГОР

**П**ОСЛЕ очень продолжительного промежутка времени начинается утечка в океан скрытой теплоты, накопленной в субстрате, и тогда предшествующий ряд событий повторяется в обратном порядке. Начинается сокращение земной поверхности, а растягивающие усилия в коре постепенно сменяются сжимающими. Наружная кора земли теперь слишком велика для уменьшающейся площади земной поверхности, и морское дно начинает напирать на материковые края с силой, возрастающей по мере увеличения его мощности и по мере отвердевания субстрата.

Развиваемые таким образом давления должны быть очень значительны. Самое дно океана получает длинные волнообразные изгибы: поднятия с пологими склонами, подобные срединной возвышенности Атлантического океана, или крутые изгибы вроде тех, которые образуют склоны впадин Тихого океана. Побережья вдавливаются внутрь, образуются приподнятые прибрежные площади суши, и начинается поднятие гор.

Самым поразительным свойством, характеризующим горы, является то, что они состоят в значительной мере, а иногда по преимуществу, из осадочных пород, т. е. из пород, некогда отложившихся в морях. Правда, эти осадки бывают изогнуты, смяты в складки, иногда даже метаморфизированы до неузнаваемости, но при всем этом они являются отложениями, поднявшимися со дна морей для того, чтобы образовать горную цепь. Это явление имеет всеобщее распространение. Это относится даже к увенчанным вулканами Андам и Кавказу. Глубокие ущелья, разверзающиеся между высотами Альп, обнажают гигантские своды пластов известняка, смятых в складки подобно слоям воска. Твердые сланцы (часто превращенные в слюдяные сланцы), говорящие о



Рис. 8.

Стереографические карты восточного и западного полушарий, с указанием горных цепей, образовавшихся к концу палеозоя.

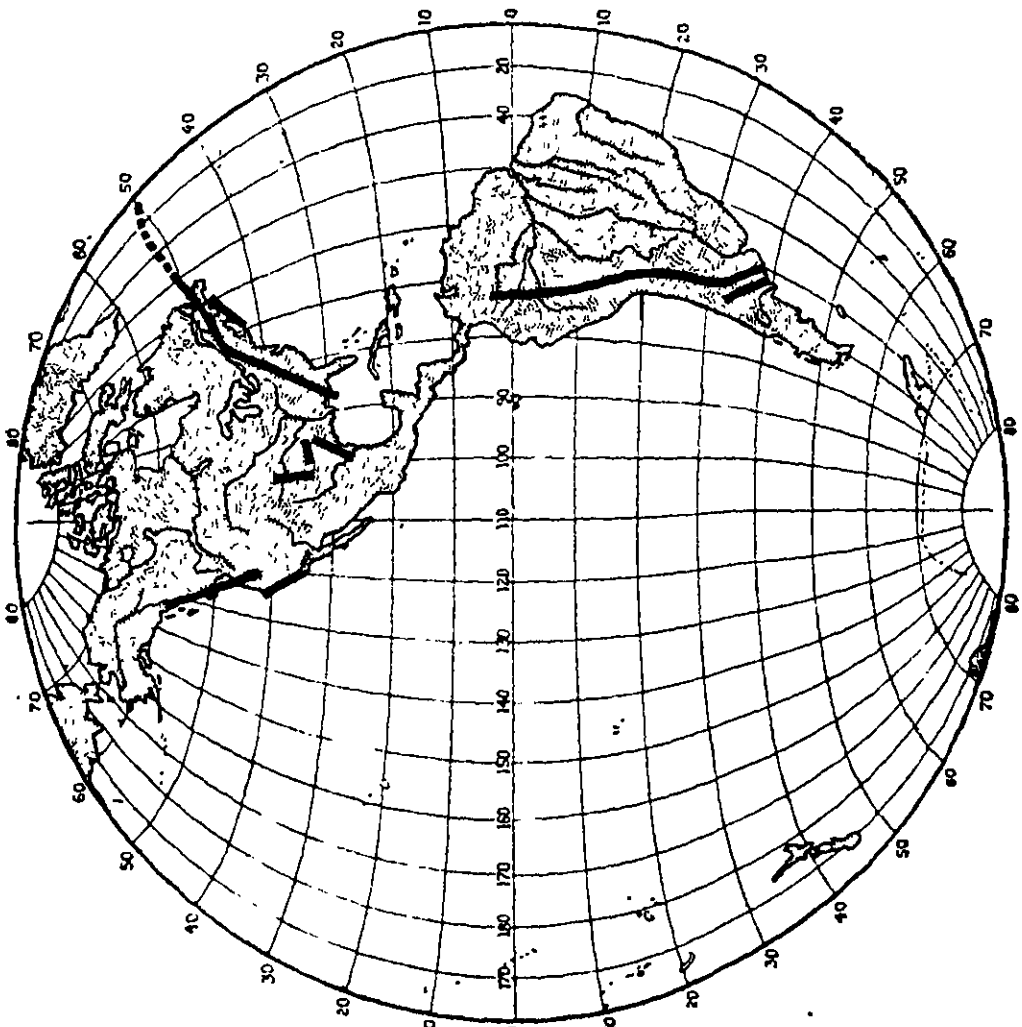


Рис. 9.

прежних морских пучинах, подпирают такие исполинские горы, как Эйгер или Маттергорн, и покоятся на гранитах Гималаев или залегают между массивами этих гранитов.

Чем это объясняется? Мы увидим, что ключ к загадке происхождения горных хребтов следует искать в многозначительном факте их морского происхождения.

Горные хребты, однако, не поднялись из срединных частей океана; нет у нас также оснований думать, что они возникли у берегов материков. Они возникали во внутренних, или средиземных морях, обычно вытянутых параллельно побережью материков, от которого эти хребты отстояли на многие километры. Заметьте на карте положение Кордильер Северной и Южной Америки и положение евразийских цепей. Первые простираются в более или менее меридиональном направлении, вторые же — в широтном; при этом границы материков тянутся в тех же направлениях. В Северной Америке есть две следующие одна за другой горные системы (Скалистые горы и Сиерра-Невада, с одной стороны, и Береговые хребты — с другой стороны), параллельные западному берегу. В Южной Америке Кордильеры состоят из соединившихся хребтов различных возрастов и различного строения. Искривленные хребты Евразии, в общем, параллельны южному материковому краю. Рассматривая эти хребты, мы должны признать, что тангенциальные силы, вздымающие горы, могут действовать внутри материков на значительном расстоянии от берега. В этом нет ничего удивительного, так как, действительно, сжимающие усилия должны передаваться далеко вглубь материка, где они и проявятся, если только встретят непрочные участки коры.

Происхождение цепей Евразии приписывалось напору, направленному с юга и юго-востока. Для рассмотрения этого вопроса мы должны представить себе в общих чертах тектонику земного шара. Вспомним, что почти все существующие горные цепи — недавнего происхождения и возникли, в геологическом смысле, одновременно. Горы Америки были образованы усилиями, действовавшими в широтном направлении; горы же Евразии — усилиями меридионального направления. Вообще мы можем принять, что широтные усилия израсходовались на поднятие цепей Америки; меридиональ-

ные же усилия проявились иначе — они пошли на вздымание цепей Евразии.

Оседание коры сопровождается, как мы видели, давлением морского дна на материковые края. Последние должны податься действию этого напора. Они утолщаются в вертикальном направлении, поднимаясь и одновременно расширяясь книзу. В соответствии с условиями изостазии, погруженная часть приблизительно в 8 раз толще той, которая образует приподнятую окраину суши.

Далее следует длинный период накопления теплоты в субстрате. Компенсационные выступы первыми испытывают на себе результаты уменьшения плотности. Окраинные области суши опускаются, унося вниз прилегающие участки коры, которые занимаются трансгрессионными водами. Таким путем возникает геосинклинальное море. Оно сохраняется на протяжении последующих веков. К нему теперь отклоняются реки, которые раньше относили осадочный материал в океан. В течение этих веков действие горизонтального давления океанического дна может сойти на-нет; но вогнутость геосинклинали поддерживается постоянно увеличивающейся нагрузкой осадков и продолжающимся переходом субстрата в жидкое состояние. Впадина эта развивается, не без колебаний в площади и глубине, в большое континентальное море, длиною, быть может, в три тысячи километров или более, а шириною в несколько сотен километров. Наконец наступает период новой революции. Геосинклинальное море становится более мелководным. Возобновляется прежнее давление со стороны океана. Что же должно при этом произойти? Деформированное и ставшее менее прочным дно геосинклинального моря, на протяжении долгих веков бывшее вдавленным в раскаленный субстрат, поддается действию этого давления. Постепенно накопленная нагрузка этого дна теперь деформируется боковым давлением и вытесняется как вверх, так и вниз; при этом подстилающие материковые породы вдавливаются еще глубже в магму, создавая компенсационные выступы глубиной во много километров. Таким путем возникают площади, вытянутые параллельно побережью. Вогнутая слоистая структура, склоны которой обращены к ее середине, является непрочной в отношении действующих в горизонтальном направлении сил сжатия; а поддерживаю-

щее ее дно становится мягким в условиях избытка теплоты на протяжении веков. Баррель в 1918 году писал: „Уиллис показал, что глубокое погружение центра геосинклинали создало начальный наклон, который предопределил положение места, поддающегося сжатию. Лабораторные опыты установили непрочность такой стратиграфической структуры в отношении сопротивления горизонтальному сжатию“.

При этих великих тангенциальных движениях, обыкновенно простирающихся на несколько километров, происходит в значительной степени образование складок и надвигов, наблюдаемых в горах. Движения эти развиваются медленно в продолжение долгих веков, которые являются свидетелями указанных событий; и мы замечаем, что в течение всего процесса развития этих движений изостазия управляет вертикальными движениями и оставляет вновь образовавшиеся горы в изостатическом равновесии.

Однако образование гор еще не закончено. События революции завершаются полным восстановлением твердого состояния магмы. Значительные изостатические силы действуют теперь на вновь образовавшиеся компенсационные выступы, и вся раздавленная и смятая в складки масса, поддерживаемая этими выступами, подымается еще выше. Это заключительное вертикальное движение есть характерное явление конца орогенезиса. Иногда оно возобновляется при следующей революции, как это было с Аппалачами, которые развились, главным образом, в пермо-карбоновую революцию, но испытали вертикальное поднятие на 600 м в Ларамийскую революцию мелового периода.

Итак, горный хребет создан. И подобно тому, как он был рожден из осадков, снесенных с приподнятых материковых окраин, так и его обломки, в свою очередь, будут ложиться на материковую кору и в свое время дадут начало геосинклинальным отложениям грядущих веков, а в конце концов — новому поколению гор, которые появятся тогда, когда более древние будут разрушены и превратятся как бы в тень своего былого величия. Дэна (Dana) давно уже указывал на тот поразительный факт, что величайшие горные цепи стоят перед обширнейшими океанами. Механический принцип, с которым мы здесь встречаемся, прост: в более широком Тихом океане напряжения выражены сильнее, чем

в более узком Атлантическом. А эти напряжения должны в конце концов быть уничтожены движениями, которые должны совершиться в пределах гибкой геосинклинали. Поэтому была неизбежна большая гибкость западного побережья Америки по сравнению с восточным. Подобным же образом меридиональные напряжения значительной части расширенной поверхностной коры уничтожаются сложными процессами образования складок Альп, Пиренеев и хребтов Гималаев: цепи Евразии тянутся, как мы знаем, приблизительно в широтном направлении.

Выводы, вытекающие из геологических наблюдений, говорят в пользу того, что горообразование, вообще говоря, не есть однообразно протекающий процесс. Повидимому, бывают паузы, за которыми следует возобновление орогенезиса. Это возобновление может происходить через значительные промежутки времени. Изучение горных цепей во многих случаях вскрывает такие перемены. Каким причинам обязаны они своим происхождением?

Самое простое объяснение исходит из вероятных (а, пожалуй, и неизбежных) событий, совершающихся в недрах субстрата. В силу весьма большого давления нижние его горизонты находятся в иных физических условиях и ведут себя иначе, чем более верхние. Но хотя не может быть внезапных изменений объема более сильно сжимаемой магмы, связанных с накоплением радиоактивной теплоты, тем не менее ясно, что должно наступить время, когда возникнет неустойчивое состояние. Небольшое перемещение кверху должно в таких условиях сопровождаться увеличением объема, и масса получает ускорение в направлении верхних частей субстрата. Такое вертикальное перемещение невозможно в течение того периода, когда субстрат находится всецело в твердом состоянии. Но когда верхние части его становятся жидкими и принимают участие в приливных и конвекционных движениях, возникают условия, вызывающие поднятие глубоко лежащей магмы.

По этой причине в продолжение периода приливов, через некоторые промежутки времени (быть может, значительно отдаленные друг от друга), будет иметь место пробуждение энергии под океанами и материками. Развитие орогенезиса приостанавливается; возможен временный возврат к состоя-

нию растяжения в коре, а затем, в связи с продолжающейся потерей теплоты, — возобновление действия сжимающих сил и возобновление орогенезиса. Коротко говоря, мы имеем основание ожидать ту самую перемежаемость событий, которая так часто наблюдается полевым геологом. Горообразование происходит в последовательные стадии, зависящие от катастрофической утечки энергии из недр субстрата.

Такое толкование явлений орогенезиса не только отвечает их внутреннему существу; кроме того, оно, повидимому, указывает причину великих горизонтальных движений, о которых геологи заключают на основании наблюдаемых ими фактов. Конечно, мы не можем найти численное выражение результатов перемещений в субстрате; если, однако, субстрат простирается вниз до глубин, на которые указывает сейсмология, то, очевидно, должны иметь место весьма крупные диастрофические явления прежде, чем повсюду восстановится равновесие. Горы воздвигаются не одним грандиозным усилием сжатия, а последовательными усилиями субстрата, который претерпевает колебания в своем объеме на протяжении значительных промежутков времени. Прежде чем закончится период неустойчивости и расходования теплоты — этими чертами характеризуется революция — и наступит еще более продолжительный период покоя и накопления теплоты, быть может, имеют место даже движения простого поднятия, происходящие от временного застывания и охватывающие глубоко погруженные компенсационные выступы.

Если мы примем этот взгляд, как больше всего соответствующий фактам, наблюдаемым на дневной поверхности, и как наиболее вероятный с точки зрения изменяющихся физических условий, которые должны существовать в субстрате, то мы должны смотреть на орогенические результаты революции как на следствие колебания потери и прибыли теплоты. Потеря иногда превышает приток теплоты к высшим слоям субстрата; в такие периоды орогенезис возобновляется; за таким состоянием следует восстановление условий натяжения, сопровождаемое восхождением энергии из глубин; после чего силы сжатия снова неизбежно начинают воздействовать на материковые края.

Вполне естественно, что попытки определить величину сокращения земной коры или уменьшения площади при образовании горной цепи встречают большие затруднения. Даже в случае самых молодых горных хребтов такие подсчеты могут быть лишь грубым приближением. Когда же мы имеем дело с хребтами, возникшими в результате более древних революций, то мы, конечно, встречаемся с новыми затруднениями, зависящими от того, что более древние горы были стерты денудацией в большей своей части или даже целиком, как об этом свидетельствуют нивелированные остатки докембрийских гор или; прежних Скалистых гор, а также древних Аппалачских гор. Далее, история большинства великих хребтов говорит нам об орогенезисе, повторяющемся обычно в соответствии с последовательными великими революциями. Промежутки между революциями занимают периоды (приблизительно по сорока миллионов лет или более) денудационного сноса. Об этом свидетельствует денудационное разрушение, которому подверглись Ларамиды \* в конце мелового периода и до того времени, когда более поздние третичные движения выдвинули современные хребты, а также — неимоверно разрушительная денудация Альп в недавнее время. Баррелль сообщает, как Поуэлль (Powell), Дёттон и Гильберт (Gilbert) во время их исследований в западных горах Америки „наблюдали изумительную работу денудации, которая доходила до своего крайнего предела многократно в течение геологических времен“.

В сущности говоря, все то, что сохранилось доньше из прежних черт лица земли и доступно нашему наблюдению, представляется лишь маленьким остатком. Сколько-нибудь надежное количественное определение орогенезиса давно минувших времен, очевидно, навсегда останется неосуществимым.

Исходя из данных, относящихся к ныне существующим горам, Джеффрис (Jeffreys) [61] дал грубый подсчет сокращения площади, охватывавшейся орогенезисом на протяжении всей геологической истории. Так как при этом подсчете нельзя было исключить некоторые древние хребты, напри-

---

\* Горы, поднявшиеся во время Ларамийской революций, происшедшей в верхне-меловое время (система Скалистых гор). *Прим. переводчика.*

мер Аппалачи, то полученные цифры, вероятно, являются преувеличенными по отношению к степени сокращения поверхности, охваченной недавней великой альпийской революцией третичного времени. Его определение дает 1 872 000 км<sup>2</sup>.

Если мы примем, что субстрат участвует в великой революции до глубины в 160 км и что сумма колеблющихся изменений объема в одну сторону (либо в сторону расширения, либо в сторону сжатия) достигает 7% первоначального объема (см. главу III), то соответствующая сумма изменений земного радиуса составит около 10,9 км. Изменения поверхности в одну сторону дадут в сумме до 1 700 000 км<sup>2</sup>. Этот результат, очевидно, соответствует величине общего сокращения поверхности, найденной Джеффрисом.

Как мы заметили выше, наиболее согласуется с явлениями орогенезиса, повидимому, предположение, что этот результат достигается вследствие колебания прибыли и убыли теплоты в связи с поднятием энергии снизу.

Мы можем подойти к вычислениям, касающимся движений коры, которые вызывают горообразование, и иным, более наглядным способом.

Подсчеты укорочения земной коры в широтном направлении при генезисе Скалистых гор, имевшем место преимущественно — но не всецело — в меловое время, дали 46,4 км. В это время в восточной части Северной Америки не было крупных горизонтальных орогенических движений. Предположим, что сокращение площади земной коры проявилось широтными и меридиональными движениями, при чем первые пошли главным образом на поднятие Скалистых гор. Увеличение поверхности на 1 700 000 км<sup>2</sup>, к которому мы пришли выше, соответствует увеличению окружности земли на 65,6 км. Поэтому, учитывая генезис Скалистых гор, мы, повидимому, имеем некоторый свободный излишек для других, менее значительных нарушений широтного направления.

При существующем расположении материковых массивов земного шара крупные приморские полосы, тянущиеся с востока на запад, вдоль которых можно было бы искать орогенические явления, зависящие от сил меридионального направления, могут оказаться лишь в Евразии. Поэтому горные хребты, дополняющие Кордильеры обеих Америк, пред-

ставлены широтными хребтами Евразии. Замечательно, что результаты Ларамийской революции, обусловливаемые тангенциальными движениями коры, не столь заметны в Евразии, как в Северной и Южной Америке. Возможно, что памятники этих движений частично погибли, так как последние проявились преимущественно в океаническом дне.

Если подсчеты правильны, то относительно некоторых революций приходится искать причин более значительного укорочения коры для того, чтобы объяснить возникновение складок, образующих горы. Так, сумма укорочения коры в случае Альп определялась в 121,6 км. Это укорочение должно быть приписано самой поздней мировой революции, происшедшей в верхне-третичное время и известной под именем Альпийской революции. Во время той же революции произошло поднятие Гималаев, но укорочение коры, связанное с образованием последних, не должно быть прибавлено к укорочению, относимому за счет Альп, так как эти хребты значительно отдалены друг от друга в направлении с запада на восток и должны были поглотить движения коры, совершавшиеся преимущественно в меридиональном направлении. Джеффрис ссылается на Олдгема, определяющего это движение в 100 км. Эти величины движений сжатия, повидимому, являются самыми большими из всех, какие до сих пор указывались как необходимые для образования горных систем, за исключением Аппалачских гор, для поднятия которых Кит (Keith) в недавно вышедшей работе [62] считает нужным сокращение в 320 км. Он, однако, считает, что складки, из которых сложены эти горы, образовались главным образом вследствие внедрения снизу огромных масс интрузивных пород. Такие массы известны под именем батолитов и являются обычной особенностью внутреннего строения гор; в некоторых хребтах, например в Кордильерах западной части Северной Америки, они развиты в громадном масштабе.

Батолиты, являющиеся дополнительной чертой строения горных хребтов, заслуживают особого рассмотрения. Батолиты состоят из масс гранита или анортозита, тянущихся в направлении оси гор и, очевидно, поднятых из глубоких недр теми же силами, от которых зависит развитие орографических особенностей. Они возникают несомненно внутри материковой коры. Дэйли (Daly) и другие петрографы смотрят на них

как на верхние части абиссальных дейк колоссальных размеров. Примером батолита сравнительно маленького масштаба может служить гранитный массив, образующий ядро Лейнстерских гор юго-восточной Ирландии, вторгшийся в место своего нынешнего залегания под до-девонскими сланцами, очевидно, вследствие давления снизу. Он, повидимому, имеет 160 км в длину. Анортозитовые батолиты встречаются преимущественно там, где развиты архейские интрузивные породы, вместе с гигантскими гранитовыми батолитами и в связи с громадными трещинными извержениями базальтовой магмы.

Мы уже отметили, что заключительные фазы поднятия гор обычно сопровождаются великими вертикальными движениями; а простое и естественное объяснение этих движений мы нашли в явлениях, которые происходят по окончательном отвердении субстрата вокруг компенсационных выступов, поддерживающих горы и погруженных глубоко в магму, подстилающую материковую кору. Эти компенсационные выступы должны неизбежно состоять из материковых пород, которые в течение долгих веков имели температуру магмы; они могли иметь даже более высокую температуру в периоды, непосредственно предшествующие возникновению приливных движений. Можно показать, что собственная внутренняя радиоактивность этих выступов приводит к температурам, при которых они в некоторых случаях должны размягчиться или даже расплавиться. Так, например (как мы это видели в главе III), можно показать, что внутренняя температура в  $1500^{\circ}\text{C}$  возможна в таком компенсационном выступе, как тот, который должен поддерживать Тибетское плато (средняя высота последнего над уровнем моря равняется, по имеющимся сведениям, 4575 м). Отсюда следует, что может существовать сильно размягченное ядро, в химическом отношении имеющее, может быть, характер гранита. Механизм вторжения плутоической материковой магмы во внутренние части горной цепи находит себе непосредственное и простое объяснение в значительных вертикальных давлениях, действующих на такой выдающийся массив снизу вверх.

Представленная выше история батолита согласуется с выводом, к которому приходит Дэйли: „Каждое батолитовое вторжение следовало более или менее скоро за перио-

дом интенсивной деформации земной коры, охватывавшей более древние толщи данной области; какие-либо исключения из этого положения нам не известны“ [63].

