

У Кэри

В ПОИСКАХ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
РАЗВИТИЯ  
ЗЕМЛИ  
И  
ВСЕЛЕННОЙ



Издательство «Мир»

**THEORIES OF THE  
EARTH AND UNIVERSE**

**A History of Dogma in the Earth Science**

**S. WARREN CAREY**

Stanford University Press  
Stanford, California

У. Кэри

**В ПОИСКАХ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
РАЗВИТИЯ  
ЗЕМЛИ  
И  
ВСЕЛЕННОЙ**

**История догм в науках о Земле**

**Перевод с английского**

**канд. геол.-мин. наук Б. А. БОРИСОВА, Н. И. КУТУЗОВОЙ  
и канд. геол.-мин. наук М. П. АНТИПОВА**

**под редакцией**

**чл.-корр. АН СССР Е. Е. МИЛАНОВСКОГО**



**МОСКВА «МИР» 1991**

ББК 26.323

К98

УДК 551

**Кэри У.**

**К98** В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной: История догм в науках о Земле: Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. — 447 с., ил.

ISBN 5-03-001826-3

Книга известного австралийского геолога подводит итог многолетних творческих исканий автора и содержит его научное кредо — описание концепции расширения Земли. Это глубокий по содержанию научный труд, охватывающий широкий круг важнейших проблем геологии, но написанный в популярной форме. Рассматривая в исторической ретроспективе развитие взглядов на природу Земли и устройство мира, автор подчеркивает их многократные изменения и несомненность смены научных теорий в будущем.

Для специалистов в разных областях геологии и всех интересующихся важнейшими вопросами естественных наук и судьбами научных теорий.

$\frac{1804010000-064}{\text{К} 041(01)-91}$  73—91

**ББК 26.323**

*Редакция литературы по геологии и геофизике*

ISBN 5-03-001826-3 (русск.)

ISBN 0-8047-1364-2 (англ.)

© 1988 by the Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University

© перевод на русский язык, Борисов Б. А., Кутузова Н. И., Антипов М. П., 1991

## Предисловие редактора перевода

Предлагаемая вниманию советских читателей книга, принадлежащая перу одного из крупнейших современных зарубежных геологов — почетного профессора Тасманского университета в Австралии Сэмюэла Уоррена Кэри, вряд ли оставит их равнодушными. Одних она увлечет высказанными в ней оригинальными идеями, других заставит задуматься, а со стороны третьих, вероятно, встретит активное неприятие. Написанная в необычной для научного произведения манере, острополюемическая по форме изложения, охватывающая широкий круг важнейших проблем геологии, она подводит итог шестидесятилетних творческих исканий автора и содержит его научное кредо — изложение и обоснование концепции расширения Земли. Таким образом, эта книга — прежде всего глубокий по содержанию научный труд, хотя и написанный в популярной форме и рассчитанный как на специалистов в разных областях геологии, так и на самый широкий круг людей, интересующихся кардинальными вопросами естественных наук и судьбами научных теорий. С целью облегчить этой категории читателей восприятие содержания книги автор снабдил ее толковым словариком используемых в ней геологических и некоторых иных естественнонаучных терминов и освободил от обычного для научных произведений справочного аппарата — списка литературы и подстрочных ссылок на цитируемые работы. Язык книги образен и метафоричен.

Вместе с тем книга Кэри содержит и блестящий исторический очерк, в котором прослеживаются зарождение, развитие и борьба основных идей, относящихся к эволюции Земли, начиная от мифологических представлений первобытных народов и взглядов античных мыслителей и кончая научными концепциями, конкурирующими в современной геологии. При этом Кэри всецело разделяет взгляды известного науковедателя Т. Куна о научных революциях и свойственных им сменах научных парадигм. При рассмотрении автором судьбы различных научных идей красной нитью в книге проходит одна мысль. Новые идеи и концепции, рождаясь, развиваясь и наконец побеждая в борьбе с господствующими и канонизированными взглядами в революционные эпохи истории той или иной науки, первоначально являются прогрессивными, поскольку оказываются способными с иных, альтернативных позиций более успешно и полно объяснить установленные наукой эмпирические факты и природные

закономерности и обладают большими прогностическими возможностями. Однако в дальнейшем, по мере того как новые концепции привлекают на свою сторону большинство ученых и занимают доминирующее положение, они, как правило, в свою очередь приобретают догматический характер и, претендуя на истинность своих постулатов и универсальность выводов, сами постепенно превращаются из фактора, стимулирующего развитие науки, в тормоз научного прогресса. В конце концов после ожесточенной борьбы они уступают поле боя еще более новым и прогрессивным системам представлений, в свою очередь отвергающим или иначе интерпретирующим многие положения предшествующих научных концепций.

В изложение развития и борьбы научных идей во многих главах книги естественно вплетены воспоминания автора о некоторых вехах и перипетиях его творческого пути в ходе поисков глобальных закономерностей, определяющих движения земной коры, важнейшие черты ее тектонического строения и рельефа. Этот путь вначале, в эпоху почти полного господства фиксистских представлений о ведущей роли вертикальных движений земной коры в тектонической жизни нашей планеты, привел Кэри к поддержке идей мобилизма в духе Вегенера и Дю Тойта, а затем, когда во второй половине XX в. эти идеи вновь стали доминирующими и привели к формированию концепции неомобилизма, или тектоники литосферных плит, — к отказу от нее, поскольку автор убедился в невозможности в рамках догматических представлений о неизменности размеров Земли наметить достоверную и логически непротиворечивую картину взаимных перемещений континентальных масс и развития океанов (в особенности Тихого океана). В итоге автор, как и ряд исследователей в Советском Союзе и некоторых других странах, пришел к признанию научной концепции расширения Земли, наиболее естественно, по его мнению, объясняющей основные черты строения и эволюции нашей планеты.

Хотя зачатки этой научной идеи появились еще во второй половине XIX в. в работах А. Дрейсона, У. Л. Грина, наших соотечественников Е. В. Быханова, И. О. Яркового, а в нашем веке в пользу концепции расширения Земли высказывались многие исследователи в разных странах, в том числе в СССР\*, и она постепенно приобретает все больше сторонников,

---

\* Наиболее полное представление о взглядах советских и зарубежных ученых, придерживающихся этой концепции, читатель может найти в сборнике материалов Всесоюзной конференции, состоявшейся в 1981 г. в Москве («Проблемы расширения и пульсаций Земли». — М.: Наука, 1984), и в материалах Международного симпозиума «Расширяющаяся Земля», состоявшегося в 1981 г. в Сиднее («The Expanding Earth. a Symposium», Sydney, 1981. University of Tasmania).

но несомненно, что наиболее полное обоснование и разработку эта концепция получила в многочисленных работах Кэри, опубликованных на протяжении последних 35 лет, в том числе в его известном труде «Расширяющаяся Земля»\*, а также в настоящей монографии.

Как показал в этой книге Кэри, после эпохи разочарования в мобилистских идеях Вегенера в 50—60-х годах под влиянием успехов в исследованиях океанического дна, палеомагнетизма, глубинного строения земной коры и верхней мантии последовали возрождение идеи перемещений материков и формирование современной неомобилистской концепции — тектоники литосферных плит. Это была настоящая научная революция. Она заставила многих, а за рубежом — даже подавляющее большинство геологов, отойти от казавшихся в середине нашего века надежных установленных фиксистских представлений и привела к установлению новой парадигмы в геологической науке. Важнейшим положением этой концепции, имеющим непреходящее значение, Кэри считает идею о раздвижении континентальных блоков и зарождении между ними и последующем раскрытии областей с океанической корой в результате спрединга. Вместе с тем в дальнейшем концепция неомобилизма (в форме тектоники плит) сама стала превращаться в догму, неспособную объяснить многие факты и сковывающую дальнейшее развитие наук о Земле. Одним из главных заблуждений концепции тектоники плит, по мнению Кэри, является ложное представление о субдукции как исключительно универсальном процессе, якобы в основном компенсирующем эффект спрединга на Земле неизменных размеров («миф о субдукции»). Сейсмофокальные зоны, или зоны Бенъоффа, Кэри считает не зонами поддвига океанической литосферы Тихого океана, а напротив, результатом асимметричного разрастания кверху мантийных диапиров на восточной периферии Азиатского континента и их активного надвигания на литосферу Тихого океана. Столь же несостоятельно, по мнению Кэри, и представление о существовании в мезозое огромного, раскрывающегося в восточном направлении на многие тысячи километров океанического пространства («зияния») в поясе Тетис между материковыми массивами Евразии и Гондваны. Этот пояс на всем своем протяжении был гораздо более узким.

Эти критические высказывания в отношении концепции тектоники плит представляются достаточно правомерными. Значительно менее убедительны и уязвимы, как мне кажется, попытки Кэри истолковать происхождение сложной складчатонадвиговой структуры орогенов исключительно как результат

\* S. W. Carey. The expanding Earth. Amsterdam, Elsevier, 1976.

глубинного диапиризма и гравитационного расползания поднимающихся горных сооружений при отсутствии их горизонтального сжатия и даже, напротив, при некотором их расширении. Последнее, согласно Кэри, есть проявление общего расширения земных недр и растяжения поверхности, которое происходило на протяжении всей истории Земли, но начало резко усиливаться в мезозое и достигло максимума в кайнозое. Думается, однако, что более естественное объяснение генезиса тектонических областей складчато-покровного строения, а также глобальной периодичности эпох их формирования дает не чисто экспансионная концепция, которой придерживается Кэри, а представление о пульсациях Земли, осложняющих направленный, хотя и неравномерный во времени и пространстве процесс ее общего расширения. Заметим, что автор знаком с пульсационной концепцией, но принимает ее лишь как неравномерность процесса расширения Земли во времени.

В своей книге Кэри намечает общую картину расширения Земли в мезозое и кайнозое, проявляющуюся на ее поверхности в расхождении континентов и образовании между ними океанских впадин (в том числе и впадины Тихого океана, в основном образовавшейся, по его мнению, в результате возникновения новой океанической коры в мезозое и кайнозое, а не древней и лишь обновленной в это время, как считает большинство исследователей). Кэри справедливо подчеркивает, что континентальные блоки должны перемещаться друг относительно друга не в виде весьма тонких литосферных плит, скользящих по астеносферному слою, как это предполагается в плитотектонических моделях, а в виде более толстых блоков, включающих и верхнюю часть мантии, к которой они «приварены» (что согласуется с новейшими данными сейсмической томографии). Большую роль в геодинамике автор придает глобальным зонам кручения, в частности левосторонней приэкваториальной Тетической зоне, в которой осуществляются крупномасштабные сдвиги между блоками литосферы.

Менее убедительными кажутся представления о сопряженной с ней (поперечной к ней) Циркумтихоокеанской зоне кручения, которой на всем ее протяжении автор приписывает праводвиговый характер, и в особенности о более древних аналогах этих зон в глобальной структуре Земли.

В заключительной части книги автор анализирует возможные причины расширения Земли. Следует отметить, что в предшествующих своих работах (до середины 70-х годов), рассматривая вывод о расширении Земли как эмпирически установленную закономерность ее развития, на вопрос о причинах расширения Кэри отвечал: «Не знаю». В дальнейшем, однако, он склонился к мысли о том, что увеличение объема Земли проис-



ходит одновременно с ростом ее массы и представляет собой одно из выражений универсального космологического процесса расширения Вселенной. При этом автор отвергает принимаемую многими современными физиками за догму концепцию Большого Взрыва как начала существования Вселенной (заметим, что в последнее время она подвергается все усиливающейся критике!), предполагая бесконечность и вечность космоса, разрастающегося в ходе постоянного приращения массы и энергии.