Следует обратить внимание на следующие слова Баррелля: „Многие другие исследователи находили, что значительная часть горного рельефа, опоясывающая земной шар, обязана своим происхождением вертикальным вздымающим силам, действующим на области, где раньше образовались складки и надвиги. Вдобавок к этому обширные плато лишенных складчатости пород подымались целиком, на 1—2 мили (1,6—3,2 км) или более, выше их прежнего уровня. Эти площади могут представлять собой широкие своды геантиклиналей или могут быть ограничены стенами глубоких трещин. Линейные горные системы, возникшие из глубоких, покрытых осадками, корытообразных впадин, стали поэтому считаться лишь одним из нескольких типов гор“.

Мы, однако, уже указывали на то, что вертикальные движения неизбежно должны были действовать в областях, где раньше возникли складки и надвиги. На самом деле, этот процесс образования складок и надвигов влечет за собою возникновение более значительных компенсационных выступов; и в свое время, после того как революция, вызвавшая складкообразование, дойдет до своего конца, следующий за нею период застывания дает начало вертикальному напору, который завершает орогенезис. Мы уже останавливались на существенном значении этого напора. Баррелль считает, что он представляет собою определенную особенность орогенезиса. На самом деле, большие площади плато также имеют свои компенсационные выступы и должны подыматься „будучи ограничены стенами глубоких трещин“, если эти площади испытали разломы, которые возникли вследствие растягивающих усилий, предшествовавших горообразованию.

Многие авторитетные ученые считают, что видимые нарушения в земной коре — разломы, складки и подобные орогенические явления — в значительной степени объясняются только что указанными великими вертикальными движениями, сопровождающими поднятие гор. Марсель Бертран (Marcel Bertrand) и вслед за ним некоторые другие ученые признают в простом отложении осадков геосинклинального

бассейна необходимую причину бокового сжатия и складкообразования, происходящего в то время, когда осадки лежат глубоко под поверхностью материка. Оба эти воззрения, вероятно, справедливы.

Представляется сомнительным, чтобы какие-либо нынешние материковые водоемы земного шара могли считаться геосинклинальными. Современная эпоха есть период высокого поднятия суши, и трансгрессионных морей теперь нет. Исчезли также великие реки, питавшие геосинклинали; их место заняли новые реки, которые часто пересекают значительные материковые пространства до впадения в океан, куда они сгружают переносимый ими обломочный материал. Возьмите, например, реку Миссиссипи и обратите внимание на огромное скопление осадков, на которых построен город Новый Орлеан, и благодаря которым суша вклинивается на много сотен километров в Мексиканский залив; в прошедшие века осадки эти удерживались бы в каком-то великом геосинклинальном водоеме. В нем они собирались бы, образуя слои осадочных пород, из которых в конце концов образовались бы горные хребты.

Однако высказывались сомнения относительно значительной вертикальной глубины, которую некоторые считают необходимой для накопления отложений, послуживших материалом для гор. И действительно, прежде чем признать подобную глубину, надо принять во внимание пределы, обуславливаемые изостазией, и вероятные глубины трансгрессионных морей. Но этому условию не противоречат подсчеты Чэ м бер ли на (Chamberlin) и Сэй ль с бер и (Salisbury) [64]. По этим определениям высота гор Ларамидского хребта, развившихся в верхне-меловое время, равнялась 6100 м, а ввиду имевшего место дальнейшего поднятия — высота их теперь составляла бы от 9500 до 10500 м, если бы эрозия не уничтожила плодов своей собственной работы и не унесла бы в реки продуктов разрушения около 6100 м хребта.

Движения коры, которые мы тут рассматривали, по существу своему, — повторяющиеся и совершаются в пределах одной и той же геосинклинальной площади. Шукерт (Schuchert) выяснил характер геосинклиналей Северной Америки, показав, что они существо-

вали уже в древне-палеозойское время. То же, повидимому, можно сказать и обо всех великих геосинклиналях земного шара. История их была весьма неодинакова. В древнейшей из северо-американских геосинклиналей — Кордильерской — осадки накапливались до мелового времени; толща последовательных отложений протерозоя и палеозоя обнаруживает согласное напластование во всех своих частях; такое непрерывное отложение осадков продолжалось до конца юрского времени. Первая геантиклиналь Скалистых гор возникла в верхне-каменноугольное время (в нижне-пеннсильванское время). Однако вся эта высокая геантиклиналь была снесена денудацией к верхне-юрскому времени. В этой древней палеозойской геосинклинали в ларамийское время (конец мелового периода) были воздвигнуты Скалистые горы (нынешние); они подверглись дальнейшему поднятию на несколько тысяч футов в плиоцене. Действительно, „преимущественно в продолжение миоцена и — в меньшей степени — плиоцена вся площадь, занимаемая трансгрессиями Тихого океана в Северной Америке, подвергалась поднятию, сминалась в складки, испытывала образование сбросов, а также надвигов, которые выражались в перемещении пород на восток, в область тихоокеанской горной системы“ [65].

Аппалачская депрессия существовала уже в очень древние, протерозойские времена. Осадки, которые сгружались там в продолжение последующих веков, приносились с востока и юго-востока; дело в том, что в то время существовал восточный выступ Северной Америки, впоследствии погружившийся в Атлантический океан. Однако принос материала был отнюдь не равномерным. Уровень суши изменялся, и здесь „мы наблюдаем явление, которое так хорошо теперь известно и заключается в том, что океанические трансгрессии захватывают области материков периодически, причем они более или менее непостоянны по занимаемой ими площади“.

Дальнейшая история этого великого хребта необычайна, и излагаемые Шукертом факты, относящиеся к ней, в высшей степени поучительны [65].

В результате движений Аппалачской революции многовековые накопления осадков, отлагавшихся с нижне-протерозойских времен, поднялись, образовали складки и надвиги.

и в значительной своей части подверглись метаморфизму. В пермское время, после эрозионного разрушения толщи мощностью до нескольких километров, стертые уже горы были вновь подняты вертикально на тысячи футов.

Периодический характер орогенезиса обнаруживается также и в Альпийской системе Европы. Тут различают три главных периода нарушений: в конце палеозоя (Аппалачская революция), в конце мела (Ларамийская революция) и в конце третичного периода (Альпийская, или Каскадская революция). Факты такого же рода мы могли бы найти и в других великих хребтах, каковы Пиренеи, Кавказ и др.

Относительно Андов многое остается невыясненным. Древняя геосинклиналь, имеющая около 8 000 км в длину, отделенная от Тихого океана возвышенной окраиной материка, повидимому, сохранялась до мелового времени; при этом окраина материка часто подвергалась поднятию. В Ларамийскую революцию накопившиеся осадки были смяты в складки и приподняты; кроме того образовались надвиги, выразившиеся в перемещении пород к югу. Денудация сильно уменьшила высоту этих хребтов, но они были вновь приподняты вертикально в третичное время и, наконец, — уже после Альпийской революции — в плейстоцене. Дуглас (Douglas), говоря о Перуанских и Боливийских Андах, отмечает, что средне-третичное поднятие их достигало по меньшей мере 4 250 м и что движение сопровождалось величественными взрывами вулканической деятельности. Он приходит к заключению, что горы эти являются преимущественно результатом вертикальных движений; он указывает на пять таких движений. Они, повидимому, следуют за Каледонской, Аппалачской, Ларамийской и Альпийской революциями. В после-юрское время также имело место поднятие, сопровождавшееся батолитовым вторжением. Это движение, повидимому, совпало по времени с движением, которое таким же образом воздействовало на Сиерру-Неваду; Береговой хребет и хребет Гумбольдта в Северной Америки [66].

Объяснение горообразования, исходящее из периодического изменения плотности субстрата, отличается от других предложенных объяснений орогенезиса, во-первых, тем, что оно одновременно охватывает происхождение и тангенциальных и вертикальных движений, во-вторых — тем, что тот

порядок, в котором, согласно этому объяснению, следуют эти движения, соответствует данным наблюдений.

Вулканическая деятельность, очень часто связанная с горообразованием, указывает на то, что материковая кора охватывается орогеническими движениями до значительных глубин. Тот факт, что изверженные материалы чаще всего бывают базальтовыми или андезитовыми, также свидетельствует о том, что эти движения проникают вглубь до самого субстрата.

Едва ли найдется на земле крупная горная цепь, которая не была бы связана с современными ее образованию вулканическими явлениями. Так, поднятие Альп сопровождалось вулканической деятельностью во многих соседних областях: в Оверни, где от миоцена до плиоцена базальтовые потоки извергались из жерл (начиная от трахитов) и растекались по окружающей местности; в Эйфеле, где кратеры, образовавшиеся в миоценовое время и действовавшие до плейстоцена, изливали главным образом базальтовую лаву; в северной Италии, где также происходили извержения вулканов. Подобным же образом и возрождение Пиренеев было связано с эоценовыми вулканами, которые изливали базальтовую лаву в Каталонии. Главные вершины Кавказа и Андов являются вулканами. Можно было бы указать много подобных случаев.

Линдгрэн (Lindgren), касаясь вулканических явлений тихоокеанского побережья Северной Америки, дает описание периода базальтовых излияний, начавшихся в эоцене и достигших высшей точки своего развития в миоцене. В северо-восточных частях Соединенных Штатов излились колоссальные количества лавы. „Основным фактом, — говорит Линдгрэн, — характерным для области Кордильер, является то, что вулканическая деятельность началась вдоль современной береговой линии Тихого океана и постепенно распространялась на восток. Поэтому начальные усилия, прежде всего вызвавшие поднятие магмы, а затем деформацию осадков, шли со стороны Тихого океана. Они были абиссального характера, простираясь внутрь на несколько миль“. „Повсюду вторжения (батолитов) соответствуют поднятию, и имеющиеся сведения, мне кажется, говорят всецело за то, что поднятие и вторжение

происходили одновременно“. Хотя в некоторых районах преобладают андезиты, но „в общем базальт, по всей вероятности, есть наиболее распространенная излившаяся порода третичного возраста“ [67].

Весь Тихий океан окружен кольцом подобных проявлений вулканизма; на самом деле, орогенезис и сопутствующие ему глубокие движения коры действовали вдоль всего побережья этого океана. Эти явления простираются от Андов до Южного Ледовитого океана и обуславливают гористый характер побережья восточной Австралии, частью которой, быть может, некогда являлась Новая Зеландия. Более слабые проявления орогенезиса вдоль Атлантического океана не оставили после себя таких памятников; и соответственно этому вулканические явления мало развиты на окаймляющих этот океан полосах суши, исключая его северные части, где вулканизм Исландии и гебридские плато-образующие базальты воздвигли перед водами этого океана базальтовую преграду.

Рассматривая оро-батиграфическую карту земного шара, приложенную в конце этой книги, мы заметим связь, которая, повидимому, существует, вообще говоря, между морем и вулканами. Этот факт породил мнение, что между морем и вулканизмом должна быть какая-то причинная зависимость. Но на самом деле вулканы могут существовать и существуют вдали от моря. Какова же в таком случае истинная природа этой связи? Она заключается вот в чем. Морское дно есть пассивное орудие орогенезиса. Оно продавливают внутрь материковые края, деформирует и раскалывает материковую кору до ее глубоких недр. Лава, захватываемая в основании зияющих трещин и вытесняемая снизу вверх, изливается на поверхность. И по мере возрастания усилий осадки, сложенные в складки и перемятые, поднимаются над поверхностью геосинклинального моря. Батолитовые массы материковых пород — быть может, не очень горячие, но размягченные под совместным действием воды и жара — поднимаются вместе с осадками для того, чтобы образовать сердцевину юных хребтов.

Однако воды океана не принимают непосредственного участия в вулканических явлениях, сопровождающих эти движения. Близость их не указывает на причинную связь.

Относительно природы геосинклиналей многое, конечно, остается невыясненным. Что касается Средиземного моря (оно в прежние времена представляло собою гораздо более обширное междуматериковое море, которое геологи называют Тетис), то тянущиеся вдоль его берегов широкие полосы мелкого моря, повидимому, принимали осадки, которые там накапливались век за веком, погружаясь все глубже и глубже вплоть до наступления периода орогенезиса.

Гималаи поднялись из древнего Тетиса после самого длительного из известных периодов отложения осадков; этот период начался задолго до начала кембрия и с некоторыми перерывами, связанными с поднятиями местного значения, продолжался до миоцена. Таким образом Гималаи подняли скопления осадков, отлагавшихся на протяжении всей геологической истории; теперь они поддерживают эти осадки, окутанные покровом вечных снегов, на высоте, превосходящей высоту всех других гор на земном шаре. Но из уроков геологической истории мы знаем, что эти горы будут господствовать над окружающими их пространствами лишь в течение сравнительно короткого периода. Громадные скопления осадков равнин Инда и Ганга и дельты Ганга красноречиво говорят о мимолетности существования даже самых величественных гор на земле.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

---

### Циклические изменения в субстрате

Цикл тех изменений, происходящих в субстрате и в вышележащей коре, которые приводят к образованию трансгрессионных морей и ко вздыманию гор, можно сравнить с рядом изменений, совершающихся в тепловом двигателе с источником тепла, холодильником и рабочим телом; последнее испытывает изменение объема, которое сопровождается изменением физического состояния, и таким образом способно производить внешнюю работу.

Цикл этот можно описать следующим образом. Начнем с рабочего тела (базальтовый субстрат), которое находится в состоянии накопления радиоактивной теплоты. Возникаю-

щие в результате такого накопления явления не будут происходить в субстрате с совершенно одинаковой скоростью на различных уровнях. Сосредоточим наше внимание на некоторой массе, находящейся на известном расстоянии книзу от поверхности и накапливающей теплоту, которая выделяется ее собственной радиоактивностью, т. е. „источником“. Пусть на диаграмме (рис. 10) состояние этой массы в отношении давления и объема определяется положением точки *A*. По мере накопления теплоты эта масса постепенно плавится, увеличиваясь в объеме вдоль изотермы *AB*. У *B* она совершенно расплавляется и, в силу уменьшившейся плотности, всплывает наверх, так как она оказывается несколько перегретой относительно вышележащей магмы. При ее движении вверх давление, под которым она находится, падает

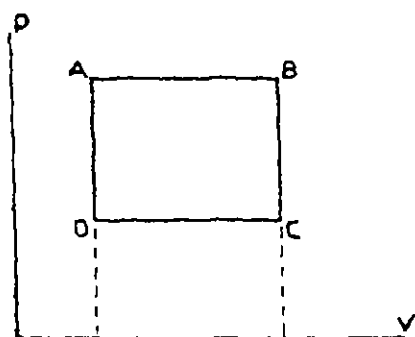


Рис. 10.

до тех пор, пока оно не станет равным давлению точки *C*. Тут она начинает отдавать теплоту океану (т. е. „холодильнику“) и сокращаться в объеме вдоль изотермы *CD*. У *D* она вполне затвердевает и, вследствие своей увеличившейся плотности, опускается вниз, причем испытываемое ею давление возрастает до давления

точки *A*. Здесь начинается новый цикл изменений.

Что касается геологических явлений, возникающих вследствие этих изменений, то отрезок *AB* может выражать длительный период возрастающих трансгрессионных морей. Отрезок *BC* представляет относительно короткий период, в течение которого трансгрессионные моря находятся на высшей точке своего развития. От *C* до *D* идет период горообразования. Из магмы утекает теплота; объем магмы уменьшается, и усиливается продавливание материковых краев оседающим океаническим дном. Опускание застывшей магмы вдоль *DA* занимает относительно короткий период. Площадь *ABCD* выражает работу, совершенную при описанных выше последовательных изменениях; эта работа может считаться затраченной преимущественно на горообразование.

Термодинамическое охлаждение, вследствие понижения давления вдоль *BC*, и эквивалентное нагревание, вследствие

повышения давления вдоль  $DA$ , не принимаются во внимание, так как они, по всей вероятности, оказывают лишь незначительное влияние на сущность этих явлений.

Мы видим, что „источник“ и рабочее тело помещены под изолирующим слоем мощностью в 30 км, очень удачно устроенным для предохранения энергии от утечки наружу. Изоляция обеспечивается тем, что температура самого изолирующего слоя повышается благодаря его собственной радиоактивной теплоте.

Роль, которую играет единственный спутник нашей планеты, является не последней из изящных деталей всего механизма. Постоянный приток теплоты из „источника“ должен был бы привести весь вышележащий слой к катастрофе, если бы этому не препятствовало вмешательство луны. А это вмешательство возникает автоматически в критический момент. До тех пор, пока субстрат тверд, луна бессильна — несмотря даже на содействие солнца — вызвать приливы в субстрате и передвижение внешней коры земного шара. Но как раз тогда, когда субстрат расплавляется и дальнейший приток теплоты должен повлечь за собою повышение температуры и — в конечном счете — расплавление континентов, начинается вмешательство астрономических факторов. Под действием приливных волн, возбуждаемых в огненно-жидкой массе преисподнего мира, океаническое дно утоняется, океан быстро поглощает теплоту, и вся опасность отвращается. Это перемещение земной коры по субстрату приносит избавление всей поверхности земного шара.

---

## VIII. РЕВОЛЮЦИИ

**В** VI и VII главах мы познакомились с явлениями, которые обуславливают наступление, развитие и упадок мировых революций. Эти революции бывают, как и следовало бы ожидать, различны по своим размерам, что подтверждается и данными геологических исследований.

Мы предвидим разнообразие потому, что период времени, достаточный для приведения в жидкое состояние верхних слоев субстрата, еще не достаточен для нарушения равновесия в глубоких недрах. С другой стороны, если в недрах в течение очень продолжительного периода совершалось накопление радиоактивной теплоты, то расплавление верхнего слоя и сопровождающие его приливные движения должны иметь своим следствием ускорение распада более глубоких слоев, и в результате должна произойти гораздо более разрушительная мировая революция.

Отличительным признаком революции, повидимому, служит установление приливных движений коры; так как эти движения обуславливают утечку теплоты и, следовательно, завершают собою цикл. Одной из предпосылок вмешательства приливных сил является проплавление магмы, простирающееся на несколько километров ниже основания материка. Однако изменение физических свойств должно распространяться сверху вниз весьма постепенно; это приводит нас к тому воззрению, что даже революция, охватывающая лишь ближайшие к поверхности части, должна вызвать нарушения, достигающие до значительной глубины.

Размеры орогенезиса, сопровождающего революцию, лучше всего выражаются величиной изменения окружности земного шара. Действительно, как мы уже видели, именно эти изменения определяют колебания горизонтально дей-

ствующих сил, развивающихся вследствие взаимодействия между океаническим дном и континентами.

Если принять, что в подготовке революции участвует толща, простирающаяся вниз до глубины 160 км, и что изменение объема в общем равно 7%, то увеличение окружности составит приблизительно 64 км; мы можем с достаточной степенью приближения принять, что увеличение это будет пропорционально глубине участвующей в революции части коры. Возможны, конечно, мировые революции, при которых изменение окружности достигает лишь половины указанной величины. С другой стороны, мы в праве ожидать, что могли происходить и иные революции, при которых циркуляция субстрата проникла до глубины значительно большей, чем 160 км.

Но возможны и, пожалуй, вероятны и иные случаи. После того как революция совершила известный путь и, может быть, пошла уже на убыль, она может получить в виде подкрепления свежие запасы теплоты, происходящие из более глубоких недр. Совершенно очевидно, что такие случаи могут естественно возникать, если субстрат в действительности простирается до такой глубины, на какую, повидимому, указывают данные сейсмических наблюдений. В результате этого на поверхности земли трансгрессионные моря, которые уже начали убывать, вновь надвинутся на сушу, а также, быть может, возобновится горообразование. Получение таких подкреплений вероятно всегда, пока продолжают совершаться приливные движения. В сущности, лишь после окончательного прекращения приливных движений начинается продолжительный спокойный период накопления скрытой теплоты. Конечно, лишь в условиях идеальных, а не реальных, можно было бы ждать от великих циклических явлений точности часового механизма. И на самом деле, история, к обозрению которой мы теперь приступаем, указывает как раз на такие неправильности, существование которых мы имели возможность предвидеть.

Наши знания о физических факторах, обуславливающих революции, ограничены; также ограничены и наши сведения об истории земли. Действительно, нашему изучению доступны лишь подвергшиеся значительному выветриванию черты лика земли и почти стертые документы истории

мира. Поэтому, когда мы, пытаясь расшифровать историю революции, обращаемся к истории земли в связи с изостазией и радиоактивностью, то нам приходится убедиться в несовершенстве тех документов, которыми мы можем воспользоваться для этой цели.

Архейская эра, как указывают Чэмберлин и Сэйльсбери, есть всеобщая геологическая эра в том смысле, что архейские породы, повидимому, подстилают все остальные отложения на земле. Однако в Канаде и в северной части Соединенных Штатов Северной Америки эти породы занимают огромные площади в качестве поверхностных геологических образований; поэтому-то в этих областях изучение их шло успешнее, чем где-либо в другом месте. Многие, впрочем, остаются невыясненными. Действительно, очень велики трудности, которые встречаются при параллелизации немых, лишенных окаменелостей пород в столь обширных областях, как те, с которыми геолог имеет дело в Северной Америке. Увеличению этих трудностей в немалой степени способствует путаница в номенклатуре. Далее, часто остается неясным, из каких пород происходит сильно измененный материал; из магматических или из осадочных; поэтому толкования даже опытных наблюдателей бывают иногда противоречивы. Значение плоскостей несогласного напластования, которыми пользуются для разграничения горизонтов, оценивалось неодинаково различными исследователями. Параллелизация отложений часто бывает предметом споров. Впрочем, в последние годы влияние этих источников путаницы было значительно ограничено.

Изучая сравнительную таблицу, представленную Колеманом (Coleman) Геологическому конгрессу 1913 года, мы видим, что две большие осадочные серии являются основными подразделениями для этой группы: гренвильская серия (Grenville), мощность которой определяют в 28 500 м, и сёдберийская серия (Sudbury), мощностью не менее 6 100 м. Эти две великие серии, вероятно, ни в каких своих частях не совпадают друг с другом по времени их отложения. Обе эти серии вместе с кьюотинской серией (Keewatin), представленной преимущественно базальтовыми изверженными породами, испытали впоследствии вторжение колоссальных гранитовых поднятий (в значительной степени

в виде батолитов), которые в геологии известны под именем лаврентьевских. Это событие сопровождалось вулканическими явлениями, которые, как это признано всеми авторитетными учеными, далеко превосходят по размерам все известные нам последующие явления того же рода.

Эти данные и многие другие факты приводят ученых к заключению, что лаврентьевское время было периодом великих орогенических и диастрофических явлений; это было время мировой революции колоссального масштаба. Воздвигнутые ею горы давно уже нивелированы денудацией и превращены в ныне существующие пенеплены Канадского щита; эти пенеплены занимают площадь не менее 2 500 000 км<sup>2</sup>.