Дискуссионность этих представлений, разделяемых и некоторыми советскими учеными — сторонниками расширения Земли, на которых ссылается автор, очевидна. На наш взгляд, более вероятно предполагать, что явления расширения могут быть связаны скорее с особенностями внутреннего развития отдельных планетных тел Солнечной системы (Земли, Марса, некоторых спутников Юпитера), поскольку его явные признаки установлены далеко не на всех планетных телах и притом проявляются в существенно разных масштабах. Однако спорность предположений Кэри о возможных причинах расширения Земли, неизбежная на современной стадии ее геологического и геофизического изучения, не снижает ценности его оригинальной по содержанию, богатой мыслями и написанной в острополемиическом стиле книги. Размышления по поводу рассматриваемых им дискуссионных проблем тектонического строения и развития нашей планеты принесут несомненную пользу советским читателям. Заметим, кстати, что в отличие от большинства зарубежных ученых У. Кэри знаком с многими работами русских и советских специалистов, объективно излагает их точки зрения и отмечает приоритет некоторых из них (и прежде всего И. О. Яковского) в формировании концепции расширения Земли и разработке связанных с ней вопросов.

В заключение следует заметить, что если оценивать концепцию расширения Земли в том ее варианте, в каком она представлена в книге Кэри, с тех же позиций науковедения, с каких он судит о судьбах предшествовавших теорий в науках о Земле, в том числе о доминирующей ныне среди геологов концепции тектоники литосферных плит, то можно высказать предположение, что, несмотря на привлекательность и вероятность ряда ее положений как альтернативы тектоники плит, ей самой вряд ли удастся избежать судьбы ее предшественниц. Если даже она и приобретет на какое-то время ведущее положение в геологической науке, ей также, вероятно, будет грозить превращение в догму, и если она не воспримет и органически не включит в себя некоторые положительные элементы других тектонических концепций, то будет вынуждена под давлением фактов, не получающих в ней удовлетворительного объяснения, уступить дорогу иным системам представлений, бо-

лсе приближающим нас к познанию объективных закономерностей развития Земли. Подобная опасность превращения в догму угрожает в настоящее время наиболее ортодоксальному варианту учения о тектонике литосферных плит, и, ощущая ее, наиболее дальновидные сторонники этой концепции, например акад. В. Е. Ханн, стремятся серьезно модифицировать ее таким образом, чтобы отказаться от некоторых ее важных постулатов — краеугольных камней тектоники плит. К ним относятся догмы о неизменности размеров Земли на протяжении геологической истории (заменить которую предлагается представлением о ее периодических пульсациях, объясняющих цикличность и ритмичность в течении тектонических и других геологических процессов), о существовании единой, обволакивающей всю Землю, неглубоко залегающей пластичной оболочки — астеносферы, по которой повсеместно скользят очень тонкие литосферные плиты, о процессе субдукции как главном универсальном эффекте коллизии литосферных плит, о возможности распространения механизма плитотектоники чуть ли не на всю историю Земли и т. д. В подобного же рода дополнениях и коррективах, как мне кажется, нуждается и концепция расширения Земли, коль скоро она претендует на роль ведущего направления в геологической науке (а не выражает взгляды небольшой секты единомышленников). В частности, как уже говорилось, эту концепцию существенно укрепило бы принятие идеи геопульсаций.

Перевод книги Кэри представил известные трудности в связи со свособразием авторской манеры изложения и не всегда достаточной точностью формулировок и определений используемых понятий, что относится как к основному тексту, так и к словарю в конце книги. В связи с этим в текст кое-где пришлось внести некоторые несущественные уточнения и исправления или сопроводить его отдельными подстрочными примечаниями.

Предисловие автора, главы 1, 2, 7—12, 23, 24 и эпилог перевел Б. Борисов, главы 3—6, 13—20 и словарь терминов перевела Н. Кутузова, главы 21, 22 перевел М. Антипов.

*Е. Милановский*

## Предисловие

Семя, из которого выросла эта книга, было брошено одним моим итальянским коллегой, выразившим пожелание, чтобы я проследил эволюцию человеческих представлений о Земле и Вселенной от каменного века до эпохи Эйнштейна и далее, чтобы книга эта была понятна любому образованному читателю, а не предназначалась только узким специалистам и чтобы стиль ее был автобиографическим, т. е. чтобы я описал с самого начала формирование моих собственных неортодоксальных воззрений на развитие Земли и Вселенной.

Мне было несложно оценить и описать представления, характерные для каменного века, так как в начале 1930-х годов судьба забросила меня, совершенно одного, в дебри Новой Гвинеи. Я оказался среди первобытных людей, чья неолитическая культура не продвинулась дальше уровня наших предков, живших за тысячелетия до Ура\* и Вавилона.

Рассказ о развитии моих взглядов очень похож на историю «Фауста» Гете. В двадцатилетнем возрасте Гете проникся сказаниями о докторе Фаусте и, к возмущению европейских книголюбцев, впел в красочное полотно средневековых легенд новый любовный сюжет, сотканный из трепетных нитей его собственных переживаний и страстей. В последующие полвека он возвращался к этому произведению снова и снова, по мере того как развивались его философские воззрения. Подобным же образом истоки моей книги возникли, когда я прочитал и всей душой принял трактат Вегенера — сразу же после его гибели в снежных буранах Гренландии. Я вытянул из ткани вегенеровского мировоззрения много разных нитей и соткал из них новое полотно, причем кульминацией этой работы стала моя докторская диссертация, написанная в 1936 г., когда я впервые поднял на мачте свой собственный флаг. За последующие пятьдесят лет «основа» моей ткани не изменилась, но все эти годы я перedelывал «утóк», укрепляя слабые места. Каждый раз, когда мне приходилось выступать с президентскими речами, юбилейными лекциями, вводными докладами на семинарах и съездах, в новых книгах, я вносил что-нибудь новое. Как и в случае с гетевским «Фаустом», каждая новая версия выростала непосредственно из предыдущих. Поэтому мне хотелось бы здесь кратко

---

\* Ур — город-государство в Шумере (Месопотамия), основанный в пятом и процветавший в третьем тысячелетии до н. э. — *Прим. перев.*

вспомнить некоторые поворотные пункты на моем долгом пути, итогом которого на сегодняшний день стала эта книга.

Некоторые мои авангардные идеи впервые были высказаны в упомянутой докторской диссертации, в том числе идея о тысячкилометровых мегасдвигах, абсолютно еретическая в то время (однако она помогла распознать кручение зоны Тетис, описанное в гл. 21 этой книги), представления о ромбоазах (по сути дела эта идея лишь перефразирует гипотезу Вегенера) и ороклинах (выраженные мягко, очень мягко — чтобы оппоненты не потеряли терпения от моих ересей).

После второй мировой войны новогвинейский период моей жизни закончился. Мой дебют в качестве главного государственного геолога штата Тасмания ознаменовался в 1945 г. первой речью перед Королевским обществом Тасмании, в которой я изложил свое кредо. Это побудило профессора физики Университета Тасмании пригласить профессоров математики, химии, биологии и инженерного дела, а также научного советника (при правительстве штата. — *Перев.*) по программе высшей школы и директора Музея Тасмании на встречу со мной в его доме, где все они учинили мне форменный сократический допрос\*, длившийся целый день. С этим во многом было связано решение об открытии в Университете Тасмании геологического факультета и затем об утверждении — после соответствующего публичного оповещения — моей кандидатуры на должность профессора этого нового факультета.

Двумя десятилетиями раньше, в 1926 г., Американская ассоциация геологов-нефтяников провела в Нью-Йорке симпозиум, посвященный дрейфу континентов, и на нем был достигнут консенсус, объявляющий этот дрейф физически невозможным. Поэтому в первые годы своей преподавательской деятельности я много размышлял о физике течения кристаллического вещества ледников, каменной соли и пород земной коры, о силах, имеющих в Земле и способных заставить горные породы течь, и о влиянии размера тел и фактора времени на эти процессы. Следствиями подобных раздумий явились идеи о роли реологии, масштабах геотектонических процессов, о механике течения ледников и основных принципах складкообразования. Постепенно эти представления стали основой моих развивающихся философских воззрений в отношении глобальной тектоники и выудили меня отказаться от общепринятых канонов контракционной тектоники. Изложение всех этих мыслей составляет содержание глав 15—19 книги.

Тем временем я начал контратаку на аргументы, выдвинутые

---

\* Метод Сократа (майевтика) — способ извлекать скрытое в человеке знание с помощью искусных наводящих вопросов. — *Прим. перев.*

против вегенеровской теории дрейфа континентов, и прежде всего — на давнее утверждение сэра Гарольда Джеффриса, признанного вождя современной геофизики, о том, что идея о подобии берегов Южной Атлантики, послужившая источником гипотезы о континентальном дрейфе, ошибочна и на деле никакого совпадения нет. Все поверили Джеффрису, но я знал, что он неправ, и мог это доказать. В 1953 г., когда д-р Дж. М. Лис, мой бывший начальник по Англо-Иранской нефтяной компании и тогдашний президент Лондонского геологического общества, повторил утверждение Джеффриса в своей президентской речи, я выступил с возражением. Лис увидел публикацию моих контрдоводов, и в результате этот аргумент против континентального дрейфа больше никогда не приводился. Данный вопрос рассматривается в гл. 8.

Затем я обратился к возражению Джеффриса о невозможности движения материков по поверхности земного шара с точки зрения физики. В том же 1953 г. я послал в «Journal of Geophysical Research» статью, где предлагал по существу тот же самый механизм, который через два десятка лет был принят в теории «новой глобальной тектоники». Под влиянием господствовавшей тогда догмы, объявлявшей теорию Вегенера фантазией, моя статья была отвергнута рецензентами как наивная.

Еще в середине 1930-х годов я пришел к выводу, что если Вегенер прав, то все горные пояса, активно формировавшиеся в процессе вегенеровского движения материков, должны быть растянуты или изогнуты, и тем самым в них должен проявиться характер этого движения; я понимал также, что эта идея чересчур экзотична, чтобы рассчитывать на ее признание в то время. Однако к началу 1950-х годов я почувствовал, что время для наступления пришло, и представил на обсуждение в Геологическое общество Австралии свою концепцию ороклинов. Трое рецензентов — в то время самые видные в Австралии геологи — отвергли ее, но Королевское общество Тасмании опубликовало ее по моей просьбе в 1955 г. Конечно, теперь-то всем известно, что эта теория верна, поскольку все предсказанные мной повороты подтвердились с тех пор в результате палеомагнитных измерений (о которых говорится в гл. 9).

Следующей вехой был Международный симпозиум по континентальному дрейфу, который я проводил в Хобарте в начале 1956 г. Во время этого симпозиума я впервые ясно осознал, что вегенеровская модель невозможна без значительного расширения Земли. На симпозиуме я доказывал и пояснял рисунками процесс разделения материков рифтовыми долинами, которые постепенно расширялись и превращались в океаны, причем раскалывание происходило путем внедрения парных «ломтей» мантйных пород, т. е. в результате того процесса, который через

два десятилетия стал красугольным камнем «новой глобальной тектоники». Труды симпозиума перепечатывались дважды, но затем я посчитал их устаревшими и отказался от дальнейшего переиздания. Теперь эта книга стала классической, и мне настоятельно советуют переиздать ее снова.

Честер Лонгвелл, в ту пору декан геологического факультета Пельского университета\*, присутствовавший на нашем симпозиуме как почетный гость, попросил меня приехать к ним на год в качестве приглашенного профессора, но я смог воспользоваться его приглашением только в 1959 г. С этого началась моя тесная дружба с Гарри Хессом из Принстона, я много путешествовал по Северной Америке с проповедью идей мобилизма, что описано в гл. 9.