Тут мы встречаемся с великой первичной революцией — Лаврентьевской, в течение которой на огромную толщу ранее отложившихся осадков были нагромождены поднявшиеся массы гранитов и покровы основной лавы.

Называя перегруженную таким образом осадочную серию „археем“, Чэмберлин и Сэйльсбери говорят: „Не лишено вероятия предположение, что она представляет гораздо более мощную толщу последовательных напластований, продолжающихся вглубь на неопределенное расстояние“ [68].

Многие авторитетные ученые склонны считать, что в докембрийские времена имели место три революции, а не одна. Первая (Лаврентьевская) произошла после образования осадков гренвильской серии, вторая — Альгомская (Algonian) — следовала за отложением сёдберийских осадков, а третья — Килларнейская революция (Killarney) — завершила собою докембрийское время. Первая из этих революций, без сомнения, была гораздо крупнее других. Предмет этот, однако, слишком сложен для того, чтобы мы обсуждали его здесь.

Шукерт и Баррелль, много поработавшие над изучением этого вопроса, находят, что в геологические времена произошло шесть более крупных мировых революций:

- 1) *Лаврентьевская*, следовавшая за отложением гренвильской серии осадков и кюотинскими извержениями и т. д.;
- 2) *Альгомская*, происшедшая, после отложения сёдберийских осадков и завершившая собою архейское время;
- 3) *Килларнейская* революция имевшая место после образования гуронских и кьюиноуских (Keweenaw) осадков и завершившая докембрийское время;

- 4) *Аппалачская*, завершившая палеозойское время;
- 5) *Ларамийская*, завершившая мезозойское время;
- 6) *Каскадская*, завершившая третичное время и продолжавшаяся в четвертичное время.

В этой классификации революция понимается как период горообразования, или орогенезиса. Как мы видели в предыдущей главе, к такому периоду приводит очень продолжительный период медленно возрастающих трансгрессионных морей с колеблющимся уровнем вод (эти моря характеризуются отложением осадков в геосинклиналях); в конце этого последнего периода происходит отступление этих морей, достигающее высшего развития в период горообразования.

В недавно вышедшей работе о явлениях, сопровождающих революцию и вѣдущих к ней, Зондер (Sonder) признает: 1) продолжительную материковую стадию; 2) период затопления вследствие океанических трансгрессий; 3) период колеблющихся уровней и 4) период выступления из океана и горообразования. Интересно, что он признает стадию колебаний (Wechsel), хотя колебания во время затопления материков были признаваемы уже давно. Применяя эти представления к геологической истории, он располагает события циклов следующим образом:

Женозой.	Выступление материков и горообразование.
Мел.	Максимальная трансгрессия и колебания.
Юра.	Затопление.
Триас.	Материковый период.
Верхний карбон и пермь.	Выступление и горообразование.
Девон.	Затопление.
Нижний древний красный песчаник.	Материковый период.
Верхний силур.	Выступление и горообразование.
Кембрий.	Затопление.
Эокембрий	Материковый период [69].

М а р р (Marr) [70], который писал раньше Зондера, рассматривая геологическую историю Великобританской области, признает: 1) материковый период (т. е. период высокого уровня и орогенезиса) в до-кембрийское время, за которым следовал морской период (период затопления) в нижнепалеозойское время; 2) материковый период в конце ниж-

него палеозоя и морской период в каменноугольное время; 3) материковый период в пермо-триасовое время и морской период в юрское время и далее до нижне-третичного времени; 4) материковый период, достигший высшей точки развития в миоценовое время.

Мы можем для сравнения представить эти взгляды на таблице, присоединив сюда революции, признаваемые Огом (Haug) [71], и историческую схему данную де-Лаппараном (de Lapparent) [72]. (См. табл. на стр. 124.)

В общем исторические схемы, данные этими выдающимися учеными, вполне сходятся между собою. Различия обуславливаются неодинаковой степенью диастрофизма обоих материков. Так, Каледонская революция была резче выражена в Европе, чем в Северной Америке, тогда как Ларамийская сильнее проявилась в Америке, чем в Европе.

Особенно интересен последний случай. В Америке как Северной, так и Южной, орогенические движения достигли значительного развития в конце мелового времени. К этому времени накопление великой осадочной серии палеозоя и мезозоя на месте будущих Ларамидских гор было уже закончено. В конце мелового времени напор с запада смял эти осадки в складки и воздвиг из них горы; в конце концов высота последних достигла, как это теперь предполагается, 6100 м, горизонтальное же сжатие составляло около 40 км.

„Конец ларамийского времени был по преимуществу периодом орогенических движений в западной части Северной Америки... Складкообразующие движения простирались от Аляски на севере до мыса Горн на юге, на протяжении почти четверти окружности земли“ [73].

В конце мелового времени совершалось отступление трансгрессивных морей из Северной Америки.

Эти великие орогенические явления положительно свидетельствуют о мировой революции. Некоторые европейские геологи, не находя подобных орогенических процессов в Европе, склонны причислить этот промежуток времени к подготовительному периоду следующей революции — той самой, которая достигла высшей точки своего развития в миоцене и плиоцене. Но если исходить из того, что наибольшее участие в орогенезисе принимают движения океанического дна, то приходится признать возможным, что

	Баррелль и Шукерт (1924)	Оз (1921)	Марр (1898)	Зондер (1924)	Де-Лаппаран (1900)
Современная эпоха . . . . .					
Плейстоцен . . . . .					
Плиоцен . . . . .					
Миоцен . . . . .	Каскадская ре- волюция.	Альпийская. Динарская.	„Материковый период“.	„Выступление“.	Великое Альпий- ское поднятие.
Олигоцен . . . . .					
Эоцен . . . . .					
Мел . . . . .	Ларамийская революция.				Поднятие Пиренеев и Апеннин.
Юра . . . . .					
Триас . . . . .	Аппалачская революция.	Герцинская.	„Материковый период“.	„Выступление“.	Образование Гер- цинских цепей.
Пермь . . . . .					
Карбон . . . . .					
Девон . . . . .	Каледонские дислокации.	Каледонская.	„Материковый период“.	„Выступление“.	Образование Ка- ледонских цепей.
Силур . . . . .					
Ордовичий . . . . .					
Кембрий . . . . .	Килларнейская революция.	Гуронская.	„Материковый период“.	„Выступление“?	Образование Гу- ронских цепей.
Кьюиизуское время . . . . .					
Гуронское время . . . . .					
Тимискамское время . . . . .	Альгомская революция.				
Логанское время . . . . .	Лаврентьевская революция.				Выявление очег- таний материков.

диастрофизм мог проявиться в области, недоступной нашему наблюдению, и выразиться в деформации океанического дна.

В этом случае существует иная возможность. Имеются веские доказательства как палеонтологического, так и тектонического характера в пользу того, что некогда существовал большой материк, тянувшийся по экватору от Южной Америки до Африки и далее — от Африки до Индии; он занимал северную часть Индийского океана и простирался до Австралии. В главе X мы покажем, что материк, настолько вытянутый в длину (около 230 градусов), должен был обладать ненадежной прочностью. Этот великий материк (названный Зюссом землей Гондваны) прекратил свое существование в конце мелового времени, или около конца мелового времени и начала эоцена [74].

Это событие, насколько нам известно, было одновременным с образованием на Индостанском полуострове базальтового покрова мощностью в целую милю (около 1,6 км). Предполагают, что диастрофизм, которому подверглась земля Гондваны, был связан с движениями, вызвавшими излияния в Деккане; в самом деле, трещины, которые извергали лаву, имели то же простирание с востока на запад, что и древние сбросы, которые пересекли северную часть Гондваны и вдоль которых были направлены позднейшие движения. Многие думают, что Мадагаскар, Сейшельские и Фалькландские острова являются осколками этого разбитого материка. „Разрушение, Гондваны не может быть отнесено к более позднему моменту, чем конец мелового периода или древнетретичное время“ [75]. Возможно, что в его уничтожении играл роль диастрофизм конца мелового времени. Исходя из такой, правда, чисто гипотетической предпосылки, можно было бы объяснить меридиональное расширение океанического дна, в то время как широтное нашло бы себе объяснение в орогенезисе западно-американских хребтов.

Промежуток между ларамийским временем (конец мела) и концом олигоцена, согласно схеме последовательности революций Баррелля и Шукерта, должен быть достаточным для накопления в субстрате теплоты, нужной для того, чтобы положить начало новому периоду жидкого со-

стояния. Но, быть может, нам следует допустить вмешательство перегретых магм, снизу?

Есть много указаний на то, что эоценовый период был долог. Часто в пользу этого приводится биологический аргумент, подтверждающий существование большого перерыва между обеими системами. Действительно, многие группы организмов достигли значительного развития в промежуток, отделяющий самую верхнюю часть мелового периода от нижне-эоценового времени; об этом свидетельствуют остатки организмов, находимые в осадках. Самых замечательных успехов, быть может, достигло развитие млекопитающих. Мнение это подтверждается также многими доводами чисто геологического характера. Ларамийские отложения обыкновенно отделяются от эоцена несогласием. „Перерыв между ларамийскими отложениями и эоценом местами велик — он считается одним из величайших отмеченных в летописях истории земли перерывов в напластовании осадков на нашем материке“ [76].

Очень значительным считается эрозионный снос, имевший место в Колорадо между собственно ларамийским временем и временем отложения вышележащей свиты Арапаго (Arapahoe). Кросс (Cross) определяет его в 4 270 м. Соответствующий промежуток времени должен был быть, следовательно, очень долог. Кроме того меловые отложения были местами эродированы на 2 135 м в промежуток времени между послеларамийским поднятием и нижним эоценом [77]. Близ сороковой параллели максимальная мощность эоцена определялась Кингом (King) в 3 050 м. Подсчет промежутка времени между эоценом и олигоценом по методу отношения уран-свинец (см. главу IX о геологическом времени) дает тридцать четыре миллиона лет; подсчет этот является, вероятно, преувеличенным.

Если оставить в стороне ту революцию, которая положила начало современной эпохе (и к рассмотрению которой мы скоро приступим), то ни одна из отмеченных в геологической летописи революций не вырисовывается настолько ясно в качестве крупного исторического события, как та революция, которая занимает значительную часть каменноугольного и пермского времени: она называется Аппалачской.

На протяжении большей части каменноугольного периода материка наводнялись трансгрессионными морями с колеблющимся уровнем воды. В Северной Америке трансгрессии начались в нижне-миссиссипское время (нижний карбон). Эти движения вызвали сравнительно небольшие изменения, и изменившиеся географические условия продолжали существовать в пеннсильванское время (верхний карбон). Это — период колеблющихся уровней, во время которого происходит расплавление субстрата и господствуют приливные движения, возникающие под влиянием приливообразующих сил.

Такие же движения происходили в Центральной и Западной Европе; и в Европе так же, как и в Северной и Южной Америке, в верхне-каменноугольное и пермское время действовали горообразующие силы. В Европе поднялись палеозойские Альпы — великие складчатые горы, стоявшие лицом к лицу с необъятным океаном, лежавшим к югу. Сглаженные остатки этих горных систем можно видеть в Германии, Франции, Бельгии, Англии и Ирландии; это — Армориканские и Вариссийские Альпы Зюсса.

В Северной Америке орогенезис происходил как на восточной, так и на западной стороне материка. На восточной стороне следовавшие одно за другим движения воздвигли Аппалачские цепи. На западной же стороне серия последовательных поднятий может быть прослежена в морских и материковых отложениях. Движения эти происходили — на протяжении продолжительного периода — в каменноугольное и пермское время. Они свидетельствуют о глубоко сложном и колеблющемся характере изменений, совершавшихся в субстрате.

Обратимся теперь к последней великой революции, которая предшествовала современной эпохе, и постараемся проследить развитие событий этой революции, поскольку они расшифрованы геологами в Америке и Евразии.

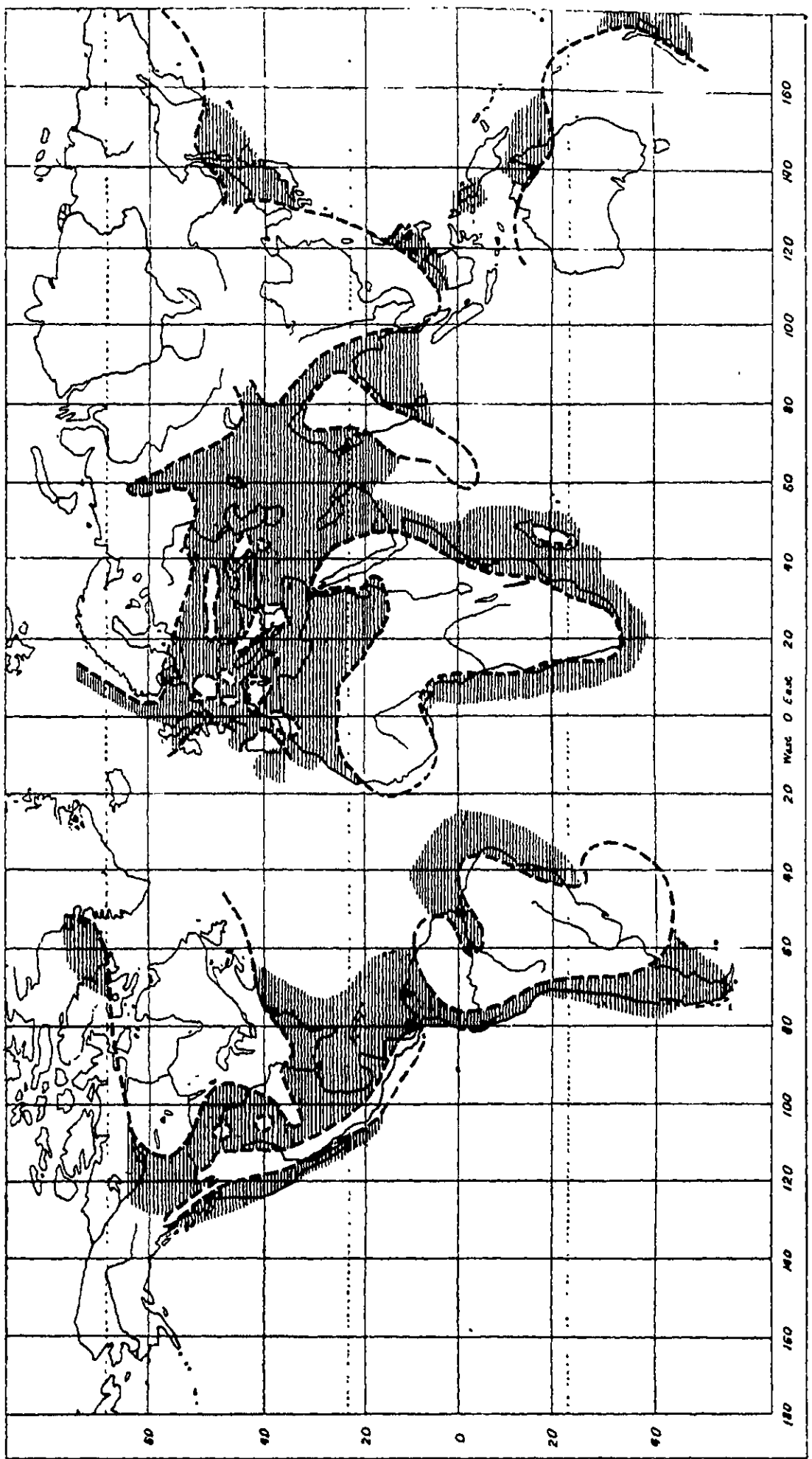
Заключительные события мелового времени ясно свидетельствуют о субстрате, который стал плотным вследствие застывания и который в состоянии вертикально передвинуть большие компенсационные выступы Ларамийских гор, Антильских островов, Андов и древних Аппалачских гор. Исчезли обширные моря, покрывавшие в значительной степени Америку и Евразию. Но в среднем эоцене они вновь начинают

появляться в Евразии и в Северной и Южной Америке. По их увеличению мы заключаем, что субстрат снова становится менее плотным и что материки постепенно опускаются все глубже и глубже в поддерживающую их базальтовую магму. Но пока еще нет таких трансгрессий, которые можно было бы сравнить с трансгрессиями среднего мела. Чтобы удостовериться в этом, сравните лаппарановскую мировую карту среднего мела с такою же картой среднего эоцена. Однако приближение великой революции явно отражается на очертаниях материков земного шара.

К середине эоцена Тетис простирается до Тихого океана, и начинающиеся трансгрессии захватывают западные края Северной Америки, затопляют Антиллы и увеличивают Мексиканский залив. На дне Атлантического океана изливается лава, образующая гебридские базальтовые покровы, которые достигают мощности в несколько тысяч футов.

Уменьшение плотности продолжается в течение олигоцена. Трансгрессии захватывают около 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> площади Северной Америки. Тетис разрастается до своих наибольших размеров. Переход субстрата в жидкое состояние, повидимому, достигает своего максимума или приближается к нему. Натяжение коры велико. В это время непреодолимые силы разрывают на две части материк Африки с юга на север. В юго-восточной и северо-западной Австралии имеют место крупные излияния базальтовой лавы. В средне- и верхне-третичное время развивается длинная сбросовая долина южной Австралии, имеющая по преимуществу меридиональное направление, равно как и меридионально простирающиеся сбросовые линии вдоль восточной стороны этого материка. Начало орогенезиса обозначается в области Гималаев; но Тетис пока еще не начал сокращаться.

Этот период и является завершением тех веков, в течение которых в субстрате накоплялась теплота. Приливные движения коры происходят уже с давних времен. Теплота переходит в океан, и земля готовится к развертывающимся в обратном порядке длительным событиям и движениям, во время которых достигает столь крупных успехов органическая революция и происходят такие изменения в площадях, занимаемых материками. Имеются указания на то, что в самом конце олигоцена магма вновь приобретает большую плот-

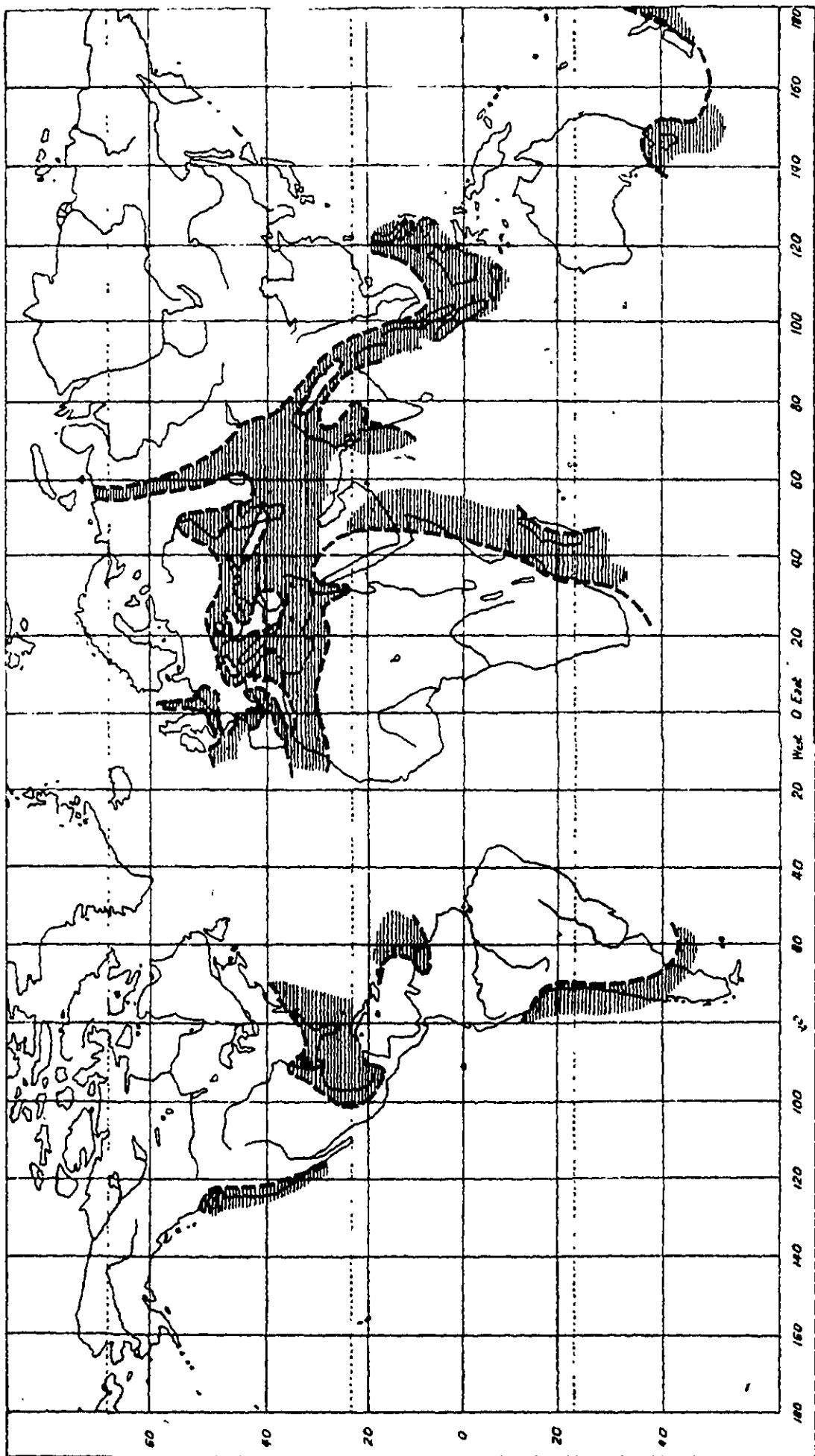


Схематическая палеогеографическая карта конца эоцена (средней мел), по де-Лаппарану.

ность; однако горообразование еще не начинается, или оно находится пока лишь в зачаточной стадии.

Площадь, занимаемая морями в Америке и Евразии, в олигоценное время испытывает значительные колебания. Это явление особенно отчетливо вскрывается изучением третичных отложений Европы. Исходя из того, что уже было сказано выше, мы легко находим объяснение этим движениям. Действительно, эти колебания говорят нам, что в это время преобладают приливные движения материков и океанического дна и что колебания в изостатических силах, возникающие вследствие вариаций плотности субстрата, по которому медленно перемещаются материки и океаны, оказывают воздействие на уровень материков.

Следя за дальнейшим развитием событий, мы наблюдаем в миоцене явные результаты прогрессирующего рассеяния теплоты и сопутствующего ему возрастания плотности магмы. Совершается поднятие гор. В нижне-миоценовое время приподнимаются эоценовые нуммулитовые осадки, образуя хребты Евразии и Индии. Под напором с юга и юго-востока образуются складки Альпийской системы Западной и Центральной Европы. По мере того, как субстрат сокращается, земная кора оседает, а океаническое дно оказывает на края материков неодолимое давление. Возросшие изостатические силы поднимают над уровнем океанов материки, а особенно — раздавленные и перегруженные геосинклинали. Образование складок широко распространяется в области Гималаев, которые значительно приподнимаются. Тетис теряет связь с Тихим океаном. Палеогеографическая карта де-Лаппарана показывает доразительное уменьшение площади прежнего Средиземного моря. В следующем периоде — плиоцене — Тетис приобретает свою современную форму и современную площадь. Вертикальные движения европейских Западных Альп заканчиваются. Кавказ подымается вертикально, унося вверх слои миоценового возраста. Происходит третье и самое большое вздымание Гималаев, а также вертикальное поднятие Скалистых гор и плато Колорадо. Субстрат вполне затвердевает. Он отдал энергию, накопившуюся за многие миллионы лет, и переходит на некоторое время в состояние относительного покоя. Но суша долго еще продолжает подвергаться медленным перемещениям.



Схематическая палеогеографическая карта лютецкого века (средний эоцен), по де-Лаппарану.

Энергия задержалась в деформированных и приподнятых горах, в недавно вогнувшихся вглубь магмы геосинклиналях (невидимые горы преисподнего мира), в изогнувшемся океаническом дне и в больших лакколитах еще расплавленной лавы. Эта энергия вызывает медленные вертикальные движения материков и океанического дна; кроме того, она обуславливает поднятие и опускание океанических островов и извержение вулканами лавы.

Ныне земная кора находится, вероятно, в покойном состоянии постольку, поскольку это вообще для нее возможно. Но все же мы постоянно наблюдаем признаки медленных движений коры, как бы напоминающих о прошлом или пророчествующих о неизбежном — хотя и отдаленном — будущем.

### ПРИЛОЖЕНИЕ

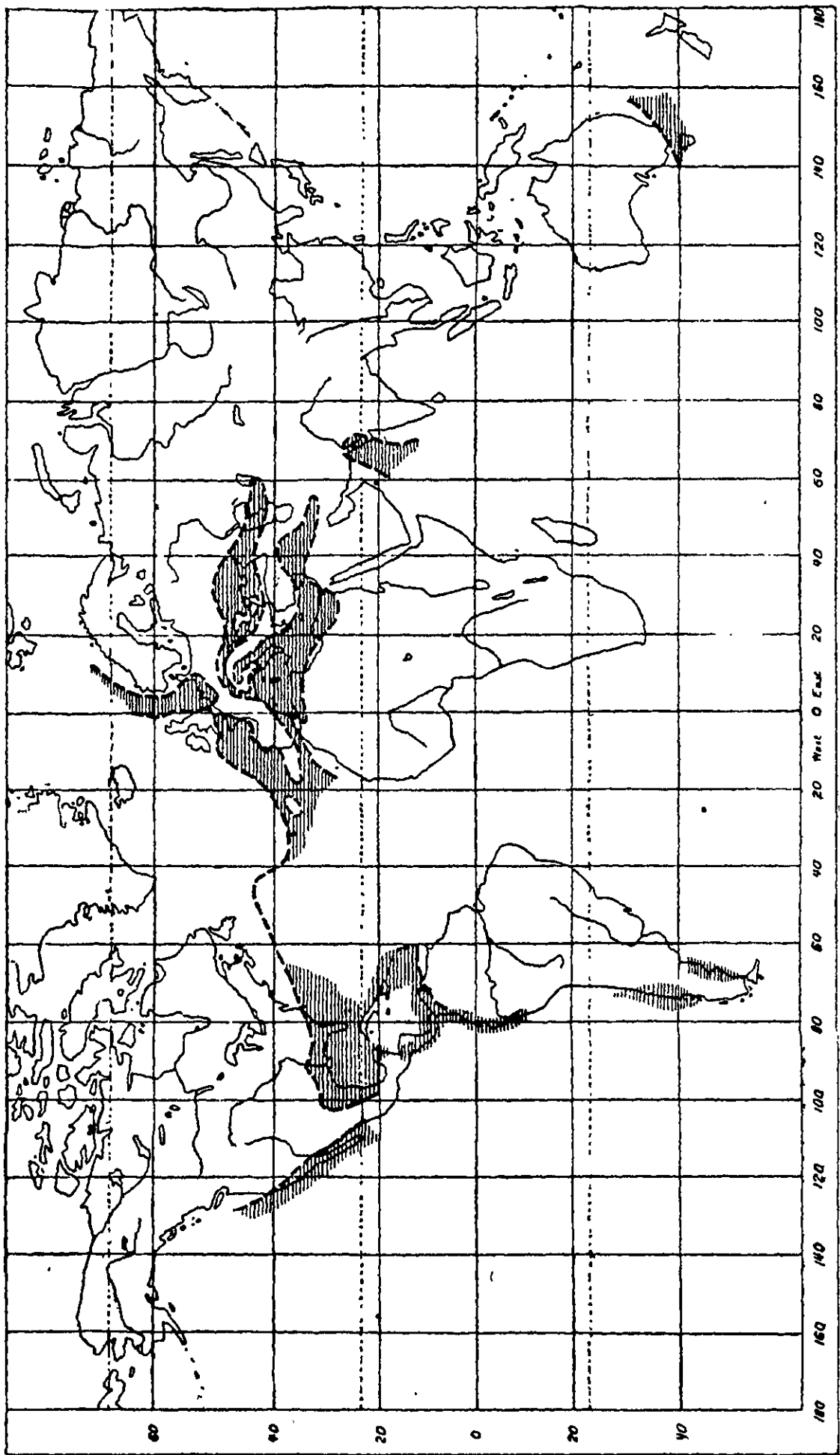
---

#### Межреволюционные движения коры

Межреволюционные нарушения, воздействующие на материки, отмечаются всеми авторитетными исследователями. В некоторых случаях имеет место, повидимому, орогенезис местного значения. В других происходит вторжение океанических вод в более низкие части материков, или оба явления совершаются одновременно. Как их можно объяснить?

Поскольку нарушения эти носят орогенический характер, они могут быть отнесены за счет изменения объема субстрата. Для того, чтобы уяснить себе, как возникают эти нарушения в течение веков, следующих за великой революцией, достаточно признать факт, что в области, лежащей непосредственно под поверхностной корой земли, очень долго продолжают медленные движения, обуславливаемые процессом окончательного затвердевания магмы. Представляется также вероятным, что эти изменения в действительности воздействуют на весь земной шар, но оставляют о себе доказательства орогенического характера лишь при известных условиях состояния земной коры, которые могут существовать в некоторых местах последней.

Такое „остаточное“ влияние великой революции может сохранять свою силу на значительный период времени. Далее мы должны признать, что по мере накопления в субстрате



Схематическая палеогеографическая карта морей гельветского века (верхний миоцен), по де-Лапарану.

теплоты должны начаться изменения плотности в противоположном смысле; а эти изменения сопровождаются развитием связанных с ними явлений. Прежде всего приходится ожидать материковых движений, направленных сверху вниз. Затем, когда начинают действовать приливы, и компенсационные выступы передвигаются в магме из одной области в другую, могут происходить движения, направленные и вверх и вниз.

Возможности, о которых мы упомянули выше, могут считаться нормальными. Но в субстрате могут совершаться и аномальные или катастрофические явления. Действительно, глубокие недра коры прошли известный путь исторического развития, после которого значительные массы могут оставаться у самой грани неустойчивого состояния, несмотря даже на затрату усилий, происшедшую благодаря последней великой революции. Мы не можем считать невозможной или даже очень невероятной революцию меньшего масштаба, обусловленную подобным состоянием. Она может занимать сравнительно небольшое число миллионов лет. И тут результаты могут иметь местное значение и зависеть от преобладания на известных участках условий, создающих возможность проявления сравнительно слабых орогенических сил.

В связи с межреволюционным горообразованием следует иметь ввиду накопление энергии в деформированном океаническом дне. Вполне возможно, что таков именно источник вертикальных движений, в настоящее время воздействующих на острова Японии. Те же силы могли действовать на Западные Береговые хребты Северной Америки в различные периоды их истории. Действительно, изогнувшееся океаническое дно неустойчиво. Оно сохраняет свое положение подобно тому, как свод сохраняет свое положение, оказывая непрерывно давление на свои устои. Если эти устои поддадутся, они катастрофически ниспровергаются. Океаническая впадина, подвергаемая снизу магматическому давлению, есть перевернутый свод; она должна вызывать тангенциальный напор, который при большом радиусе кривизны может доходить до весьма больших размеров. В этих условиях может иметь место межреволюционный орогенезис, при котором тангенциальные передвижения достигают нескольких километров.

## IX. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

**Д**ЛЯ всякого, изучающего историю земной поверхности, большой интерес представляет вопрос о геологическом времени\*; о последнем часто говорят, как о возрасте земли, но от этого периода, вероятно, гораздо более продолжительного, оно определенно отличается.

Мы не будем касаться вопроса о возрасте земли. Действительно, проявления тепловой энергии на земной поверхности, как видно из предыдущего, не дают нам ключа к разрешению этого вопроса даже при допущении, что земля была некогда в расплавленном состоянии, зависящем от первобытного жара. Первобытный жар, которым некогда могла обладать земля, повидимому, совершенно перестал существовать или, по меньшей мере, сократился настолько, что проявления его на поверхности незначительны.

В пользу радиоактивного происхождения земной теплоты говорят веские доводы. Результаты исследований пород из всех частей земли (многие из этих пород — абиссального происхождения) с логической неизбежностью приводят нас к заключению, что радиоактивные элементы присутствуют во всех породах земного шара. Мы не знаем исключений из этого положения.

Далее, все каменные метеориты содержат уран. Испытание одного метеорита на торий, дало положительный результат. Кроме того, изучение ореолов, которых мы сейчас коснемся, дает указания на глубокую древность радиоактивности на земле и на существование в прошлом еще других радиоактивных элементов. Итак, мы должны прийти к вы-

---

\* Под геологическим временем автор понимает тот промежуток времени, который охватывается геологической историей земли. *Прим. переводчика.*

воду, что если земля действительно была когда-то в жидком состоянии — это считается многими рациональной гипотезой, — то это имело место в неопределенно отдаленные времена.

На этом основании следует считать вполне справедливым мнение о радиоактивном происхождении тех высоких температур, влияние которых так часто наблюдается в событиях, происходивших на земной поверхности в течение всего геологического времени. Всякий иной взгляд делает необходимыми бездоказательные предположения и допущение существования таких пород, какие неизвестны на поверхности. Ясно поэтому, что, изучая вопрос о геологическом возрасте земли, мы в праве считать себя свободными от каких бы то ни было ограничений или выводов, вытекающих из гипотетического охлаждения земли в течение геологического времени.

Однако новейшие достижения науки дают нам иные способы подхода к вопросу о продолжительности геологической истории земного шара.

Мы можем исходить из предположения, что в течение прошлых времен денудация происходила со средней скоростью, не особенно резко отличающейся от той, которая наблюдается ныне. Далее, определяя количество материалов, являющихся продуктами денудации и существующих на поверхности земли в форме, допускающей подсчет, мы можем получить приблизительное представление о времени, потребном для накопления этих материалов. При применении этого метода мы можем пользоваться скоростью отложения осадков и подсчитанными количествами осадков, которые накопились за геологическое время.

Во всех отношениях более совершенным является метод, пользующийся в качестве мерил времени количеством растворенного в океане натрия [78]. Мы можем вычислить количество натрия в океане (количество, легко поддающееся учету), а затем обратиться к рекам для того, чтобы узнать скорость, с которой этот элемент поступает в океан. Из всех растворенных в океане элементов выбирается именно натрий по той причине, что только этот элемент не удаляется из океана организмами и вообще не извлекается оттуда тем или иным способом в сколько-нибудь ощутимых количествах.

Все способы, основанные на скорости денудации, приблизительно сходятся друг с другом в том, что вычисленный по этим способам возраст древнейших осадков составляет около 100 миллионов лет. Если сделать некоторые допущения, то результат, полученный по способу натрия, может дать 175 миллионов лет.

По открытии радиоактивных элементов был выработан совершенно иной способ определения геологического времени. Он основан на предположении, что окончательные продукты радиоактивного превращения первоначальных веществ — урана и тория — являются известными. Таким окончательным продуктом для обоих элементов оказывается металлический свинец. Свинец, получающийся из урана, обладает меньшим атомным весом, чем свинец, получающийся из тория. Атомный вес первого равен приблизительно 206; атомный вес второго близок к 208. Эти атомные веса мы можем вычислить, исходя из атомных весов первоначальных веществ и из потерь массы, сопровождающих несколько последовательных изменений в ряду превращений, которые ведут к окончательному устойчивому элементу — свинцу.

Положим, мы находим породу, богатую ураном. Мы выясняем количество присутствующего урана и количество свинца, найденного в связи с ураном. Затем с помощью некоторых измерений мы определяем скорость, с которой уран превращается теперь в свинец. Ясно, что из веса присутствующего урана и веса получившегося из него свинца мы можем вычислить возраст породы. Такой же метод может быть применен и по отношению к торью. Этот метод не был бы, конечно, надежным в одном из следующих случаев: а) если бы свинец, получающийся из урана или тория, оказывался нестойким, т. е. в конце концов радиоактивно превращался бы в какое-то другое вещество; б) если бы к получающемуся из радиоактивного элемента свинцу был примешан обыкновенный свинец с атомным весом 207,2, присутствующий в породе; в) если бы скорость изменения урана или тория не была постоянной в течение геологического времени, т. е. если бы в отдаленном прошлом свинец получался либо с большей, либо с меньшей скоростью.

Можно отметить, что в настоящее время нет никаких прямых указаний на случай, указанный в рубрике а, ни в

отношении урана, ни в отношении тория. Атомный вес уранового свинца при исследованиях, производившихся до настоящего времени, не оказывался точно отвечающим вычисленному атомному весу. „Нельзя решить, чем обуславливаются более высокие значения (найденные для уранового свинца): присутствием ли обыкновенного свинца или каким-либо неизвестным фактором“ [79]. По отношению к торию тоже найдена подобная маленькая разница, но в обратную сторону. Было высказано предположение, что ториевый свинец нестоек, но производившиеся до настоящего времени исследования не обнаружили постоянного присутствия в руде элементов, относительно которых можно было бы предположить, что они представляют собою продукт превращения этого свинца; и вообще нет никаких фактов, подтверждающих такое предположение. Ошибок, источник которых указан под рубрикой б, можно избежать, определяя атомный вес свинца, встречающегося в связи с материнским веществом.

Что же касается рубрики в, то имеются данные, добытые исследованиями иного рода, свидетельствующие о том, что в древние геологические времена скорость распада урана была большей, чем теперь. Трудно объяснить в немногих словах сущность этих доказательств, но мы изложим их в общих чертах, так как в дальнейшем наши рассуждения коснутся вопроса о продолжительности геологического времени, и будут затронуты понятия, тесно связанные с древнейшей историей радиоактивности земного шара.

Из главы IV, посвященной радиоактивности, видно, что уран и торий дают начало последовательному ряду веществ, которые существуют в течение некоторого времени; эти последние, испуская некоторые лучи, превращаются в другие элементы, и так разрушение идет дальше. Некоторые из испускаемых лучей (называемые альфа-лучами) состоят из атомов гелия, носящих заряд положительного электричества, и имеют высокую начальную скорость. Скорость эта варьирует в зависимости от элементов, испускающих лучи. Установлено, что скорость больше, если данный элемент недолговечен, и меньше, если он долговечен.

При постепенном превращении урана в свинец наименьшей скоростью обладает альфа-луч, исходящий от самого

атома урана, находящегося в стадии превращения. В случае тория самый медленный луч исходит от самого тория. Это согласуется с весьма значительной средней продолжительностью жизни этих элементов.

В случае присутствия в некоторых окрашенных минералах маленьких пятнышек вещества, содержащего уран или торий, можно заметить, что альфа-лучи вызывают потемнение окружающей части минерала. Этот эффект лучше виден в окрашенных слюдах (биотит). Альфа-лучи, обладающие большей скоростью, распространяются, конечно, дальше от материнской крапинки радиоактивного вещества, чем лучи, обладающие меньшей скоростью. Но даже самые быстрые из лучей уранового ряда не распространяются далее, чем на 0,03 мм, а самые быстрые лучи ториевого ряда — далее, чем на 0,04 мм; расстояние, проходимое более медленными лучами, обуславливается их начальной скоростью. Так как потемнение заканчивается обычно близ конца траектории луча, то в результате в слюде получается последовательность затемненных сферических оболочек или поверхностей, концентрически окружающих радиоактивную частицу. Если последнюю наблюдать под микроскопом в тонком листочке биотита, то получается впечатление более или менее темных концентрических колец. Если ядро (наблюдаемое в виде центрального пятна) содержит уран, то радиус внешней окружности будет равен 0,03 мм; если в ядре находится торий, то такой радиус будет составлять 0,04 мм. Подобные кружки были давно известны; они называются плеохроическими ореолами по причине оптических изменений, видимых при поляризованном свете. Однако их сложное строение и происхождение удалось выяснить лишь несколько лет тому назад [80].

Мы не будем входить в подробности. Отметим только что, если мы постараемся объяснить строение ореола как результат совместного действия различных лучей, выделяемых из центрального ядра, то в отношении ториевого ореола мы можем сделать это со значительной точностью. В урановом же ореоле мы замечаем, что самое внутреннее кольцо, наблюдаемое в минерале, оказывается больше, чем оно должно было бы быть. Это внутреннее кольцо происходит преимущественно от альфа-луча, испускаемого самим

ураном; если мы вспомним, что пробег\* альфа-луча возрастает с уменьшением средней продолжительности жизни испускающего его элемента, то мы, повидимому, должны прийти к воззрению, что в отдаленные времена превращение урана совершалось быстрее, чем теперь. Как можно было бы объяснить подобную перемену? Только существованием в прошлые времена такого изотопа\*\* урана, который разрушался быстрее, чем известный нам уран. В качестве конечного продукта этого изотопа должен был получаться свинец. Этот изотоп должен был распадаться значительно быстрее известного нам урана, так что он должен был практически исчезнуть в течение геологического времени. Нам нет надобности предполагать, что все продукты его изменения тождественны тем, которые нам известны; хотя продукты эти должны характеризоваться одинаковыми или довольно близкими величинами пробега для того, чтобы можно было объяснить довольно полное соответствие наружных частей ореолов [81].

Все изложенное выше было подтверждено совсем недавно, поскольку только это могло быть подтверждено, измерениями

---

\* Пробег — толщина слоя, который могут проходить альфа-лучи в данном веществе и за пределами которого все действия параллельного пучка лучей прекращаются.

\*\* И з о т о п а м и называются атомы, обладающие различными атомными весами, но одинаково ведущие себя в химическом смысле, так что они не могут быть отделены друг от друга химическими способами. Они особенно отличаются друг от друга по радиоактивным свойствам. Это более всего заметно по их скоростям распада. Так, нынешний уран, как известно, содержит два радиоактивных изотопа; период полураспада одного из этих изотопов составляет 500 миллионов лет (т. е., иными словами, половина данного количества урана подвергается превращению за это время), а период полураспада другого равен 2 миллионам лет.

Последние исследования А с т о н а (A s t o n) показали, что изотопия присуща не только элементам, принадлежащим к группам урана и тория, и что очень многие (большинство) из до сих пор исследованных элементов оказались сложными в том смысле, что они состоят из атомов, безусловно неодинаковых по массе. Так, ксенон, атомный вес которого принимается равным 130,2, состоит из 7 изотопов, атомный вес (масса) которых варьирует от 128 до 136. Олово состоит из 8 изотопов, цинк — из 4 и т. д.

Эти важные результаты подчеркивают факт, что масса атома и его радиоактивные свойства являются особенностями строения ядра, в то время как химические свойства атома находятся в более непосредственной зависимости от его наружных особенностей — циркуляции электронов вокруг ядра.

ореолов. Измерения, произведенные Гудденом (Gudden) на красиво очерченных ореолах урана в плавиковом шпате, показали, что альфа-лучи урана должны были прежде обладать пробегом (в воздухе) равным 2,68 см, а не 2,53 см, как это получается из современных измерений; далее следующее концентрическое кольцо не имеет такого радиуса, каким должно обладать ближайшее производное вещество ( $U_2$ ). Пробег (отнесенный к воздуху) был 2,76 вместо 2,91 см (пробег  $U_2$ ) [82]. Действительно, уран, обуславливающий первичное кольцо, распадался приблизительно в 50 раз быстрее, чем это происходит по современным измерениям, а следую-



Рис. 11. Торневый ореол в бьернском граните, гуронского (?) возраста  $\times 73,3$ .



Рис. 12. Четыре урановых ореола в различных стадиях развития. Из слюды лейнстерского гранита, девонского возраста  $\times 55$ .

щее производное распадалось в 50 раз медленнее, если только справедлив закон о взаимоотношении между пробегом и долговечностью.

Мы не можем здесь подробно обсудить этот вопрос. Если не представится возможным подыскать какое-либо иное объяснение, то нельзя сомневаться в том, что значение измерений, основанных на взаимоотношениях урана и олова, становится в достаточной степени неопределенным в силу того — ныне вполне установленного — факта, что первоначальный пробег, обнаруживаемый в древних ореолах, длиннее, чем тот, который наблюдается ныне и которого мы могли бы ожидать, исходя от нынешней скорости распада [83]. Эта „аномалия“ была впервые обнаружена в ореолах девонского

возраста. Есть данные, говорящие за то, что в ореолах, образовавшихся в слюде верхне-третичного возраста — граниты Мурна (Mourne), — „аномалия“ первичного кольца ореола, повидимому, меньше, а в слюде архейского возраста (иттербийская слюда), повидимому, больше, чем в девонских ореолах. Это, конечно, подтверждает предложенное выше объяснение [84]. Если это правильно, то отсюда следует, что надежность отношения уран — свинец для хронологических определений уменьшается по мере того, как мы переходим от пород более юных к более древним.

Следующий ниже отрывок, приводимый Эльсуортом (Ellsworth) [85] из сообщения, полученного им от сэра Эрнеста Резерфорда в 1922 г., говорит сам за себя.

Его важность для рассматриваемого нами предмета совершенно очевидна. „Я лично далеко не уверен в том, что мы можем вполне положиться на те наши определения периодов полураспада урана и тория, которые производятся с помощью подсчета альфа-частиц, так как мы не знаем состава урана и тория в смысле изотопии. Возможно, что активность урана обуславливается главным образом одним изотопом, составляющим лишь часть целого. Кроме того возможно, что первоначально существовали менее долговечные изотопы, которые вымерли. Всегда существовала, как вы знаете, некоторая неопределенность относительно свинца и тория, так как время, вычисленное на основании отношения торий — свинец, не согласуется с другими данными“.