Вслед за тем с успехом прошла серия моих лекций на разные темы. Мои новые идеи о складкообразовании (гл. 16) послужили темой моей юбилейной речи на заседании Ассоциации геологов-нефтяников Альберты, с которой я выступил в Калгари в 1960 г. Обзор, касающийся масштабов тектонических явлений (гл. 15), был уже мною подготовлен, когда Геологическое общество Индии попросило меня написать большую статью для своего нового журнала. Вопросам асимметрии Земли был посвящен мой президентский доклад на геологической секции Австрало-Новозеландской ассоциации за прогресс науки (ANZAAS) в 1962 г. Похожие на камбисвые годовичные кольца полосы роста, параллельные срединно-океаническим разрастающимся хребтам, были стержнем моего доклада на Холлендовских мемориальных чтениях в Калькутте в 1964 г. На чтениях памяти Стэнли в Пауа в 1966 г. я выступил с лекцией «Ортодоксия, ересь и открытия», которая содержала материал, использованный в гл. 23. Предсказание будущих открытий было темой моего специального выступления на годовичном собрании Королевского австрало-азиатского медицинского колледжа в Хобарте в 1967 г., а позже в том же году в своем обращении к Королевскому обществу Нового Южного Уэльса на мемориальных чтениях памяти Кларка я сосредоточил внимание на эволюции юго-западной части Тихого океана. Свое президентское выступление в ANZAAS (Порт-Морсби, 1970 г.) я посвятил развитию моей теории расширения Земли: центр максимального расхождения материков у меня оказался около Фолклендских островов, а центр минимального расхождения — в Восточной Сибири (гл. 21).

В начале 1970-х годов в сотрудничестве с издательством научной литературы «Эльзевир» в Амстердаме я начал связывать все эти нити воедино: в 1975 г. я опубликовал в журнале «Earth

\* В Нью-Хейвене, шт. Коннектикут, США. — Прим. перев.

Science Reviews» обзор на 38 страницах, а в 1976 г. — объемистую книгу «Расширяющаяся Земля», в которую были включены и мои основные работы по структурной геологии и по тектонике вообще. Кроме того, я рассматривал Землю как планету, испытывающую и дифференциальные перемещения внутренних частей, и динамические взаимодействия с Солнцем и Луной.

К этому времени глобально-тектоническая революция в Северной Америке уже разбила всю оппозицию, противостоявшую идее о сильном расхождении материков, и подошла к тому, чему я учил своих студентов уже в начале 1950-х годов. Но меня возмущало, что «новая глобальная тектоника» остановилась на полпути. Хотя быстрое наращивание новой океанической коры было очевидно для всех, по-прежнему считалось аксиомой, что размеры Земли всегда оставались в общем постоянными. Поэтому приходилось возвращаться к механизму, который я принимал в 1930—40-е годы; к поглощению больших блоков коры, опускающейся в глубоководных желобах. Однако после 20 лет работы над этой тематикой я пришел в 1956 г. к выводу, что такой механизм не может действовать в глобальном масштабе. Вот почему в своей вышедшей в «Эльзевире» книге я имел намерение развеять миф о субдукции (см. гл. 12 и 13 этой книги).

Одновременно моими мыслями начало овладевать другое фундаментальное направление. Мы все считаем, что законы природы универсальны — только так и не иначе. Другими словами, любые явления, с которыми мы встречаемся на Земле, должны быть совместимы с подобными явлениями во всей Вселенной. Я пришел к выводу, что не только объем Земли значительно увеличился, но и что ее масса возросла. А как же Луна, другие планеты, Солнце и другие звезды, Галактика и вообще вся Вселенная?

В своей эльзевировской книге я поднял эти, как я считаю, главные вопросы и высказал предположение, что их решение будет иметь космологический характер. Я предположил, что во Вселенной взаимно обращается в нуль: положительные и отрицательные заряды, моменты сил, масса и энергия — как неразделимые противоположности, как две стороны медали. Действительно, в противном случае как Вселенная могла бы «появиться на свет»? Если перед ее возникновением существовало некое нулевое состояние, то после него к нулю могло прибавиться все что угодно. Я посвятил этой теме свой доклад на заседании Королевского общества Тасмании, посвященном памяти Джонстона в 1977 г., развил ее дальше на Международном симпозиуме по расширению Земли, который я проводил в Сиднейском университете в начале 1981 г. (труды симпозиума опубликованы в 1983 г.), и окончательно оформил в заключительных главах этой книги. Моя идея объединяет законы Нью-

тона и Хаббла в своего рода двойной эмпирический закон и подрывает концепцию Большого Взрыва.

Этой кабинетной философии престарелого ученого не нужна формальная библиография, но ниже я даю хронологически последовательный перечень моих статей, из которых зародилась эта книга, на которых она выросла и созрела, — теперь пришло время собирать урожай. В каждой из приведенных работ есть список литературы; в эльзевировской книге он содержит 820 названий.