Какими же цифрами выражается возраст пород, определенный по способу уранового и ториевого свинца? Согласно определениям, основанным на отношении уран — свинец, девонский период был около 325 миллионов лет тому назад. Для возраста до-кембрийских пород получены были цифры, колеблющиеся от 560 до 1 340 миллионов лет. Подсчеты, исходящие из отношения торий — свинец, дают гораздо меньшие величины. Свинец, получившийся из норвежского торита, указывает на возраст ниже-палеозойских пород, равный 150 миллионам лет. В этом случае был установлен атомный вес свинца, оказавшийся равным атомному весу ториевого свинца. Образец торита из Цейлона дал возраст в 130 миллионов лет, в то время как отношение уран — свинец указывает для этих пород на возраст в 512 миллионов лет, т. е.

приблизительно в 4 раза больше возраста, на который указывает отношение торий — свинец. Если отношение торий — свинец считать надежным, то промежутки времени, определяемые с помощью отношения уран — свинец, нужно делить на 4.

Повидимому, заключение, к которому мы должны прийти, будет всецело в пользу более низких определений геологического времени. По подсчетам, основанным на количестве океанического иатрия, накопление в океане продуктов выщелачивания пород могло начаться 175 миллионов лет тому назад. Вычисление периода времени по способу отношения торий — свинец дало бы, вероятно, 250 миллионов лет. Сходство этих результатов — правда грубое — поразительно, если принять во внимание, что указанные два метода вычисления не пользуются ни одним общим фактором.

В связи с рассматриваемой проблемой мы должны коснуться вопроса о том, могут ли в какой-нибудь степени способствовать определению геологического времени такие подсчеты времени, которые исходят из циклических событий истории земли. Предмет, к обсуждению которого мы сейчас приступаем, является, в лучшем случае, довольно неопределенным. Промежуток времени, иужный для накопления скрытой теплоты плавления базальта и для перехода последнего в жидкое состояние, составит около 33 миллионов лет, если принять более высокую величину радиоактивности плато-образующих базальтов, и, может быть — 56 миллионов лет, если для субстрата принять более низкую величину радиоактивности.

Еще менее определенной является скорость потери теплоты. Она в значительной степени зависит от предельной мощности океанического дна и от глубины той толщи субстрата, которая принимает участие в данной революции. Скрытая теплота, накопившаяся под океанами и материками в толще (мощностью в 32 км) поддерживающего последние субстрата, утечет через океаническое дно, толщиной в 6 км, в 5 миллионов лет. Возможно, что дно более тонко. С другой стороны, представляется вероятным, что в этом процессе обычно участвуют и гораздо более глубокие части субстрата. Наконец, к этим соображениям мы должны прибавить, что значительная часть теплоты расходуется, без сомнения, путем непосредственного излияния жидкой магмы на дно океана.

через разнообразные трещины. Повидимому, промежуток времени в 5 миллионов лет представляет достаточную оценку периода утечки теплоты.

Таким образом мы имеем подсчеты, которые, повидимому, указывают на 40 миллионов лет как на низкую оценку и на 60 миллионов как на высокую оценку. Конечно, многие данные, от которых зависят эти цифры, изучены крайне недостаточно: это особенно касается данных физического состояния в условиях высокого давления.

Никто из упомянутых в предшествующей главе авторитетных ученых не указывает более, чем пять полных циклов, охватываемых геологическим временем. По мнению Зондера, таких циклов было четыре, а по Барреллю и Шукерту их было пять.

Итак, наши подсчеты приводят нас, в конце концов, к выводу, что промежуток времени, достаточный для прохождения великих циклов истории земли, должен составлять от 200 до 300 миллионов лет. Однако, по мнению некоторых авторитетных ученых, возможные величины геологического времени укладываются в пределах между 160 и 240 миллионами лет при условии, что весь период истории поверхности земли, начиная от Лаврентьевской революции, заполняется четырьмя циклами.

Эти цифры ближе всего подходят к более низким оценкам геологического времени.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ПО СОДЕРЖАНИЮ НАТРИЯ В ОКЕАНАХ

Метод определения возраста океанов по содержанию в них натрия был предметом больших споров. Мы изложим вкратце основные возражения, которые делались до сих пор, потому что, как мы увидим, метод этот после всего того, что было о нем сказано, сохраняет свое значение.

1. Указывают на то, что подсчет, исходящий из нынешних условий, даст преуменьшенную оценку возраста, так как мы живем в эпоху, когда нет трансгрессионных морей, покрывающих более низкие части материков, а подобные моря суще-

ствовали на протяжении долгих веков в прошлом и должны были значительно ослаблять влияние агентов денудации земной поверхности.

На это можно ответить, что изменение — в некоторых пределах — площади суши еще не влияет на скорость денудации. Нынешнее количество атмосферных осадков совершенно недостаточно, для того чтобы денудировать всю поверхность суши, около 30% которой не имеет стока в океан. Если бы трансгрессии покрывали 30% площади материков, то, можно полагать, площадь, лишенная атмосферных осадков уменьшилась бы, а денудируемая площадь осталась бы одною и тою же: какое-либо изменение в количестве атмосферных осадков могло бы происходить лишь в сторону их увеличения. При таких условиях могло бы иметь место даже усиление субаэральной денудации. Существующие ныне лишенные осадков площади обнаруживают все признаки того, что они подвергались энергичной денудации в прошлые времена.

Далее, для того чтобы приблизиться к представлению о средней площади материков в прошлые периоды, можно упомянуть, что, по подсчетам Шукерта, средняя величина площади Северной Америки за все геологическое время составляет восемь десятых нынешней площади последней [86].

Кроме того, сравнивая данные о химической денудации различных материков, мы видим, что нет никакой зависимости между высотой материков и субаэральной денудацией. Наибольшее количество растворенного материала доставляет в океан Европа, материк с наименьшим средним уровнем; Северная Америка и Азия, несмотря на значительную разницу их средних высот, доставляют в море приблизительно одинаковые количества растворенного материала [87].

2. Высказывалась мысль, что хлористый натрий океана может уноситься ветрами внутрь материков, и так путешествовать от моря к суше и обратно, маскируя, следовательно, количество приносимых реками настоящих продуктов денудации. Ответ на это возражение заключается в том, что можно сделать поправку на влияние этого источника ошибки, приняв, что весь хлор в реках происходит из океанов и несет с собой соответствующее количество связанного с ним натрия. Это повысит продолжительность геологического времени до  $141 \times 10^6$  лет [88].

3. Происходящие из океана соли могли удерживаться в осадочных породах и впоследствии увеличивать количество, приносимое реками. Ответ на это возражение очень прост. Эти предполагаемые запасы, надо думать, поступают в реки по мере того, как породы денудированы. Поэтому такой принос зависит от скорости денудации. Вычисления, исходящие из этой скорости и из подсчетов количества хлора в таких породах, показывают, что эта причина может изменить величину геологического времени не более как на 0,9% [89].

4. Первоначальная кислотная денудация, которая, быть может, производилась сгущающимися газами, могла ввести в океан некоторое начальное количество натрия. Можно, однако, показать, что влияние этой причины, по всей вероятности, невелико. Так как в силу этого обстоятельства должен уменьшиться числитель дроби:

$$\frac{\text{Количество натрия в океане}}{\text{Количество, доставляемое реками}} = \text{Геологическое время,}$$

то получаемая величина геологического времени должна, конечно, уменьшиться.

В результате тщательного исследования всех этих данных, Соллас (Sollas) пришел к выводу, что возможные оценки геологического времени ограничиваются крайними пределами от 80 до 175 миллионов лет [90]. Некоторые геологи принимают высокую оценку геологического времени, получаемую на основании отношения уран—свинец, но никто не дал ответа на вопрос: каким образом происходящее ныне выщелачивание может быть в 8 или 9 раз значительнее средней величины выщелачивания за прошлые периоды?

Относящиеся к этому вопросу факты и доводы из области биологии излагаются Солласом, с работой которого читателю и следует ознакомиться [91].

## Х. ГОСПОДСТВО РАДИОАКТИВНОСТИ

**Т**ЕПЕРЬ мы дополним нашу историю некоторыми подробностями; при этом мы предполагаем, что читатель помнит те основные особенности строения поверхности земли, которые мы кладем в основание этой истории и из которых последняя неизбежно вытекает, как мы это с настойчивостью утверждали в предыдущих главах.

Что мы знаем относительно действительного начала этой истории? Мы можем ответить: ничего определенного. Некоторые думают, что земля возникла в результате очень невероятного и случайного явления — столкновения или тесного приближения друг к другу некоего блуждающего тела и нашего первоначального солнца. Затем последовал весьма продолжительный период физических изменений, которые в конце концов привели мир к теперешнему его состоянию [92].

Изостазия должна была существовать с древних времен. Мы можем представить себе легкую материковую породообразующую магму, собирающуюся, подобно пене, на поверхности базальтовой лавы, которая облекает всю землю. Плавание этой магмы было неизбежно; настолько же неизбежно, как и плавание льда на поверхности моря. При всем этом теплота могла быть по своему происхождению преимущественно радиоактивной — по крайней мере в века, непосредственно предшествовавшие началу геологической истории.

Геологическая история начинается, по всей вероятности, спустя много времени после образования луны — если мы примем красивую и убедительную теорию ее происхождения, развитую Дж. Дарвином\*. И действительно, материка

---

\* По этой теории луна произошла от земли в ту эпоху, когда период вращения первоначальной земли (вокруг ее оси) был равен промежутку времени от 3 до 4 часов. При такой быстроте вращения полусуточный прилив,

обязаны своим постоянством приливообразующим силам, начинающим действовать тогда, когда субстрат находится в жидком состоянии. Когда луна составляла часть земли, действовали лишь те приливообразующие силы, которые зависят от солнца; эти силы теперь равны приблизительно  $\frac{3}{7}$  сил, зависящих от луны.

Постоянство радиоактивности на протяжении всего геологического времени вполне подтверждается изучением некоторых ореолов, как мы на это указывали в предыдущей главе. Ореолы эти во множестве встречаются в древних иттербийских черных слюдах архейского возраста. Облик этих ореолов говорит об их значительной древности. Они сильно отличаются даже от ореолов, наблюдаемых в слюде ниже-палеозойского возраста. Они претерпели изменение, аналогичное изменению, которое испытывает передержанный фотографический снимок. Они, действительно, являются „передержанными“. Существует, повидимому, значительная аналогия между действием альфа-лучей на слюду и действием света на фотографическую пластинку. Хорошо известно, что очень продолжительная экспозиция делает скрытое изображение обратным; таким образом в результате значительной передержки пластинка ведет себя так, как если бы она не подвергалась экспозиции. Такой же эффект наблюдается и при генезисе ореолов. Древнейшие ореолы являются обесцвеченными как раз в тех местах, где они должны иметь наиболее темную окраску. Иногда они настолько передержаны, что оказываются совершенно обесцвеченными. Каково бы ни было происхождение этих явлений, они наглядно наблюдаются на

---

вызываемый солнцем, имел бы период от  $1\frac{1}{2}$  до 2 часов; а этот период соответствовал бы свободному периоду колебаний земли, если допустить, что она представляла собою сплошь однородную жидкость.

Мы имеем, таким образом, приложенную силу, согласованную с естественным или свободным периодом колебаний матеральной системы, — условия, которые должны вызвать постоянно возрастающую амплитуду движения. Приливное колебание в этом случае могло стать достаточно могучим, чтобы вызвать разрыв планеты, от которой, таким образом, отделились большие обломки; последние в конце концов слились и образовали луну. По этой теории возникновение луны было явлением резонанса, который можно иллюстрировать общеизвестным примером — поддержание движения тяжелого часового маятника небольшой силой, приложенной в согласии с периодом его качания [28].

самых древних ореолах. По этим признакам мы можем узнать архейский ореол. Они свидетельствуют о деятельности материнского радиоактивного элемента — будь то уран или торий — даже в эти очень отдаленные времена. Иногда мы встречаем в указанных слюдах ореолы, которые, повидимому, образованы несуществующими уже ныне радиоактивными элементами. Такие ореолы, кажется, неизвестны в более молодых породах [94].

Субстрат, настолько заряженный энергией, как субстрат земного шара никогда не может находиться в состоянии покоя. И в настоящее время, в конце великого горообразовательного периода, все еще продолжают деформирующие движения. Вследствие этого образуются сбросы и другие



Рис. 13. Ореол неизвестного происхождения. Иттербийская слюда (архейского возраста)  $\times 186,4$ .

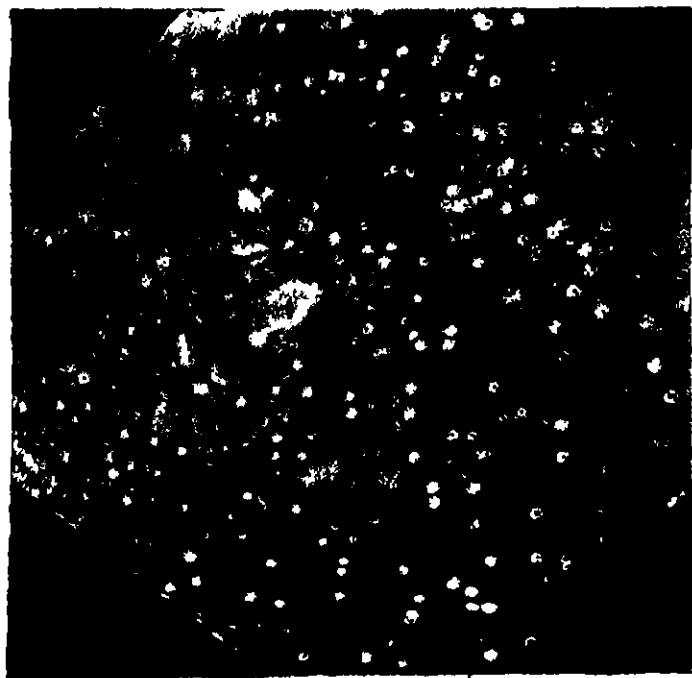


Рис. 14. Ореолы неизвестного происхождения в иттербийской слюде (архейского возраста)  $\times 75,2$ .

дислокации, которые, повидимому, являются во многих случаях причиной сейсмических явлений. И мы видим, что большие сейсмические области земного шара как раз совпадают с теми тектоническими областями, в которых особенно сильно проявилось горообразование. Являются ли эти движения коры чисто остаточными — „посмертными“ остатками недавнего орогенезиса, или они представляют собою ре-

зультат накопления радиоактивной теплоты в недрах субстрата? Мы не можем ответить на этот вопрос. На самом деле, и те и другие движения могли вызвать образование сбросов и других дислокаций. Однако первое предположение подтверждается многими наглядными фактами. Вдоль восточного и западного побережий Тихого океана сейсмические явления следуют почти сплошной полосой: мы знаем, что в этих областях и материк и океаническое дно недавно подвергались воздействию колоссальных усилий. Побережья Атлантического океана не испытали на себе в недавнее время действия значительных усилий, и не обнаруживают резко выраженной сейсмичности.

Если мы будем иметь ввиду грандиозность сил, которые действовали на земную кору в геологически недавние времена (в пользу этого красноречиво свидетельствуют великие горные кряжи земного шара), то мы без труда сможем проследить зависимость сейсмических явлений — не столь величественных по своим размерам — от радиоактивной истории субстрата. В глубоких недрах самого субстрата также происходят движения, вызывающие сейсмическую радиацию. В настоящее время наши идеи о сущности и происхождении этих движений могут быть построены лишь на данных умозрительного характера.

Изучая географию, мы обычно не задумываемся о том, как океаны и материки приняли те формы, какими они обладают теперь. Но если мы захотим проследить физико-географическую историю земного шара, то мы увидим, что существующее ныне соотношение между сушей и водой обуславливается главным образом коренными, основными особенностями строения земной поверхности. Действительно, мы увидим, что описанное в предыдущих главах строение земной коры не только было главным фактором, направляющим события геологической истории; оно, помимо того, оказало влияние на формирование более крупных геоморфологических элементов земного шара.

Соотношение площадей суши и воды находится в совершенно очевидной зависимости от факторов, с которыми мы уже знакомы по их деятельности в других направлениях. Мы видим, что в силу радиоактивности основания материков оно по своей температуре должно приближаться к точке

плавления подстилающего его субстрата (мы говорим здесь о средней температуре основания материков). Эта температура основания повышается прямо пропорционально квадрату глубины материкового слоя. Таким образом, всякое значительное изменение в глубине влечет большое повышение температуры основания. Но если эта температура будет в общем много выше, чем существующая, то устойчивость компенсационных выступов подвергнется опасности; так как тогда теплота должна будет утекать вниз в субстрат. Температура последнего подымается выше точки плавления (более горячая лава должна гравитационно подыматься), и к концу продолжительного периода накопления теплоты даже материковые породы должны становиться мягкими, расплавляться и растекаться в горизонтальном направлении — по всей вероятности, к востоку, — когда начинаются приливные движения. Мы уже видели на предыдущих страницах, что к условиям такой неустойчивости должны приближаться компенсационные массы Тибетского плато\*.

На наружной поверхности материка агенты денудации работают в том же направлении, перенося материалы с высот в прибрежные воды и таким образом раздвигая в горизонтальном направлении границы материков. В этих явлениях мы усматриваем работу факторов, стремящихся уменьшить мощность материкового слоя.

В противоположном направлении работает, как мы знаем, горизонтальная сила раздавливания материков, возникающая вследствие периодического увеличения и уменьшения земного радиуса. Ясно, что, если бы этот тангенциальный напор продолжал действовать неопределенно долго, то материки должны были бы занимать постоянно уменьшающуюся площадь на базальтовом субстрате. Но существуют факторы, работающие в обратном направлении. Материк, ставший

---

\* Как известно, на многих вулканических островах западной части Тихого океана имеются проблематические материковые породы наряду с базальтовыми и иными излившимися породами, из которых по преимуществу состоят эти острова. Распространение этих континентальных материалов описывается Дэйли [93]. Заслуживает внимания вопрос: не могли ли эти материалы попасть туда, где они теперь встречаются, вследствие их извержения из подматериковых материалов восточной Азии и передвижения океанического дна относительно подстилающей его магмы, т. е. по существу быть продуктами вулканической денудации, совершающейся в подземном мире?

слишком толстым, подвергается денудации и сверху и снизу; часть материала, из которого он построен, уносится прочь; таким образом материк увеличивается по площади и уменьшается по своей толщине.

Эти взаимно противоположные физические факторы, которые работают без перерыва, регулируют площадь не только материков, но также — неизбежно — и океанов; а кроме того — можем прибавить — и среднюю глубину океанов, зависящую от количества воды на поверхности земного шара.

Много интересных вопросов возникает в связи с изменениями климата и с причиной ледниковых периодов. Имеются веские доводы в пользу того, что „эпохи холодных климатов совпадают с теми эпохами, когда материки занимают более или менее обширную площадь и высоко выступают над уровнем океана. В „эпохи, когда материки были затоплены океанами, холодных климатов не было“. С другой стороны, условия мягкого климата, например, те, которые существовали в верхне-каменноугольное время и в верхне-меловую эпоху и которые благоприятствовали развитию богатой растительности так называемой угленосной толщи (Coal Measures), „господствовали во время наибольшего затопления материков и предшествовали наступлению холодных климатов“ [96].

Гельсингфорский профессор Рамсей (Ramsey) связывает изменения климатов в геологические времена с общим ритмом геологических циклов. Суровые климатические условия существуют при высоком рельефе, господствующем в течение великих орогенических периодов и после них; более теплые же климаты устанавливаются после периодов эрозии материков и гор. Оледенение возникает в результате максимального развития рельефа. Межледниковые периоды не зависят от соответствующих колебаний рельефа, а обуславливаются колебаниями уровня моря, которые вызываются движениями коры [97].

По Огу, изучение колебаний Скандинавского щита указывает на связь, существующую между эпейрогеническими движениями\* и ледниковыми явлениями. Поднятия вызывают образование ледниковых покровов, охватывающих всю приподнятую площадь. Опускания вызывают таяние ледников

\* Движения поднятия, ведущие к увеличению материков.

и их медленное отступление. Обобщая этот вывод, мы можем указать общую причину явлений распространения и отступления ледников: одновременное распространение ледников на всем земном шаре нужно приписать одновременности положительных эпейрогенических движений (поднятий) [98].

Из этого, повидимому, следует, что изменения климата зависят от изменений высоты суши над уровнем моря. Это положение находится в соответствии с воззрением, что атмосфера и водяной пар действуют на климаты земного шара подобно парнику. Световые лучи солнца проходят свободно; но после того как они поглощены у поверхности земли и превращены в тепловые лучи, последние уже не так свободно пропускаются наружу. Они поглощаются в атмосфере и удерживаются атмосферой и содержащейся в ней влагой. Получающийся таким образом эффект подобен нагреванию парника; солнечная радиация не может вернуться тем путем, каким она проникла в парник.

Климатические условия зависят, следовательно, в значительной степени от высоты и влажности окутывающей материи атмосферы. Отсюда вывод, что когда субстрат жидок, а материи занимают относительно низкое положение над уровнем океанов, имеются налицо все условия для теплого и влажного климата. Когда материи приподняты, господствуют условия холодного и сухого климата, подобные существующим в областях высоких плоскогорий. Так возникают ледниковые периоды, одновременно охватывающие весь мир в моменты великого поднятия суши.

Когда мы учились в школе, нам говорили, что элементы земного рельефа весьма незначительны по сравнению с размерами земного шара. Поверхностная шероховатость сравнивалась с шероховатостью апельсина. В действительности, однако, эта шероховатость еще менее значительна. В самом деле, если мы будем рассматривать глобус, радиус которого равен одному метру, то вертикальное расстояние от средней глубины океанического дна до средней высоты материков (расстояние это составляет около 4,8 км) на нашем глобусе едва ли превысит толщину визитной карточки ( $\frac{1}{4}$  мм).

Мы знаем теперь, чем это объясняется. Имеется определенное количество материковых пород и определенное количество воды. Одни из периодически действующих сил

стремятся увеличить, а другие — сократить площадь, занимаемую материками на поверхности базальтового субстрата. Образовавшиеся в конечном счете площади суши и воды, в том виде, как они нам известны, являются результатом этих противоположных воздействий.