1938. Tectonic evolution of New Guinea and Melanesia. D. Sc. Thesis. University of Sydney. (Тектоническое развитие Новой Гвинеи и Меланезии. Диссертация на степень доктора наук. Сиднейский университет.)
1945. Tasmania's place in the geological structure of the world. (Место Тасмании в геологическом строении мира.) Address to the Royal Society of Tasmania, May 15, 1945.
1954. The rheid concept in geotectonics (Понятие реологии в геотектонике.) Journal of the Geological Society of Australia, 1, 67—117.
1955. Wegener's South America — Africa assembly: fit or misfit? (Вергнеровский комплекс Южная Америка — Африка: хороша ли подгонка?) Geological Magazine, 43, no. 3, 196—200.
- The orocline concept in geotectonics. (Понятие ороклина в геотектонике.) Proceedings of the Royal Society of Tasmania, 89, 255—288.
1958. The tectonic approach to continental drift. (Тектонический подход к дрейфу материков.) In S. W. Carey, ed. Continental Drift: A symposium, Hobart: University of Tasmania, 177—363.
1959. The tectonic approach to the origin of the Indian Ocean. (Тектонический подход к происхождению Индийского океана.) In Third Pan-Indian Ocean Science Congress, Madagascar, Proceedings, 171—228.
1961. Glacial marine sedimentation. (Ледниковое морское осадконакопление.) In First International Symposium on Arctic Geology, University of Toronto Press, 903—932 (With Naseeruddin Ahmed).
1962. Folding. (Складкообразование.) Journal of the Alberta Society of Petroleum Geologists, 10, no. 2, 95—144 (Honorary Anniversary Address).
- Scale of the geotectonic phenomena. (Масштаб геотектонических явлений.) Journal of the Geological Society of India, 3, 97—105.
1963. The asymmetry of the Earth. (Асимметрия Земли.) Australian Journal of Science, 25, 479—488 (Presidential Address).
1964. Tectonic relations of India and Australia. (Тектонические связи Индии и Австралии.) Holland Memorial Oration to the Mining, Geological and Metallurgical Society of India.
1967. 2000 A.D. — Prognosis. (Год 2000-й — прогноз.) Medical Journal of Australia, June 24, 1967, 1235—1242 (Occasional Address).
1970. Australia, New Guinea and Melanesia in the current revolution in concepts of the evolution of the Earth. (Австралия, Новая Гвинея и Меланезия и современная революция представлений о развитии Земли.) Search, 1, no. 5, 178—189. (Presidential Address).
1972. The face of the Earth. (Лицо Земли.) Australian Natural History, 17, no. 8, 254—257.
1975. The subduction myth. (Миф о субдукции.) Proceedings of the Southeast Asia Petroleum Exploration Society, Singapore, 2, 41—69.
- The tectonic evolution of Southeast Asia. (Тектоническое развитие Юго-Восточной Азии.) Indonesian Petroleum Congress, Jakarta, Proceedings, 1—31. (Invited lecture).



- The expanding Earth: An essay review. (Расширяющаяся Земля. Обзорный очерк.) *Earth Science Reviews*, 11, no. 2, 105—143.
- Paleomagnetism and Earth expansion. (Палеомагнетизм и расширение Земли.) *Chayanica Geologica (Calcutta)*, 1, no. 2, 152—195. (Invited paper.)
- 1976. The Expanding Earth. (Расширяющаяся Земля.) Amsterdam: Elsevier.
- 1978. A philosophy of the Earth and Universe. (Общий взгляд на Землю и Вселенную.) Proceedings of the Royal Society of Tasmania, 112, 5—19. (Johnston Memorial Address).
- 1979. Genesis of the Himalayan system from Turkey to Burma. (Генезис Гималайской системы от Турции до Бирмы.) *In Himalayan Geology Seminar (New Delhi)*, sec. IIA, 401—416. (Geological Survey of India, Miscellaneous Publication No 41) (Invited lecture.)
- 1983. Evolution of beliefs on the nature and origin of the Earth. (Эволюция воззрений на природу и происхождение Земли.) *In S. Warren Carey, ed. The Expanding Earth — Symposium, University of Sydney, February, 1981*, 3—7.
  - Tethys and her forebears. [Тетиды (Тетис) и ее предки.] Там же, 169—187.
  - Earth expansion and the null Universe. (Расширение Земли и нулевая Вселенная.) Там же, pp. 365—374.
  - The necessity for Earth expansion. (Необходимость расширения Земли.) Там же, pp. 376—396.
- 1985 Geotectonic setting of Australia. (Геотектоническое положение Австралии.) Principal Address to the Second South-Eastern Australia Oil Exploration Symposium, Melbourne, November 1985.
- 1986. Tethys and her forebears. [Тетиды (Тетис) и ее предки.] *In International Symposium: Shallow Tethys 2, Wagga Wagga, Australia, September 1986. Rotterdam: Balkema (Opening Address)*.
  - Diapiric krikogenesis. (Диапировый крикогенез.) *In The Origin of Arcs (Developments in Geotectonics series) Amsterdam: Elsevier (Keynote Address)*.
  - La Terra in espansione. (Расширяющаяся Земля.) Rome: Laterza. (На итал. яз.)

Иллюстрации, приведенные в книге, взяты из всех этих публикаций (что объясняет некоторое различие в стиле рисунков). Многие люди оказали мне помощь в оформлении моих работ, но в последние годы особенно часто помогала мне Джуна Понгратц, которой я глубоко признателен за ее мастерство и терпение.

Я начинал это повествование как геолог. Но даже когда я был неоперившимся юнцом и работал сразу после окончания университета в бассейне Уэрри (шт. Новый Южный Уэльс), я наталкивался на вопросы, которые еще никто не задавал, — и тогда я чувствовал, что должен найти на них ответы. За годы, проведенные мной в Новой Гвинее, геологические проблемы пустили корни в другие науки, но общество обычно не одобряет вмешательство в чужие дела. Наука стала настолько специализированной, что каждая ее ветвь должна оставаться во власти собственных прорицателей и корифеев. Энциклопедисты типа Аристотеля, Леонардо, Гука и Дарвина принадлежат прошлым

векам. А теперь — пусть портной не отвлекается от своей иглы. Знай, сверчок, свой шесток!

За прошедшие десятилетия я пришел к трем выводам. Во-первых, специалисты в других областях науки так заняты своими собственными проблемами, что не склонны размышлять над посторонними вопросами. Во-вторых, когда они все-таки вынуждены давать ответ, они ограничиваются очень поверхностными суждениями, не пытаясь вникнуть в геологические данные. В-третьих, каждый ученый обязан проследить следствия из своих выводов до самого конца, даже если они уводят его в другие научные дисциплины.

Так, преследуя цель изучить развитие Земли, я вынужден был заняться проблемами Вселенной и Космоса, где мои познания были скудными. Следовательно, я обречен на то, чтобы делать ошибки, но, наверное, это неизбежно. Сами эти ошибки помогут выявить правду. С другой стороны, вполне возможно, что я пребываю в плену ложных аксиом, с давних пор укоренившихся в моих убеждениях.

С. У. К.

## РЕТРОСПЕКТИВА

### 1

#### Философия в каменном веке

Пятьдесят лет назад я работал геологом в наиболее удаленных от моря районах Новой Гвинеи. Неделями я не встречал белых людей, а когда все-таки увидел одного, он оказался из нашей же поисковой партии. Месяцы отделяли одну почту от другой, и весь остальной мир был где-то очень далеко. У меня не было радио, а значит, не было никаких сообщений и новостей, никаких развлечений. Компанию мне составляли носильщики и люди из местных племен — это были папуасы, находившиеся на неолитической стадии развития и никогда раньше не видевшие ни колеса, ни каких-либо металлических предметов. По мере нашего общения я научился понимать этих людей, любить и уважать их. Я обнаружил в них больше честности, чем хитрости, больше благожелательности, чем злобы, больше доброты, чем жадности, больше дружелюбия, чем склонности к предательству, больше храбрости, чем трусости. Я встречал и сочувствие, и, конечно, жестокость, однако не было ничего похожего ни на инквизицию во имя христианства, ни на джихад во имя ислама. Воистину они были очень похожи на нас, на так называемую высшую расу, но в общем их раса оказалась добрее нашей и — несмотря на отсутствие «цивилизованного» обхождения — счастливее.

Ну а как насчет ума и интеллекта? Карл фон Циттель, президент баварской Академии наук и, возможно, величайший палеонтолог-систематик всех времен, писал в 1899 г.: «Широкая пропасть между по-детски наивной сагой о сотворении мира, передаваемой из поколения в поколение бушменами, аборигенами Австралии, эскимосами и неграми, и великими поэтическими сказаниями арийско-германских рас Европы указывает на огромные различия в уровне культуры и интеллектуальных способностях этих народов». Еще ниже должны были стоять мои

папуасы. Однако они научили меня тому, что им известно о природе и о том, как все появилось. Они очень хорошо знали, что растет в джунглях и какую пищу джунгли могут дать, какое древесное волокно и другой материал, из которого можно сделать орудия, сосуды, барабаны, оружие, украшения, лекарства, яды; какие там можно найти травы и пряные злаки; какой строительный материал для хижин, переправ и каноэ. Они охотились со всеми предосторожностями на тугодума-крокодила, который всегда уходил от стычки с людьми — но горе тому, кто не заметит грозное чудовище, притаившееся в заводи или болоте. Высоко ценились природные соленые источники: поваренной солью сдабривали пищу, а враждебные племена не пускали «моих» папуасов к морю. Среди речного гравия они искали твердые камни для заточки топоров и кольев — эти предметы, изготовленные с большим трудом, высоко ценились, передавались по наследству, продавались или захватывались в бою. Ни торф, ни уголь не воспринимались как топливо — зачем их жечь, когда кругом столько древесины для костра? Только самые развитые племена искали подходящую глину и обжигали грубые горшки (сделанные просто руками, а не на гончарном круге). Эти люди не умели делать стекло, не знали никаких металлов, т. е. находились на самой нижней ступеньке технического развития. Они откапывали охру для раскрашивания, знали, где найти сланец с окаменевшими раковинами, которые они обжигали, получая известь для смешивания с бетелем\* или для обесцвечивания своих темных волос. Папуасы догадывались, что эти раковины как-то связаны с морем, но не подозревали, что море было здесь 7 млн. лет назад.

Они умели определять время суток — не только по Солнцу, но и по звукам джунглей: по шуму, производимому птицами и насекомыми. Они отсчитывали время по числу восходов Солнца, по числу прошедших «лун» и по положению «годового мужчины» (скопление звезд, которое мы называем созвездием Орион; «годовой мужчина» гонится за «годовой женщиной» — Плеядами). Каждую ночь «годовой мужчина» появляется на небе все позже, а через 13 «лун» оказывается в первоначальном положении. Число 13 отсчитывалось и показывалось с помощью пальцев рук и ног.

Через каждую дюжину километров — иной диалект. Не было ни письменности, ни идеографических символов (кроме знаков табу и предупреждений об опасности), хотя мимика была вполне внятной и использовалась успешно. Кое-какие сообщения пе-

---

\* Смесь пряных листьев перца-бетеля с перемолотыми семенами пальмы и небольшим количеством извести используется в тропической Азии как жвачка, возбуждающая нервную систему. — *Прим. перев.*

редавали от деревни к деревне ритмичными ударами по большому деревянному барабану, и по меньшей мере одно горное племя (аризили) пользовалось особой системой общения с помощью рогообразных раковин, «тирольских» переливчатых криков и свиста. Сигнал передавался не кодом, а изменениями ритма и силы звуков. Им вообще уже не чужда была музыка: ритм, продолжительность нот, двухчастная гармония тенора и баритона (особенно у аризил). У них были ударные инструменты (деревянный «гарамуц» и натягиваемый на ладонь «кундус» — хлопушка из кожи ящерицы) и бамбуковые свирели, у которых длина каждой трубки соответствовала определенной ноте.

У них были правила владения землей и понятие о собственности: каждое деревцо в джунглях, каждая пальма имели своего владельца, и каждый участок леса был «закреплен» за своим охотником, которому принадлежали тропы и право заходить в одноразовые «огороды» на выжженных местах, оставленных для будущего урожая. Были понятие родства и система табу — моральный кодекс и установленные наказания за провинности. Во многих племенах не знали, что всего одного совокупления достаточно для того, чтобы женщина забеременела, и считали, что ребенка надо «делать» в течение длительного времени. Конечно, верили в чудеса и имели много всяческих предрассудков: были духи и демоны, добрые и злые.