Но в процессе этих периодических перемен появляются морщины. Высота этих морщин зависит от изостазии и от того обстоятельства, что слишком глубокие компенсационные выступы оказываются непрочными и плавятся снизу. Поэтому масштаб существующих на земной поверхности неровностей определяется в значительной степени устойчивостью компенсационных выступов. Однако компенсация на-

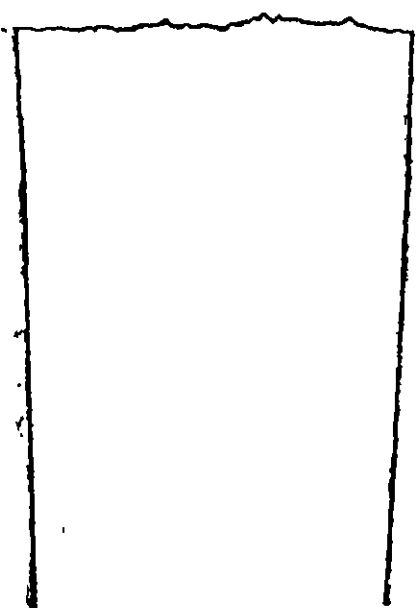


Рис. 15. Сектор земного шара в масштабе 1 м на земной радиус.

грузки гор может охватывать площадь более обширную, чем та, которую горы занимают на дневной поверхности; таким образом горы до некоторой степени избегают тех ограничений, которые обуславливаются неустойчивостью компенсационных выступов.

Если бы пики Гималаев „компенсировались“ индивидуально (каждый в отдельности), то они, конечно, не были бы прочными: их „компенсационные“ выступы расплавились бы, а горы рухнули бы. Возможно, что в некоторых случаях такая судьба компенсационных выступов является причиной существования недостаточно „компенсированных“ площадей, которые были обнаружены среди этих величественных гор.

Но высота гор зависит также и от денудационного разрушения, которое, по всей вероятности, тем сильнее, чем выше горы. Такой снос величественных гор должен вести к явлению сверх-компенсации, т. е. такой компенсации, которая соответствовала более высоким горам, но слишком велика для менее высоких; при этом горы стремятся приподняться. Такие условия также, повидимому, обнаружены в Гималаях.

Таким образом мы можем легко объяснить, почему наши горы сравнительно невысоки; мы видим, что высота суши и глубина океана подчиняются действию общих законов,

управляющих равновесием тел, плавающих на поверхности великого всемирного субстрата.

Мы можем сделать еще один шаг вперед. Мы можем уяснить себе, чем регулируются соотношения крупных географических элементов земного шара, т. е. от чего зависит общее распределение материковых и океанических площадей на поверхности земли.

Основными элементами лика земли являются материки, отделенные друг от друга морями, простирающимися от полюса до полюса. Существуют силы — правда, незначительные, но постоянно действующие — стремящиеся оттеснить плавающие материковые массивы к экватору. Эти силы возникают вследствие вращения земли вокруг ее оси благодаря некоторому избытку центробежной силы, действующей на материки, — избытку, который возникает вследствие их более высокой „надводной части“ и соответственно этому — более высокого положения их центра тяжести. Возможно, что действие этих сил совершенно ничтожно, хотя, как мы видели в главе I, оно принималось за одну из причин движения материков. Нетрудно, однако, показать, что всякое скопление материковых массивов вдоль экватора, образующее полосу или пояс вокруг земного шара, было бы непрочным.

Это станет ясным, если мы вспомним, какое значение имеет перемещение наружных частей коры силою приливов: вследствие такого перемещения океаническое дно надвигается на те части субстрата, которые ранее занимались материками, — и открывается единственный путь, посредством которого магма может освободиться от скрытой теплоты, накопившейся в ней за долгие века.

Этот способ отдачи тепла был бы совершенно неудачным, если бы материки опоясывали земной шар непрерывными полосами или сливались в один объемлющий землю пояс. В таком случае теплота не могла бы утекать в океан. Более того, растяжение, возникающее в период расширения магмы и действующее в широтном направлении, проявлялось бы всецело в пределах подобного материкового пояса, так как между массивами материков не было бы морского дна, которое могло бы поглотить растягивающие усилия. Оба эти обстоятельства должны были бы способствовать разрыву

и разлому так расположенных материков. По тем же причинам был бы непрочен всякий большой полярный материк.

В заключение мы рассмотрим вкратце значение циклической истории земного шара для эволюции органической жизни.

Прежде всего спросим себя: что мы называем живым существом? И вот, хотя живое существо чрезвычайно сложно по своему строению, понятие это все же поддается определению, если его рассматривать с чисто физической стороны и с динамической точки зрения. На организм можно смотреть как на механизм, который для роста и воспроизведения в увеличивающихся количествах поглощает и утилизирует энергию из какого-нибудь доступного ему источника. Это свойство выражается в возрастающей потребности всех форм органической жизни в энергии, которая содержится в окружающей среде; и на-ряду с тем обстоятельством, что запасы энергии являются ограниченными, свойство это составляет динамическую основу эволюции. Если мы задумаемся в это положение, то мы увидим, что оно отличает живые существа от всех прочих материальных предметов, существующих на земной поверхности<sup>[99]</sup>.

Из предыдущих страниц мы знаем, что после долгих периодов медленно развивающихся континентальных морей повсюду на поверхности земли совершаются большие физические изменения. Как влияют эти изменения на органическую жизнь?

Все мы знаем, как изумительно отвечает организм на изменения, происходящие в окружающей среде. Это мы наблюдаем на каждом шагу, встречая растения и животных, которые приспособлены к климатическим, физическим и биологическим особенностям среды: на самом деле, специализация в целях приспособления к среде обуславливается управляющими органической жизнью динамическими факторами, о которых мы говорили выше. Действительно, новые запасы энергии становятся доступными организмам, главным образом, вследствие специализации. Наступление морских условий на площади, которая была занята сушей, создает новое положение, благоприятное для одних форм и губительное для других. То же получается, когда море уступает место суше. По всей вероятности, таким путем появились в океане дышащие

воздухом организмы. А морские формы, покинутые медленно сокращающимися морями, дали начало дышащим воздухом сухопутным формам.

Говоря кратко, мы приходим к выводу, что животная и растительная жизнь была бы гораздо менее разнообразной, если бы существование нашего мира протекало однообразно, безо всяких перемен, кроме суточных и сезонных.

Таким образом разнообразие форм должно было возрасти вследствие изменений, происходящих в земной коре; но в то же время получались и такие последствия, которые, повидимому, могли до известной степени вести к противоположным результатам. Действительно, охватывающие сравнительно обширные пространства изменения поверхности, несомненно, способствовали единообразию развития органической жизни на земле. Это касается прежде всего сравнительно низких форм, каковы, например, двустворки, которые (как пластинчатожаберные, так и плеченогие) существуют с очень отдаленных времен. Вследствие океанических трансгрессий формы эти получали однообразное и широкое распространение по всему земному шару. Роды, происходящие из Мексиканского залива, начинали встречаться попеременно с формами Северного Ледовитого океана; формы из Атлантического океана переходили через Тетис в Тихий океан. Они кишели в континентальных морях; их остатки сохранялись в илах, из которых впоследствии образовались горы. Когда трансгрессионные воды исчезали, формы эти отступали обратно в более древние, первозданные моря: в обширных пространствах этих последних они оказывались сравнительно обеспеченными от жестокой борьбы за существование. Таким образом достигалась равномерность их развития на всем земном шаре.

И это была равномерность не только в пространстве, но и во времени, так как одновременная по всей земле революция как бы дает сигнал к прогрессу органической жизни на земном шаре. Что совершается в Америке, — одновременно совершается и в Евразии. А отсюда — единство в пространстве, и одновременная эволюция тех видов, которые в наибольшей степени помогают нам определять последовательность событий истории земли.

Если бы в породах не было следов радиоактивных элементов, то жизнь, столь хрупкая в особях и столь могучая, столь бессмертная в расе, была бы совершенно иной, чем она есть теперь.

Чтобы уяснить себе, какое значение имеют для жизни на земле следы радиоактивности, лучше всего представить себе тот момент, когда эта радиоактивность, наконец, иссякнет. Горы, не будучи в состоянии возрождаться, будут сглажены. Материки, век за веком сокрушаемые морем и атмосферными агентами, будут окончательно стерты, отдав океану продукты своего разрушения. Дышащие воздухом сухопутные организмы и сухопутные растения в конце концов погибнут, потому что и сама земля перестанет дышать. И мысль человеческая — только она может постичь всю эту историю земной поверхности — станет частью позабытого прошлого.

---

## ПРИЛИВООБРАЗУЮЩИЕ СИЛЫ И ОРОГЕНЕЗИС

**КАК** мы уже отметили выше, в теории приливов устанавливается, что приливная волна, поддерживаемая на взаимно противоположных сторонах земного шара, должна действовать как тормоз, приложенный к поверхности земли. Этот тормоз замедляет движение земной поверхности с запада на восток; можно ожидать, что он вызовет движение всей наружной коры земли по отношению к находящемуся внутри ее ядру, если только возможно движение вязких масс наружных частей по внутренним. Таким образом, продолжительность суток может не соответствовать действительному периоду вращения земли, которая вращается под внешней корой с немного большей угловой скоростью. Дж. Дарвин [100] считает возможным, что такие силы, действовавшие в ранние периоды мировой истории на вязкую планету, сморщивая поверхность земли, создали наблюдаемые контуры материков. По Эддингтону (Eddington) [101] возможно, что чисто океанические приливные движения, задержанные в замкнутых бассейнах, могли вызвать сморщивание коры.

В настоящее время приливообразующая сила по существу мала. Горизонтальная приливная сила равна всего лишь одной одиннадцатимиллионной силы тяжести. Однако в прошлом сила эта, согласно теории приливов, вызываемых лунной, должна была представлять гораздо большую горизонтальную силу, обратно пропорциональную шестой степени радиуса орбиты луны.

Согласно только что изложенной нами теории, на земле возникало, через некоторые промежутки времени, море расплавленной породы, которое, вероятно, было не менее чем в 20 раз глубже водного океана и обладало втрое большей плот-

ностью, чем вода. В верхних своих частях этот лавовый океан был, вероятно, очень подвижен, почти так же подвижен, как вода. Возникает вопрос: в какой степени существовавшие в таком океане приливные движения могли способствовать деформированию земной коры в отдаленном прошлом? Далее, насколько было энергично воздействие этих сил в недавнее время, например в плиоцене? Наконец, насколько велико может быть это воздействие в будущем? Мы не имеем в своем распоряжении данных о вязкости глубоко-лежащих частей магматического океана; а от этих данных, несомненно, в значительной степени зависит ответ на только что поставленные вопросы.

Представляется, однако, несомненным, что упомянутое выше замедляющее действие сказывается главным образом в верхних областях магматического океана, так как более глубокие части последнего, соприкасающиеся с ниже-лежащими более твердыми материалами и обладающие, вероятно, большей вязкостью, чем верхние слои (вследствие давления), должны иметь скорость, более близкую к полной угловой скорости вращения земного шара. Нетрудно видеть, что такие условия должны вызвать направленное с запада на восток давление — или натиск — тяжелой магмы на погруженные части материков. Нужно помнить, что такое состояние возникает в то время, когда океаническое дно утонено, так что погруженные побережья материков продолжают испытывать на себе действие дифференциальных движений в магме. Действительно, горизонтальные приливные силы стремятся тянуть материки с востока на запад, и этому стремлению противодействует вращательная энергия земли, передаваемая через расплавленную магму.

Эти условия вызывают дифференциальное воздействие, на пловучие массивы суши. На самом деле, элементы материков, обладающие наиболее глубоко погруженными компенсационными выступами, испытывают направленное с запада на восток давление магмы в большей степени, чем не так глубоко сидящие массивы суши. Далее возникнут вращательные силы благодаря тем, сравнительно глубоко погруженным компенсационным выступам, которые окажутся расположенными эксцентрично по отношению к равнодействующей или центру магматических сил; подобные силы возникнут там,

где материковые массивы вклиниваются в экваториальные области, так как линейная скорость магмы достигает максимума у экватора.

Такие вращательные силы могли влиять на развитие гор. Достаточно было бы сравнительно небольших движений; так, образование складок в Евразии могло последовать в том случае, если материк Африки и полуостров Индии в своих частях, выдвинутых к югу, испытали подобным образом — хотя бы в малой степени — действие более мощных экваториальных течений. Мы видели, что в момент высшего развития революции океаническое дно, по всей вероятности, испытывает значительные потрясения и в то же время становится тоньше, вследствие чего уменьшается его сопротивляемость.

Влияние этих условий на образование складчатых гор, по всей вероятности, проявляется преимущественно там, где геосинклинали втиснули материковые массы глубоко внутрь магмы. Здесь в значительной степени концентрируется направленное к востоку давление магмы; здесь же наиболее сильно проявляется воздействие температуры; в результате, по всей вероятности, получится тангенциальное складкообразование и вдавливание еще глубже. Таких результатов можно было бы ожидать и при давлениях не очень высокой интенсивности на единицу площади при условии, что они продолжались долго. В конце концов, в силу самой сущности плавления, согнутые и сложенные в складки массы будут изостатически вытеснены вверх вместе с батолитовыми вторжениями базальтовой магмы.

Так образуются хребты, возвышающиеся над общим уровнем материков.

Вполне возможно, что большая часть сморщивания материковой поверхности как западного, так и восточного побережий Тихого океана возникла вследствие расширения океанического дна, в то время как преобладающая часть орогенических явлений восточных побережий обязана своим происхождением силе, которая не могла воздействовать на западные побережья — магматическому давлению, развиваемому горизонтальными приливными и прецессионными силами.

Швейдар (Schweydar) [102] исследовал прецессионную силу, которая стремится двигать материки на запад; сила эта, конечно, подобно приливам — астрономического происхождения. По Швейдару, эта сила значительно больше горизонтальной приливной силы; и ясно, что действие ее должно очень усилиться во время революции. Она оказывается наибольшей у экватора и равна нулю на  $36^\circ$  к северу и к югу от него. Совместно с приливной силой она должна задерживать движение земной коры с запада на восток [103].

В связи с этим вероятным вмешательством приливных и прецессионных сил, показателен, может быть, тот факт, что многие великие излияния лавы, известные в геологической истории, совершались через трещины, расположенные либо на западной стороне материков, либо к западу от великих горных хребтов, или же произошли там, где образование трещин меридионального направления сопровождалось возникновением глубоких сбросов и оседанием коры. Мощность базальтов Деккана возрастает по направлению к западу; кроме того, наблюдались трещины на западном побережье. Гебридские базальты излились к западу от материка. Базальтовые потоки Диско излились к западу от гренландских хребтов. Западные межгорные области Северной Америки в значительной степени покрыты излияниями базальтов. Великая Африканская Сбросовая Впадина, повидимому, предопределила развитие интенсивной вулканической деятельности и базальтовых излияний. Подобное же значение, кажется, имеет трещина Христиании. Существование во время революции направленного с запада на восток давления глубоко-лежащего базальта вполне объяснило бы это замечательное распределение вулканических явлений [104].

По воззрениям Косматта (Kosmati), меридиональное направление величайших сбросовых рвов на земле объясняется воздействием приливообразующих сил на материковую кору. Вполне вероятно, что приливные силы действительно являлись решающим фактором для этого замечательного явления меридионального простираения. Трещины образовались тогда, когда субстрат был жидок, а кора — в состоянии натяжения.

Натяжение коры, правда, действует во всех направлениях, но приливная сила, действуя в широтном направлении, вполне могла определить направление разрыва. Подтверждение этого взгляда мы находим в том факте — отмеченном Грегори (Gregory), что Великая Африканская Сбросовая Впадина достигает наибольшего развития в экваториальных областях [105].

---

## ПРОБЛЕМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МАТЕРИКОВ

**П**РЕДПОЛОЖЕНИЕ, что материки могли менять положение в течение геологического времени, высказывалось Тейлором (Taylor) в Америке и Вегенером (Wegener) в Европе.

Возможность подобных перемещений при твердом состоянии субстрата является в высшей степени невероятной. Мало того: до настоящего времени никем еще не были указаны силы, достаточные для преодоления сопротивления океанического дна даже в периоды жидкого состояния магмы. Однако представляется вполне возможным, что усилия, происходящие от приливных сил, как указано выше, могли оказаться достаточными для возбуждения дифференциальных движений материков, если только океаническое дно стало под влиянием некоторых условий очень тонким или подверглось раскалыванию в известных благоприятных направлениях. На самом деле, „осадка“ материков, как это было отмечено в главе III, отнюдь не одинакова. Мы можем представить себе картину давления магмы с запада на восток, действующего в течение длинного ряда веков на компенсационные выступы восточной Евразии: при чем давления этого достаточно, для того чтобы переместить весь этот великий материк относительно Америки. Далее глубокие компенсационные выступы Андов могли сыграть деятельную роль в смысле определения положения материка Южной Америки к востоку от материка Северной Америки. Гористая Новая Зеландия, быть может, по той же причине была отнесена

на восток от Австралии. Простирающиеся с севера на юг расколы и сбросы, возникшие вследствие натяжения во время периодов прогрессирующего расплавления, могли наметить и определить новые географические границы. Расколы и сбросы прибрежных хребтов восточной Азии, без сомнения, принимали участие в генезисе Японских островов.

---

## ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Доклад, сделанный в Лондонском геологическом обществе  
2 мая 1923 года*

**В**ЕЛИКИЕ катастрофические события геологической истории происходят, как известно, циклически. Через промежутки, измеряемые многими миллионами лет, совершается опускание материков относительно уровня океанов. Моря захватывают нередко большую часть площади, которую прежде занимала суша. Этим трансгрессиям предшествуют периоды, в течение которых море временами вторгается в сравнительно пониженные участки суши. Имеются и другие признаки нарушения в земной коре, предсказывающие окончательное великое погружение. В образующихся таким путем трансгрессионных морях отлагаются осадки, мощность которых может достигать тысяч метров.

Затем, по прошествии долгих веков, наступает время, когда события начинают разворачиваться в обратном порядке. Моря медленно отступают; там, где накопились самые мощные толщи осадков, вздымаются горы. Прежние движения сверху вниз не только уступают, вообще говоря, место движениям, направленным снизу вверх, но местами те части коры, которые в наибольшей степени испытали оседание под бременем осадков, — геосинклинали — оказываются поднятыми к небесам, высоко над общим уровнем материка. Пласты этих осадков приподнимаются смятыми в складки, надвинутыми друг на друга и часто глубоко метаморфизированными.

Перед кульминационным моментом этого необыкновенного ряда событий происходят излияния базальта, истекающего из трещин в земной коре.

В деле расшифровки этих замечательных особенностей тектоники земного шара мы многим обязаны усердным наблюдениям и проницательности американских геологов. Великие горообразующие пароксизмы они называли „революциями“. В настоящее время признается, что, начиная от кембрийских времен, совершилось несколько таких революций как в Северной Америке, так и в Европе. Следы одной из революций встречаются в силурийских и девонских отложениях (Каледонская революция); другая произошла в пермское время (Аппалачская революция); третья революция — крупного масштаба — имела место в меловое и ниже-третичное время; ей-то главным образом и обязаны своим развитием Кордильеры Северной и Южной Америки (Ларамийская революция); четвертая положила начало современной нам эпохе и была свидетельницей возникновения евразийских горных цепей (Альпийская революция). Следы революций более древних времен менее ясны, но большинство авторитетных ученых, повидимому, сходится в том, что в архейское и ниже-альгонкское время имели место, по меньшей мере, две великие революции.

В дальнейшем изложении я попытаюсь проследить происхождение этих событий и их связь: 1) с существованием всемирного океана базальтовой магмы, или изостатического слоя, в котором плавают материки и на котором располагаются океаны, 2) с присутствием известного количества радиоактивных веществ повсюду в этом магматическом океане, 3) с сохранением изостатического равновесия материковых массивов как в прошлом, так и в настоящее время, 4) с некоторыми силами астрономического происхождения, воздействующими на поверхностную кору земли (а именно — приливными и прецессиональными).

Геология имеет дело с теми же основными элементами, что и физика: материей, энергией и временем. Это — давно известная истина. Но лишь в недавнее время энергия, как продукт материи, стала концепцией, рассматриваемой в геологии. Замечательно, что хотя всеобщее распространение в породах элементов, производящих энергию, было доказано лордом Релеем-сыном (Rayleigh) семнадцать лет тому назад, геологи в большинстве случаев уделяли им мало внимания. Я говорю, что это замечательно, так как этим открытием

установлен факт, что повсюду в породах мы имеем постоянный источник теплоты, источник, действующий на протяжении веков непрерывно — независимо от того, накапливается ли теплота или происходит ее утечка. Нам неизвестны такие физические условия, при которых были бы вероятны какие-либо изменения в этом истечении энергии. И мы можем быть уверены, что таких гипотетических изменяющих факторов нет и в глубоких недрах земли. Ведь, в самом деле, источник энергии заключается в ядре атома, т. е. находится в той области, которая всегда была недоступной и для химика и для физика, и с которой мы можем знакомиться лишь изучая альфа-лучи.

Что выделение радиоактивной энергии происходило в самые отдаленные периоды геологической истории, о том свидетельствуют плеохроические ореолы в нижне-архейских породах. Далее из закона радиоактивного распада следует с несомненностью, что в эти давно прошедшие времена выделялось больше — а не меньше — тепловой энергии. Некоторые свойства ореолов урана, повидимому, подтверждают это воззрение.

Как же должны мы поступить с вытекающими из этих данных следствиями? Не видим ли мы в каких-либо изменениях земной поверхности доказательств действия накопившейся энергии? Я бы сказал, что эта накапливавшаяся энергия была основным фактором в истории превращений земной поверхности на всем протяжении геологических времен. Я уже указывал на открытие лорда Релея, установившего мировое значение радиоактивности. Наравне с этим великим достижением современной науки я ставлю учение об изостазии, которое, правда, возникло еще в середине прошлого столетия, но получило обоснование лишь в недавнее время преимущественно в работах Гейфорда (Hayford) и Боуи (Bowie) в Соединенных Штатах и Беррарда (Burrard) в Индии.

Изостазия предполагает существование в земной коре слоя плотного пластического материала, в котором плавают материковые массивы, состоящие из более легких веществ, и на котором покоятся океаны. И вот, подобно тому, как большие и тяжелые суда неизбежно имеют более глубокую

осадку, чем более легкие, так и более высокие элементы рельефа материков „компенсируются“ вытеснением большего количества вещества нижележащего плотного слоя. Если бы компенсация была совершенной во всех частях земного шара, то следствием этого было бы то, что вертикальные призмы, стоящие на дне изостатического слоя и имеющие равные горизонтальные сечения, будучи взяты в любых местах поверхности земли, были бы равны друг другу по массе. Оказалось, что это положение справедливо лишь в случаях, когда призмы имеют значительные горизонтальные размеры: когда и длина и ширина их сечения приблизительно равны одному градусу на экваторе. Иными словами, менее значительные элементы рельефа не имеют самостоятельной компенсации. В твердой коре нагрузка распределяется таким образом, что компенсация менее значительных элементов сливается с компенсацией материкового массива в целом. Однако крупные горные хребты более или менее полно компенсируются крупными выступами легкого поверхностного материала, погруженными в поддерживающее вещество. Так, по имеющимся сведениям, Гималаи компенсируются на 80%. Подобные выступы должны простирались до очень значительных глубин, так как разность плотностей погруженных материковых пород, с одной стороны, и поддерживающей их среды — с другой, не может быть значительной.

Эта теория уже вышла из стадии умозрительных построений. Она прочно устанавливается измерениями направления и величины силы тяжести, произведенными во многих частях земного шара, а именно в Северной Америке и Индии.

Теперь возникает весьма интересный вопрос, касающийся природы материала, образующего изостатический слой. Имеются весьма веские доказательства в пользу того, что он состоит из базальта или базальтовой магмы, — доказательства, по-моему, вполне убедительные. Факты состоят в следующем.

Как мы уже сказали, через некоторые промежутки времени в геологической истории совершались великие вертикальные поднятия материков; в этих поднятиях участвовали либо части материков, либо, повидимому, целые материки. Мы можем говорить лишь о движении относительно океанов; но для наших рассуждений этого вполне достаточно. Ведь невозможно думать, что материки или океаны испытывали

бы относительные вертикальные перемещения на две сотни метров и более, если бы поддерживающая их среда не находилась в данный момент в жидком состоянии и не была бы способна к значительным тангенциальным передвижениям. Эти нарушения, как оказывается, сопровождались излияниями на земной поверхности огромных масс — до сотен тысяч кубических миль — сильно нагретого жидкого базальта, восходившего из недр по трещинам. В этом мы удостоверяемся подобно тому как люди, находящиеся на судне, убеждаются в том, что их корабль плавает на воде, если вода врывается в случайно образовавшиеся щели. Однако доказательства, которые находит геолог, еще более убедительны. Ведь материки — не полые суда, а сплошные массивы пород. Поэтому ясно, что поддерживающая среда должна отличаться большей плотностью, чем материковые породы. Этим свойством обладает вещество базальта; Дэй, Сосман и Гоштеттер показали, что кварцит, или полевошпатовый песчаник, плавает на расплавленном базальте. Я повторил этот опыт, применяя горный хрусталь и жидкий базальт. Существует и другое указание: если поддерживающая жидкость представляет расплавленную породу, то точка плавления последней должна быть ниже точки плавления материковых пород. Оказывается, что базальт удовлетворяет и этому условию. Итак, порода эта обладает всеми необходимыми свойствами. То, что она существует в колоссальных количествах, подтверждается не только великими излияниями лавы с отдаленнейших времен геологической истории, но также и фактом, что базальт — преобладающая излившаяся порода на земном шаре, далеко превосходящая по своему распространению все остальные. Кроме того океанические острова построены по преимуществу из базальта; измерения силы тяжести подтверждают воззрение, что эта порода залегает непосредственно под водами океанов. По мнению многих геологов, базальт есть родоначальная магма, из которой произошли различные семейства пород.

Нет, повидимому, никаких оснований смотреть на материки иначе, как на сильно обогащенный силикатами продукт расщепления, выделившийся и поднявшийся из громадного базальтового океана, имеющего в глубину около ста километров или более. Эта гранитовая пена образовала скопле-

ния в виде пятен, которые мы называем Евразией, Африкой и т. д. На площадях, свободных от этой пены, покоятся океаны.

Согласно этому воззрению — а его трудно заменить иным или даже оспаривать — отношения материков и океанов к поддерживающему их базальтовому слою в некотором смысле гидростатически различны. Материки плавают в подлинном смысле Архимедова закона, вытесняя базальтовое вещество. Океаны же покоятся на поверхности последнего, как масло на поверхности воды, содержащейся в сосуде с ограниченной площадью. Мы имеем очень веские основания считать, что изостатический слой в настоящее время не может быть жидким. Астрономы говорят нам, что жидкий слой под внешней корой почти совершенно уничтожил бы явление наблюдаемых океанических приливов, так как приливная волна, поднимающаяся в таком слое, передвигала бы всю наружную кору вверх и вниз, и вертикальные движения воды по отношению к суше были бы крайне малы.

Далее, горизонтальные приливообразующие силы, возникающая в таких условиях, замедляли бы движение земной коры с запада на восток и, следовательно, стремились бы вызвать скольжение наружной коры по находящемуся внутри нее ядру и действовать, как тормоз по отношению к земле в целом, увеличивая таким образом продолжительность суток. Если бы такое действие проявлялось в исторические времена, то упоминание о нем должно было бы быть найдено среди записей о происшедших в древности солнечных затмениях. Однако изучение подобных записей, повидимому, показывает, что такое увеличение суток почти неощутимо мало.

Не менее важны доказательства, доставляемые сейсмологией. Первичные и вторичные сейсмические волны, наблюдаемые на угловом расстоянии в 10 градусов от эпицентра, явственно отделимы друг от друга. Такие волны проникают внутрь до глубины приблизительно 100 км. Вторичные волны по своему характеру являются преимущественно волнами кручения, а потому они не могут распространяться в жидкой среде. Поэтому и Ольдгем и Нотт приходят к заключению, что под наружным неоднородным слоем, толщина которого составляет около 28 км, существует слой, состоящий из однородного вещества, которое способно пере-

давать и волны сжатия и волны кручения и в котором скорость изменяется с глубиной. Подобные физические свойства господствуют до весьма значительных глубин в наружных частях земли.

В общем мы должны признать, что в субстрате могут иметь место медленные движения, удовлетворяющие условиям изостазии; но по отношению к быстро меняющимся усилиям он ведет себя, как упругое твердое тело.

Таким образом прежние и нынешние условия базальтового слоя, повидимому, отличаются друг от друга и термически и в отношении физического состояния, потому что, как мы видели, условия, господствовавшие в течение известных периодов, должны быть связаны с более или менее полным ожижением поддерживающего вещества. Наиболее простое заключение, к которому мы можем прийти, состоит в том, что в настоящее время базальтовая магма находится в вязко-твердом состоянии и очень близка по своей температуре к точке плавления. Вывод этот является и самым вероятным, так как он предполагает минимальное изменение теплового состояния. В прошлом же магма была в жидком состоянии и опять-таки была близка к точке плавления.

Поэтому мы будем рассматривать нынешнее состояние магматического океана как состояние вязко-твердого тела, близкого к температуре плавления, и исходя из этого, будем строить предположения о возможном будущем.

Мы можем принять, что изостатический слой состоит из такого же базальта, какой многократно изливался на поверхности земли; этот базальт, как нам известно, содержит радиоактивные элементы; и мы, действительно, обладаем значительным количеством наблюдений, позволяющих нам подсчитать количество теплоты, непрерывно выделяемой этими элементами.

Как известно, тело в твердом состоянии может терять теплоту лишь путем медленного процесса передачи теплоты теплопроводностью, в случае если оно соприкасается с более холодным телом. Как мы сейчас увидим, из этого положения вытекает следствие, что повсюду в великой базальтовой постели теперь происходит накопление теплоты, так как теплота не

имеет возможности утекать, а выделение ее не прекращается.

Скорость притока, правда, мала: быть может, около 3—4 калорий на 1 грамм магмы в один миллион лет. Но за 25—30 миллионов лет накопится 90 или 100 калорий. А это влечет за собой расплавление, так как такое количество теплоты представляет собою скрытую теплоту плавления базальта.

Отсюда следует, что за промежуток времени около 30 миллионов лет базальтовая магма, которая теперь тверда, изменит свое состояние, причем температура ее останется очень близкой к нынешней. Этот подсчет времени основан на средней величине радиоактивности базальтов. Если бы мы взяли за основу низшие величины ее (характеризующие гебридские базальты), применяя их к магме в целом, то период, необходимый для ожижения, увеличился бы до 40 миллионов лет\*.

Как повлияет это изменение состояния на поверхность земного шара, занятую сушей и водой? Расширение объема базальта при его расплавлении, согласно замечательным опытам Дея, Сосмана и Гоштеттера, достигает приблизительно 11% объема нерасплавленного базальтового стекла или 12% объема кристаллического базальта при точке плавления (1150° С). По мере того как происходит плавление, магматический океан, расширяясь, подымается вверх вместе с океанами и материками. Но как я указал, отношение материков к магме в гидростатическом смысле отличается от отношения к последней океанов. Океаны приподнимаются на подымающейся магме, хотя поверхность их должна несколько опуститься вследствие увеличения площади. Хотя материки также подымаются, они должны опуститься в магму вследствие меньшей плотности жидкого базальта. В итоге они испытывают перемещение сверху вниз по отношению к океанам, при чем этому опусканию в наибольшей степени под-

---

\* Эти подсчеты времени дают цифры меньшие, чем те, к которым мы пришли в настоящей книге (см. выше стр. 144). Разница происходит от того, что более низкие исчисления принимают во внимание, в дополнение к скрытой теплоте, то падение температуры ниже точки плавления, которое базальт испытал при последнем в своем отвердении, согласно опытам Дея и его сотрудников.

вергаются материковые области, поддерживаемые глубокими „компенсационными“ выступами. Этот процесс совершается очень медленно, по мере того как расплавление магмы приобретает все более и более общий характер. Кроме того, значительное расплавление в отдельных местах под материками вызывает движение поверхностных частей еще задолго до окончательного расплавления.

Подобные изменения на поверхности дают начало трансгрессионным морям. В зависимости от местных колебаний уровня эти последние могут проникать на небольшое расстояние в материковые области, а затем в течение долгих веков, по мере приближения магмы к полному расплавлению, они продолжают увеличиваться.

Мы видим, что в этой стадии мы пришли к таким условиям, которые существуют в периоды, предшествующие „революции“: и действительно, кульминационная точка достигнута, поскольку магматический океан вполне или в большей части перешел уже в жидкое состояние. Ниже мы рассмотрим орогенические результаты, которые из этого должны следовать, а теперь проследим далее тепловые явления, происходящие по окончательном расплавлении. Прежние условия накопления теплоты перестают существовать, так как теперь мы имеем дело уже с жидким, а не с твердым телом. В жидкостях же вместо теплопроводности действуют циркуляция и тепловая конвекция, и скорость утечки в огромной степени возрастает.

Эта утечка теплоты имеет место главным образом под океанами; и там преимущественно должно произойти израсходование запасов теплоты, образовавшихся приблизительно за 30 миллионов лет. В течение периода накопления теплоты изотерма, представляющая точку плавления базальта, могла опуститься до глубины около 22,5—30 км. Образовавшаяся таким путем под океаном кора теперь быстро расплавляется вследствие циркуляции восходящих лавовых токов, — часто, без сомнения, перегретых. Часть этой коры может проваливаться, хотя проплавление ее в большом масштабе невероятно. Может понадобиться от 6 до 12 миллионов лет для того, чтобы теплота ушла через утоненное океаническое дно, если принять, что ее мощность сокращена до  $\frac{1}{4}$  или  $\frac{1}{2}$  ее первоначальной мощности. За-

стывшая магма под действием силы тяжести опускается вниз, и происходит затвердевание магматического слоя, распространяющееся снизу вверх. Эта потеря теплоты постепенно ведет к ослаблению революции и к наступлению нового периода теплового накопления.

Вернемся теперь к влиянию этих изменений на состояние поверхности. По мере отвердевания магмы устанавливается обратный порядок вещей. Происходит общее опускание земной поверхности: и материки и океаны опускаются вследствие сжатия магмы. Однако и тут наблюдается, дифференциальный эффект, так как материки вздымаются в соответствии с увеличением изостатических сил, происходящим вследствие возрастания плотности, а поэтому трансгрессионные моря должны мало-по-малу удалиться с суши.

Если мы, вместо того, чтобы устремлять свои взоры вперед, в будущее, бросим взгляд назад, на прошлое, то мы увидим, что все события этой истории запечатлены на поверхности материков — наиболее красиво, быть может, на поверхности Северной Америки, начиная, преимущественно с юрского времени.

Мы одинаково вправе как оглядываться назад, на прошлое, так и всматриваться в будущее, потому что вся последовательность событий представляется неизбежной, хотя мы и не можем дать точные величины, относящиеся к пространству и ко времени. Мы не в состоянии — и, вероятно, никогда не будем в состоянии — установить, какое количество теплоты может быть выделено радиоактивностью материалов, лежащих ниже изостатического слоя. Мы не знаем глубины этого слоя; мы не можем также установить значение физических условий, господствующих в более глубоких его частях. Мы не можем выяснить сколько-нибудь точно, какими промежутками времени отделяются друг от друга эти циклические события. Мы вправе говорить лишь о таких промежутках времени, относительно которых нам представляется вероятным, что они достаточны для завершения известных нам великих мировых революций при сравнительно скромных определениях геологического времени. Завершение физических явлений, вызывающих мировую революцию, может потребовать около 40 миллионов, а может быть, 50 миллионов лет.

Как я уже сказал, условия охлаждения магмы создаются главным образом под океанами. Материки представляют покров, почти непроницаемый для магмы. Не трудно найти причину этого. Материковые породы значительно радиоактивнее базальтового слоя. Если, согласно данным сейсмических наблюдений, мы примем среднюю толщину материков равной приблизительно 32 км, то не трудно доказать, что собственная внутренняя радиоактивность, присущая более кислым породам, дает такую температуру основной части материков, которая равна температуре плавления базальта или лишь немного ниже этой температуры; эта внутренняя радиоактивность приблизительно достаточна для объяснения наблюдаемого на поверхности среднего материкового термического градиента, иными словами — для объяснения почти всей теплоты, утекающей с поверхности всей суши земного шара. Поэтому лишь маленькая часть теплоты может происходить от радиоактивной теплоты, выделяемой в подстилающей материке магме. Действительно, вычисления показывают, что более толстые части материкового слоя должны передавать часть своей радиоактивной теплоты вниз, в магму. Поэтому, если бы в жидком базальтовом слое не было горизонтальных циркуляционных движений во время революции, подматериковая температура должна была бы безгранично повышаться. Представляется несомненным, что местами действительно происходит перенагревание, и этим-то могут быть объяснены батолитовые вторжения гранитовой магмы в подымающиеся массивы гор.

Некоторые связанные с приливами явления, которые должны возникнуть вследствие условий, господствующих во время революции, удовлетворительно объясняют установление одинаковой температуры во всех частях базальтового субстрата. Дж. Дарвин давно уже указал на то, что горизонтальная приливообразующая сила луны и солнца, действуя наиболее энергично на наружные части земной поверхности, должна стремиться удерживать наружную кору от вращения с запада на восток с полной вращательной скоростью земного шара. Поэтому присутствие жидкого слоя между наружной корой и внутренним ядром должно вызвать дифференциальные движения. В настоящее время, как мы уже сказали, результат этого воздействия совершенно нич-

тожен, и приливообразующая сила недостаточна для раскалывания твердого субстрата. Но в те периоды, когда твердый субстрат заменяется весьма подвижной жидкостью, перемещение неизбежно. Таким образом материковые массивы постепенно захватывают те площади над глубоколежащей магмой, которые были заняты океанами; или, иными словами, океаническое дно должно оказаться лежащим на магме, которая, по всей вероятности, была перегрета под материками за продолжительный период теплового накопления. Эти условия, которые приводят как к быстрому ожижению и утонению океанического дна, так и к утечке подматериковой теплоты, возникают в результате воздействия на землю астрономических сил.

Теперь вернемся к циркуляционным движениям, возникающим в жидкой магме в период революции, и рассмотрим эти движения в связи с орогеническими явлениями, сопровождающими революции.

До сих пор мы рассматривали преимущественно тепловые изменения и вертикальные движения поверхности земли, сопровождающие эти тепловые изменения. Но вместе с вертикальными движениями земной поверхности начинают действовать некоторые горизонтальные силы, которые совместно с вертикальными движениями вызывают горообразовательные процессы на площадях, занятых сушей. Тут я позволю себе сделать некоторые замечания, касающиеся природы орогенических движений, особенно же — размеров действующих при этом сил.

По моему мнению, современные представления относительно механизма вздымания гор обычно переоценивают роль горизонтальных сил и недооценивают роль вертикальных сил. Недавно появившаяся статья высокоавторитетного знатока изостатической теории Боуи подчеркивает это обстоятельство.

Хорошо известно, что горы возникают в геосинклинальных областях. Какова, однако, природа этих областей? Это — вытянутые в длину корытообразные углубления, в которых осадки накапливаются на протяжении долгих периодов времени. Они, вообще говоря, тянутся параллельно морским побережьям. Это может зависеть от того, что положение их было predeterminedено ранее возникшими возвы-

шенностями — возможно, небольших размеров, — появившимися вдоль края материка в результате процесса, к которому я сейчас перейду, или, в более редких случаях, — от того, что осадки отлагались действительно в прибрежной зоне моря.

Осадки, накопившиеся в геосинклинали, могут иметь толщину в несколько километров и все еще продолжать накапливаться. Поэтому, подчиняясь изостазии, геосинклиналь погружается, и лежащая глубже материковая масса вдавливается в подстилающий раскаленный изостатический слой. Надо помнить, что в то время, как протекает этот процесс, и расширяются трансгрессионные моря, магма, плавясь, переходит в жидкое состояние и все более и более приближается по плотности к материковым породам. Отсюда следует, что когда в дальнейшем начинают действовать вдоль материкового края горизонтальные орогенические силы, они воздействуют на углубление (длиною, быть может, 1 600 км или более), нагруженное слабо сцементированными осадками, которые покоятся на раскаленной и сильно перегнутой части материковой коры. Силы эти не воздвигают гор, а главным образом вдавливают сжатые слои глубже в расплавленную магму. Действительно, всякий иной результат противоречил бы изостатическим условиям. В это-то время и происходит по большей части образование складок, надвигов и т. д. Горы же возникают гораздо позже: они поднимаются тогда, когда период жидкого состояния заканчивается и уступает место прогрессирующему отвердеванию. Плотность изостатической магмы тогда увеличивается. Компенсационные выступы оказываются слишком большими, и вся раздавленная масса вытесняется вверх. Это происходит при действии вертикальных, а не горизонтальных сил. Энергия исходит непосредственно от потенциальной энергии расширяющейся магмы, и ее происхождение можно, конечно, проследить до радиоактивной теплоты, накопившейся в давно минувшие века.

Итак, мы видим, что нам нет надобности прибегать к допущению колоссальных горизонтальных сил, способных поднять Гималаи или массив Монблана; мы должны скорее принять такие силы, которые способны вызвать сравнительно небольшие давления, необходимые для бокового сжатия нагретых материалов геосинклинали, когда эти материалы почти автоматически опускаются в нижележащую жидкую

магму. Именно таким представлением о генезисе гор должны мы руководствоваться, приступая к рассмотрению вопроса о происхождении орогенических сил.

Я коснулся уже мимоходом той горизонтальной приливной силы, о которой говорят нам астрономы. В период жидкого состояния изостатического слоя возникает океан глубиною, вероятно, не менее 110 км, а может быть гораздо более; океан этот отличается плотностью в 3 раза большею, чем плотность воды. Приливные движения, возникающие в этом океане, должны по всей энергии значительно превосходить такие же движения водного океана; они совершенно так же должны иметь замедляющее действие на движение земной поверхности с запада на восток и вызывать относительное движение внешней коры по внутренним частям земного шара.

Далее, нетрудно видеть, что, если горизонтальная приливообразующая сила, замедляя движение материков и океанического дна, не позволяет им двигаться с полной угловой скоростью земного шара, то магматический океан должен действовать на погруженные части материков силою, направленной на восток, так как низшие слои магмы должны, в силу их вязкости, в большей степени сохранять полную угловую скорость земного шара, чем верхние ее части. Таким путем должно возникать давление с запада на восток, исходящее от вращающейся земли и противодействующее силам притяжения луны и солнца.

Но это — не единственная сила астрономического происхождения, действующая таким образом. Швейдар нашел, что прецессионная сила действует на материки в том же направлении, что и приливообразующая сила, но с гораздо большей интенсивностью, чем последняя. Она достигает своего максимума на экваторе и равна нулю на  $36^\circ$  к северу и к югу от экватора.

Горизонтальное магматическое давление, созданное этими силами, может действовать лишь на западные опустившиеся побережья материков и на западную сторону погруженных вглубь „преград“. И на самом деле, великие лавовые излияния происходили преимущественно на западных сторонах материков или к западу от горных хребтов; примерами могут служить излияния Гебридских островов, Деккана, западной

части Северной Америки (многие из лавовых покровов расположены здесь между горными цепями). Существуют далее менее значительные излияния, как, например, излияния Диско к западу от гренландских хребтов; следует указать также вулканические явления и излияния вдоль великих меридиональных трещин, например трещин африканского материка.

Что касается орогенических результатов этих магматических давлений астрономического происхождения, то, как я уже сказал, мы должны иметь ввиду ту работу, которую должна совершить орогеническая сила. Однако до тех пор, пока не осуществлено математическое определение действия этих давлений (если такое определение вообще возможно на основе доступных нам данных), является, конечно, преждевременным обсуждать количественное значение этого действия; о нем можно лишь сказать, что оно гораздо значительнее действия приливных сил, ныне влияющих на земную поверхность и расходующих свою энергию в ограниченных сушей бассейнах. Далее несомненно, что в прошлом этот эффект увеличивался с уменьшением расстояния от луны согласно лунной теории, так как горизонтальная приливообразующая сила, зависящая от притяжения луны, возрастает обратно пропорционально шестой степени расстояния от земли до луны. К этому можно прибавить еще одно замечание: воздействие всей горизонтальной гравитационной силы на приливную выпуклость должно считаться сосредоточенным на ограниченных площадях тех преграждающих элементов, которые задерживают направленное на восток давление магмы.

Одна из выдающихся черт лика земли — Кордильеры Северной и Южной Америки, величественные по сравнению с орографическими чертами западного побережья Тихого океана — возникла, быть может, вследствие энергичного действия сил астрономического происхождения совместно с воздействием сил, о которых мы сейчас будем говорить.

Существуют и другие орогенические силы, представление о которых вытекает из современных взглядов и которые способны сыграть весьма крупную роль. Они возникают вследствие теплового расширения и последующего сжатия магматического океана при изменении его физического состояния.

Принимая среднее изменение объема магматического океана от всех причин равным приблизительно  $10\%$ , мы находим, что это обуславливает увеличение радиуса земли на  $10,5$  км при условии, что мощность изостатического слоя равна  $110$  км. Соответственно этому площадь поверхности земли возрастает на  $1\,700\,000$  км<sup>2</sup>. Практически все это увеличение приходится на долю океанов, так как материки были и остаются в общем неизменными. Отсюда мы выводим, что ширина Тихого океана по экватору должна увеличиться приблизительно на  $50$  км, а Атлантического — на  $18$  км. Увеличения эти не очень значительны, но возможно — а по мнению некоторых авторитетных ученых в высшей степени вероятно, — что изостатический слой имеет гораздо большую глубину, чем  $110$  км. Если же мы примем глубину этого слоя равной  $160$  км, то увеличение земной поверхности — выражаясь лишь приблизительно — должно пропорционально измениться.

Желательно составить некоторое понятие о толщине океанического дна, затронутого этими движениями. Дно это, как было сказано выше, есть поверхностный слой магмы, на котором непосредственно покоится океан и который отдает теплоту океану в продолжение долгого периода накопления теплоты. Его нижней границей может считаться та геоизотерма, которая соответствует приблизительно общей температуре плавления подстилающей магмы.

Задача определения его толщины — в первом приближении — подобна той проблеме, которая была изучена лордом ельвином при определении распределения температур внутри шара, застывающего из расплавленного состояния, при чем теплота передается теплопроводностью окружающей среде, температура которой постоянно поддерживается на одном уровне. Полученная Кельвином величина тепловой диффузивности\* не может быть использована, так как она

\* Тепловая диффузивность. Тепловая диффузивность есть теплопроводность ( $K$ , — см. стр. 61), деленная на теплоемкость единицы объема, т. е. на количество теплоты, выраженное в калориях, нужное для поднятия температуры  $1$  см<sup>3</sup> на один градус. Тепловая диффузивность, т. е.  $\frac{K}{C}$ , аналогична „коэффициенту диффузии“; последним пользуются в случаях вычислений, при которых приходится иметь дело с количеством растворенного вещества, проходящим в единицу времени через слой растворителя толщиной в одну единицу.

была взята для неподходящих пород. Затем часть данных, которые Кельвин стремился установить, теперь уже имеется. Средняя удельная теплота базальта между  $0^{\circ}$  и  $1\ 100^{\circ}$  известна из экспериментов Барюса (Barus). Колебания теплопроводности базальта при высоких температурах не известны. Дэйли утверждает, что она быстро уменьшается с повышением температуры. Пуль, оперируя с кристаллическими породами, нашел, что до  $600^{\circ}$  С она совершенно не изменяется. Если пренебречь изменением теплопроводности, изменение удельной теплоты само по себе уже влечет за собою значительное понижение величины тепловой диффузивности.

Если воспользоваться исправленным значением этой постоянной, то, как это получается в первом приближении, в 25 миллионов лет образуется кора толщиной около 32 км, в основании которой температура приближается к точке плавления базальта. Однако это — преувеличенная оценка, так как тут не принято в расчет влияние собственной внутренней радиоактивности остывающего слоя. Уменьшив соответственно с этим значение данной величины, находим, что толщина коры, образующейся в межреволюционное время, равна приблизительно 24 км. Эта кора и есть то, что я назвал океаническим дном; она отличается от нижележащей магмы, которая может быть и твердой, тем, что она обладает определенным градиентом температуры [106].

В продолжение периода рассеяния тепла океаническое дно подвергается действию подымающихся снизу горячих, а часто, без сомнения, и перегретых токов, и толщина его быстро уменьшается. Под совместным действием усилий, возникающих, с одной стороны, вследствие увеличения площади океана и, с другой стороны, вследствие вертикального перемещения материков, дно подвергается разрыву вдоль берегов. Возможно, что под влиянием упомянутых выше магматических течений такие разломы располагаются преимущественно на западных побережьях материков. Трещины быстро заполняются застывающим базальтом. Вполне вероятно, что положение гебридского лавового покрова было предопределено таким путем. Важно помнить, что в период плавления земная кора подвергается действию усилий, противодействующих расширению магмы. Магма, следовательно, находится в сжатом состоянии.

Борьба между океаническим дном и тепловыми силами, действующими снизу, может продолжаться в течение значительного периода, по всей вероятности от 5 до 10 миллионов лет. За этот долгий период вся скрытая теплота магмы (или ее большая часть) переходит в океан (температура которого никогда не повышается значительно), и застывание базальта распространяется снизу вверх по всему изостатическому слою. К концу периода океаническое дно утолщается и становится прочным.

Однако, как мы уже видели, изменение объема базальта имеет своим следствием понижение всей поверхности магмы и возвращение океанов к их первоначальным размерам. Увеличившееся океаническое дно, которое теперь втиснуто в рамки меньшей площади, должно со всех сторон напирать на материки. Поверхностная кора, которая прежде испытывала действие усилий растяжения, теперь подвергается сжатию.

Нам представляется несомненным, что это именно является источником тех сил, которые совершают большую часть тангенциальной орогенической работы. Эти силы действуют в течение периода, достаточного для рассеяния энергии и израсходования большей части усилий; и они, очевидно, в состоянии преодолеть всякие могущие возникнуть в исключительных случаях сопротивления. Возможно, что перегибы восточного и западного края дна Тихого океана являются остатками этих воздействий.

Деятельность всех этих факторов характеризуется повторяемостью; они действуют одним и тем же способом в следующие друг за другом революции. Так, хребты Скалистых гор (по подсчетам они представляют сокращение коры в 40 км) являются продуктами двух великих революций: Ларамийской и Каскадской.

Это представление о происхождении тангенциальных горообразовательных усилий напоминает нам многозначительные слова Дэна о том, что высочайшие горы стоят перед обширнейшими океанами. Вокруг Атлантического океана нигде нет таких гор, какие окаймляют Тихий океан. Тянущиеся с востока на запад хребты Евразии обрамляют полосу океана, обширнейшую на земном шаре.

В предшествующем изложении я лишь мимоходом коснулся вопроса об источнике тех нарушений земной коры,

которым подвергаются материки в межреволюционное время. Мне думается, что объяснение местных движений, хотя бы даже значительного масштаба — как, например, движения испытанные Северной Америкой в юрское и древне-меловое время или же те движения, которые следовали за Ларамийской революцией, — не встречает особенных затруднений. Первые, по-моему, нужно понимать как подготовительные, а вторые — как остаточные.

Подготовительный период должен быть свидетелем явлений местного расплавления изостатического слоя; несколько позже возможны явления, обуславливаемые перегревом. В результате должны иметь место движения коры и вулканические явления. При рассмотрении физических свойств пород по отношению к усилиям растяжения и скалывания трудно отделить вертикальные движения от горизонтальных. Дело в том, что эти усилия обуславливают образование трещин, а всегда присутствующий подматериковый слой расплавленной породы, находящейся под большим давлением, доставляет материал, который заполняет каждую трещину; таким образом, возвращение к первоначальным размерам оказывается невозможным. Итак, вертикальные колебательные движения становятся источником постоянных тангенциальных давлений.

Что же касается послереволюционного периода, то в течение него происходят рассеяние, или расходование накопившихся напряжений и восстановление изостатического равновесия. А эти напряжения представляют собою источник движения, который может сохранить свою силу на протяжении значительных периодов времени, так как он может исчерпаться лишь в движениях коры. Например, те отношения между краями материков и океаническим дном, о которых мы говорили выше, могут существовать в течение продолжительного времени, как бы выжидая — для израсходования обуславливаемых ими напряжений — результатов денудационного разрушения или денудационного накопления.

Предшествующие соображения дают, повидимому, объяснение весьма важному обстоятельству. Я имею ввиду количественное распределение суши и воды на земном шаре. Чем было predeterminedено современное соотношение между площадями суши и моря на поверхности земли? Не мог ли

бы океан быть глубже или мелководнее, а площадь суши соответственно обширнее или меньше? Иными словами, что предопределило среднюю глубину океана и среднюю толщину плавающей материковой коры? Простой ответ на этот вопрос дают, повидимому, температурные условия, которые, согласно вычислениям, должны господствовать в основании материковой коры в силу ее собственной внутренней радиоактивности. Легко показать, что в более толстых частях кислой коры, например в Тибетском плато, теплота должна утекать вниз, в магматический субстрат, а также вверх, к поверхности. Такие условия должны существовать во многих частях коры, где ее глубина достигает 35 км, если мы в соответствии с современными воззрениями примем, что она состоит преимущественно из гранита.

Во время продолжительного периода теплового накопления такие поступления теплоты сверху должны были сопровождаться перегревом поддерживающей магмы; а так как израсходование может иметь место лишь во время революции, то возможно местное расплавление самых материковых пород. Расплавленный таким образом материал может быть вытеснен либо вверх (образуя штоки или батолиты), либо в горизонтальном направлении. В первом случае, который, повидимому, особенно характерен для архейской коры, явление это не может прекратиться навсегда. Окончательное тепловое равновесие может быть достигнуто лишь при вытеснении расплавленного материала в горизонтальном направлении. Такой исход должен иметь место тогда, когда приливные силы, о которых мы говорили выше, передвигают всю земную кору. Тогда расплавленный кислый материал мигрирует из-под материкового слоя и увеличивает поверхностное протяжение последнего. Эти явления, значительно повлиявшие на древнюю тектонику земной коры, должны, естественно, обуславливать не только окончательную площадь суши, но и протяжение и глубину океана. В настоящее время эти факторы, вероятно, ограничивают высоту горных хребтов и великих плато. Ведь на самом деле, они определяют силу изостазии, как фактора, обуславливающего поддержание более крупных возвышенных элементов лика земли. Не могла бы быть устойчивой кора более толстая, чем та, на которую указывают сейсмические явления, если бы та-

кая кора и образовалась в прежние времена либо случайно, либо под действием поверхностных сил, возникающих вследствие вращения земли вокруг оси. Она должна была бы расстилаться по поверхности магмы до тех пор, пока не достигла бы теперешней толщины и площади.

То положение, что материки могли в течение геологического времени подвергаться передвижению, получает некоторое подтверждение со стороны предыдущей истории тектонических событий; в самом деле, мы видим, что на протяжении этой истории океаническое дно многократно подвергалась воздействию теплоты, стремящемуся уменьшить его толщину и твердость, а также знаем, что на материки продолжительно действовали магматические силы, направленные с запада на восток. Если бы в период революции прочность океанического дна настолько уменьшилась, что дно это не смогло бы противостоять действию этих сил, то, по всей вероятности, произошло бы движение материков в восточном направлении. Мы не можем учесть теперь интенсивность, достигаемую различными факторами; поэтому последнее слово относительно этой интересной теории мы должны предоставить доказательствам, происходящим из другого источника. Утвердительный ответ не был бы в противоречии с возможностями, проистекающими из излагаемых здесь воззрений.

Быть может, кто-либо скажет, что из указанных условий можно было бы вывести иные следствия, чем те, которые были обрисованы выше; что между поступлением и потерей теплоты могло установиться известного рода равновесие и что вместо циклических явлений, зависящих от радиоактивной энергии, мог существовать постоянный приток теплоты к поверхности. Однако при рассмотрении этого предполагаемого состояния равновесия возникают очень крупные затруднения. Вот, например, одно из этих затруднений. Если бы не было повторяющихся периодов утечки теплоты к поверхности, температура под материками, подымающаяся с до-кембрийского времени, должна была бы теперь превышать точку плавления материковых гранитов и гнейсов гораздо более чем на  $1000^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, невозможно объяснить геологическое прошлое земли без признания периодов жидкого состояния субстрата. По данному вопросу мы

можем обратиться к суду геологической истории, отнюдь не нарушая этим принципы логики. Теория равновесия, если бы даже было бы возможно создать такую теорию, была бы совершенно бессильна дать объяснение всей истории изменений земной поверхности.

Обрисованные выше циклические изменения вытекают вполне естественно, и, можно сказать, неизбежно из определенных условий, признанных некоторыми из наиболее выдающихся геологов; мало того, они удачно объясняют многие великие явления тектоники земного шара. В свете этих циклических изменений события прошлого перестают быть таинственными. Они оказываются обусловленными физическим строением земной поверхности.

---

# ПРИМЕЧАНИЯ

## Глава I

1. Day, Sosman and Hostetter, Amer. Journ. of Sc. Jan. 1914.
2. C. L. Baker. Journ. Geol., 31, 1923.
3. F. R. C. Reed, Geology of the British Empire, p. 351.
4. Daly, Igneous Rocks and their Origin, p. 164 и след.
5. Ibidem p. 174.
6. Ibidem p. 166.
7. Problems of American Geology, pp. 354 — 365.
8. Bull. Geol. Soc. of America, vol. XVIII, p. 406, 1907.
9. Bull. Geol. Soc. of America, vol. XXXIV, p. 338.
10. The Asiatic Arcs, Bull. Geol. Soc. America, vol. XXXIV, 1923.
11. Reed, Geology of the British Empire, p. 351.
12. Dana, Manual of Geology, 3-d ed., p. 32.
13. Washington, Bull. Geol. Soc. of America, vol. XXIII.
14. Цитировано Левинсон-Лессингом, Bull. Soc. Géol. de France, t. XXIII, 1923.
15. Daly, Igneous Rocks and their Origin, p. 361.
16. Ibidem, p. 229.
17. Ibidem, p. 377.

## Глава II

18. Желающим подробнее ознакомиться с этим предметом можно указать: O. Fischer, Physics of the Earth's Crust, p. 194 и след.
19. Suran, Grundzüge der physischen Erdkunde, 6. Ausg., S. 52. (Русский перевод: Зупаи, Основы физической географии, перевод под ред. Д. Н. Анучина, 1915.)
20. Finisches Geodötische Institut, Helsinki, 1924.
21. Nature, April 4. 1925.

## Глава III

22. The Physics of Earthquake Phenomena, 1908, chapt. XII.
23. Joly, Radioactivity and Geology, p. 56.
24. E. Tams, Centralbl. f. Min. u. Pal., 1921.
25. Nachr. d. kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1921.
26. The Origin of Continents and Oceans, p. 35. Русский перевод: „Возникновение материков и океанов“, Госиздат, М. 1925. (Ссылка относится к главе III.)

27. Ibidem.
28. Phil. Mag., June 1923.
29. On the Volume-change of Rocks and Minerals attending Fusion. Transact. R. Dub. Soc., vol. VI, 1897.
30. Vogt. Christiania Vid. Selsk. Skriften, 1904, p. 208; также Harker Natural History of Igneous Rocks, pp. 163—164.
31. Suran. Grundzüge d. phys. Erdkunde, p. 47. (Русский перевод см. примеч. 19.)
32. Willis and Salisbury, Outlines of Geologic History, Chicago Press, 1910, p. 265 и след.
33. Ibidem, p. 41 и след.
34. Ibidem, p. 44 и след.
35. Arldt, Handbuch der Palaeogeographie, 1919.
36. Trans. R. S., January 14, 1909; Nature, April 29, 1909.
37. См. 9. Darwin, Tides (русский перевод: Дарвин, Приливы, Госиздат 1923); также торжественную речь Эддингтона (Eddington), Nature, January 6, 1923.
38. Abstr. Proc. Geol. Soc. of London, June 15, 1920, p. 84.
39. Q. J. G. S. LXXXIX, 1923.
40. Phil. Mag., Jan. 1925.
41. См. Doelter, Handb. der min. Chemie, Bd I, 1912, S. 674; также Harker, Natural History of Igneous Rocks, Methuen, 1909, p. 163.
42. Sollas. Trans. R. I. A., XXI, 1891.
43. Fenner. Amer. Journ. of Sc. XXXVI. 331. 1913.
44. Amer. Journ of Sc., XXXVII, 1914.
45. Daly, Igneous Rocks, p. 202.

#### Глава IV

46. Fajans, Radioactivity. p. 13. (Русский перевод: Фаянс, Радиоактивность, перев. Э. В. Шпольского, Госиздат, 1922.)
47. Proc. R. S., 78 A.
48. Phys. Zeit., Februar 15, 1908.
49. J. H. J. Poole and J. Joly. Philos. Mag., November 1924.
50. Ibidem.
51. Strutt. Proc. R. S., 77 A and 78 A.
52. Joly. Phil. Mag., May 1909.
53. H. H. Poole. Phil. Mag., Jan. 1914.
54. Strutt. Proc. R. S., 77 A and 78 A.
55. Cotter. Phil. Mag., September 1924.
56. Quirke and Finkelstein. Amer. J. of. Sc., September 1917 (см. также статью автора настоящей книги в Phil. Mag., July 1909.)
57. См. Joly. Phil. Mag., October 1912; также статьи J. H. J. Poole and A. L. Fletcher в том же журнале.

#### Глава V

58. U. S. Geol. Survey. Bull. 631, p. 126 и след.

*Глава VI*

59. Christiania Vid. Selsk. Skriften, 1904, p. 54 и след.  
 60. Phil. Mag., September 1924.

*Глава VII*

61. Jeffreys Phil. Mag., December 1916.  
 62. Keith, Outlines of Appalachian Structure. Bull. Geol. Soc. of America, vol XXXIV, part 2, 1923.  
 63. Daly, Igneous Rocks, стр. 86.  
 64. Chamberlin und Salisbury, Geology, 1906, III, 163.  
 65. Schuchert Geology. См. также Bull. Geol. Soc. of America, vol XXXIV, part 2, 1923, где помещено написанное тем же автором описание истории северо-американских геосинклиналей.  
 66. Douglas Q. J. G. S. 56, 1920, p. 1.  
 67. Lindgren, The Igneous Geology of the Cordilleras and its Problems. Problems of American Geology, 1915, p. 273 и след.

*Глава VIII.*

68. Chamberlin und Salisbury, Geology, p. 142.  
 69. Sonder, Die erdgeschichtlichen Diastrophismen im Lichte der Kontraktionslehre. Geol Rundschau, XIII, 1922.  
 70. Marr, Geology, 149.  
 71. Haug, Traite de geologie, 1921, vol. I, p. 527 и след.  
 72. De Lapparent. Ibid., 4-me ed., 1900, III, p. 1864.  
 73. Chamberlin and Salisbury, Geology.  
 74. Reed's Geology of the British Empire, p. 288.  
 75. Reed, loc. cit.  
 76. Chamberlin und Salisbury, loc. cit., III, 155.  
 77. Ibid. 158, 213.

*Глава IX*

78. Joly. Trans R. D. S. 1899.  
 79. Fajans, Radioactivity, 1922, 49.  
 80. Joly, Philos. Mag., March 1907.  
 81. Joly, The Genesis of Pleochroic Haloes. Philos. Trans R. S. 217, pp. 77 — 78, 1916; также — The Age of the Earth, Nature, Jan. 15, 1922.  
 82. Gudden. Zeitschrift für Physik, Aug 1924, S. 110.  
 83. Rutherford, Radioactive Substances and their Transformations, pp. 447 и 607.  
 84. Joly, Pleochroic haloes of Various Geological Ages. Proc. R. S. vol CII. 1923, 694.  
 85. Ellsworth. Amer. Journ of Sc., Febr. 1925.  
 86. Schuchert. Bull. Geol. Soc. Am., vol. XX, 1910.  
 87. Sollas, The Age of the Earth, Fisher Unwin 1905: Joly, The Birth-time of the World, Fisher Unwin, p. 1 и след.

88. Radioactivity and Geology, Constable, p. 245.  
 89. Geol. Mag., vol VII, May 1900, p. 220. and August 1901, p. 244; также Report Brit. Assoc., 1900.  
 90. Sollas. Presidential Address to the Geol. Soc., vol. LXV, May 1909, p. CXII.  
 91. Sollas, The Age of the Earth, Unwin, 1905.

### Глава X

92. Jeans, The Nebular Hypothesis and Modern Cosmogony, the Halley Lecture, 1922.  
 93. Darwin, The Tides, 254 и след.  
 94. Joly, The Radioactivity of the Rocks. Trans. Chem. Soc. 1924.  
 95. Daly, Amer. Journ. of Sc., February 1916, p. 161.  
 96. Schuchert. Rep. Smithsonian Inst., 1914.  
 97. Ramsay. Geol. Mag., 61, 1924.  
 98. Haug, Traité de géologie, I, p. 501.  
 99. Joly, The Abundance of Life. Proc. Roy. Dublin Soc., VII, 1890.

### Приложения

100. Darwin, The Tides, p. 276.  
 101. Eddington. Nature, January 6, 1923.  
 102. Schweydar. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1921, S. 120 — 125.  
 103. См. также: Wegener Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Berlin, 1922.  
 104. Phil. Mag., June 1923.  
 105. Gregory, The Rift Valleys and Geology of East Africa, p. 374, Seely, Service and Co.  
 106. См. Phil. Mag., vol. XIV, June 1923, p. 1175.
-

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА—ЛЕНИНГРАД

---

А. ВЕГЕНЕР

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МАТЕРИКОВ  
И ОКЕАНОВ

Перев. с третьего, соверш. перераб. изд. М. Мирчинк

Под ред. Г. Ф. Мирчинк

(Современные проблемы естествознания)

Стр. 145.

Ц. 1 р. 25 к.

---

ЭД. ПЕРРЬЕ

ЗЕМЛЯ ДОИСТОРИЧЕСКОГО  
ВРЕМЕНИ

Перев. и дополи. проф. М. А. Мензбира

Стр. 320.

Ц. 2 р. 70 к.

---

Проф. В. А. ОБРУЧЕВ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР  
СИБИРИ

Стр. 360.

Ц. 5 р., в кол. пер. 5 р. 75 к.

---

ПРОДАЖА ВО ВСЕХ МАГАЗИНАХ И ОТДЕЛЕНИЯХ ГОСИЗДАТА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

---

П. П. ЛАЗАРЕВ

## УСПЕХИ ГЕОФИЗИКИ

(„Новейшие течения научной мысли, книга 17)

Стр. 83.

Ц. в/п. 1 р.

---

# НАУКА XX ВЕКА

## Ф И З И К А

### КНИГА I

**И. Е. Тамм.** Введение. **А. И. Рабинович.** Реальное существование атомов и молекул. **С. И. Вавилов.** Электрон. **И. Е. Тамм.** Электронная теория металлов. **Э. В. Шпольский.** Радиоактивность. **Э. В. Шпольский.** Строение атома. **С. Т. Конобеевский.** Рентгеновские лучи и строение кристаллов.

Стр. 192.

Ц. в/п 2 р. 20 к.

### КНИГА II

**И. Е. Тамм.** Введение. **И. Е. Тамм.** Учение о свете. **С. И. Вавилов.** Спектроскопия, ее задачи, методы и результаты. **Г. С. Ландсберг.** Гипотеза световых квантов. **Г. С. Ландсберг.** Теория атома. **Б. А. Введенский.** Магнетизм.

Стр. 215.

Ц. в/п. 2 р. 40 к.

---

ПРОДАЖА ВО ВСЕХ МАГАЗИНАХ И ОТДЕЛЕНИЯХ ГОСИЗДАТА

# ОРО-БАТИГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА ЗЕМНОГО ШАРА



Свыше 1829 м.  
 От 915 до 1829 м.  
 От уровня океана до 915 м.

От уровня океана до 183 м.  
 От 183 до 3659 м.  
 От 3659 до 5487 м.  
 От 5487 до 7317 м.  
 Глубже 7317 м.

Красным цветом обозначены области современной и верхнетретичной вулканической деятельности.