С годами я убедился, что суждение профессора фон Циттеля слишком желчно и пристрастно: ведь он никогда не видел папуасов, тем более не жил с ними месяцами как с единственными компаньонами. Интеллект папуасов, их способность наблюдать и мыслить не уступали нашим. Различие состояло не во врожденных способностях, а в унаследованных знаниях, понятиях и представлениях, накопленных по крупицам нашими предками за тысячелетия, много раз проверявшихся на опыте, уточнявшихся и оформлявшихся в определения, с тем чтобы наконец стать квинтэссенцией нашего научного опыта. В противоположность этому запас знаний и догм (затверженных предрассудков) моих папуасских знакомых находился в таком же зачаточном состоянии, как у наших предков эпохи неолита, живших около 6 тыс. лет назад, изготовлявших те же самые примитивные горшки и не знавших еще ни металлов, ни стекла, ни письменности. И все же, когда им приходилось решать задачи, связанные с доступными им понятиями, они были определенно не менее сообразительны и ловки, чем я, и я прислушивался к ним, и учился у них, и опирался на их суждения. Их догма общепринятой истины, как и догмы наших с вами предков, содержала много такого, что мы теперь считаем ложным. Но у меня нет никаких сомнений в том, что наша собственная ортодоксальная догма тоже содержит ложные представления в самых, ка-

залось бы, очевидных аксиомах, которые мы считаем непреложной истиной. Наши самые твердые убеждения — те, что мы впитали с молоком матери.

## Заря науки

Давайте проследим теперь в ретроспективе с древнейших времен, как последовательно, шаг за шагом, происходило признание и отрицание ложных аксиом, составляющих наши собственные первые представления о Земле и Вселенной. Возможно, вы, как и я, удивитесь, узнав, что скорость усвоения ложных аксиом (как и скорость признания смелых новых идей) с течением тысячелетий возрастала, ускорение продолжалось в последние сотни лет и десятилетия, включая время жизни нашего поколения. Только наивный человек станет утверждать, что наши нынешние убеждения свободны наконец от ложных представлений. Наиболее вероятно, что ошибки кроются в самых фундаментальных наших убеждениях.

Когда и как появилась наука? Антропологи спорят о последовательности развития и о том, какие изменения вносили более важный вклад в наше «очеловечивание»: «сошествие» с деревьев, переход к прямохождению, увеличение объема мозга, появление действенного общественного сознания — предвестника морали? Познание причин и следствий, предвидение результата действия той или иной причины явно предшествовали появлению человекообразных существ. Намеки на это содержались в поведении весьма древних позвоночных, но такое зачаточное «знание», хотя и существенное с точки зрения науки, еще не могло развиваться без общения с другими особями. Догма возникла с появлением общения. Наука зародилась тогда, когда одно существо впервые сообщило другому о том, как и почему произошло что-либо. Повторение, улучшение и кодификация сообщения были началом становления догмы, превращаясь в знания и представления, которые с каждым пересказом становились все тверже. До появления написанного слова только пересказ и ритуальные действия служили средством передачи усвоенных представлений от поколения к поколению.

## Первые божества

Столь многое оставалось совершенно за пределами понимания моих папуасских друзей, что почти каждое событие приходилось объяснять действиями неких высших существ. Бури и ливни, гром и молния, извержения вулканов и землетрясения,

смена времен года, реки и наводнения, морские волны — все это приписывалось проявлениям воли богов. Даже самые разумные туземцы, столкнувшись с незнакомыми вещами, которыми владели белые люди в Рабауле и Порт-Морсби — большими кораблями, самолетами, пушками, телескопами, фотоаппаратами, проигрывателями, с переговорами по радио с людьми, находящимися далеко за морем, с мясными консервами, чудодейственными лекарствами, обезболиванием, — были убеждены, что все эти немислимые вещи могли быть созданы только богами. Их языческие жрецы-священнослужители уверяли этих случайных очевидцев и их племена, что если употребить подходящие заклинания и ритуальные движения, то они сами могли бы сделать так, чтобы пришли большие корабли с нужными товарами, и что даже эти товары, прибывающие теперь и получаемые белыми людьми, на самом деле по праву принадлежат им — жрецам. Каждые несколько лет, вплоть до наших дней, вспыхивают эпидемии такого «культы вещей», обращенного к содержанию трюмов торговых судов.

С самых ранних доисторических времен каждый человек, созерцавший звезды, задавался вопросом, как они появляются, откуда, зачем и куда потом уходят. Большинство так и оставалось в неведении. Но их мудрецы, которые не могли себе позволить оставить вопрос без ответа, привлекали для объяснения многочисленные божества, единых богов, всемогущих матерей или весь сонм сверхъестественных существ. Наиболее распространенными были представления о том или ином «начале мира»: вавилонский миф рассказывал о битве бога-покровителя Мардука с богиней моря Тиамат, египетский — о яйце, из которого появился мир. В древней Индии рассказывали о черепахе, несущей слонов, которые поддерживают мир; в Полинезии — о воздушном боге Тангалoa. Мильтон описал первобытный хаос, готовый породить мир. Известен библейский миф о садах Эдема. Перед вторжением ариев в Восточное Средиземноморье около 2000 г. до н. э. люди эпохи неолита поклонялись там верховной матриархальной богине-прародительнице и трем ее нимфам, достигшим брачного возраста и охотно совокуплявшимся, но не знавшим о роли мужчины в зачатии, которое приписывалось действию ветров или рек.

В поэме Геснода «Теогония» (VIII в. до н. э.) изложена генеалогия богов от Крона до Зевса, а исходя из нее — история создания Земли, Ада, Океана, Ночи, Солнца и Луны. Демокрит (V в. до н. э.) был первым, чье мировоззрение включало понятие о Вселенной, самозарождающейся из случайного скопления атомов — но откуда взялись эти атомы? Многие сегодняшние специалисты по космологии постулируют Большой Взрыв: когда вся масса Вселенной была создана Богом в одной

точке, а затем взорвалась и стала разлетаться с колоссальной скоростью, чтобы образовать ту Вселенную, которую мы знаем теперь. Но советские материалисты отделяют нравственность от теологии, не признают никаких богов и считают, что нам пора отделаться от таких предрассудков.

Что касается наших собственных предков, то у них было два вида богов: вездесущий бог зороастристов и Платона, вмешивающийся во все людские дела всегда, когда сочтет нужным, и держащийся поодаль бог Декарта, который сотворил вещество и создал движение, а затем оставил Вселенную развиваться по тем законам, которые он дал и которым сам подчинялся. Для первого физический и духовный миры взаимодействуют. Рай и ад — реальные места. Для второго они физически не существуют — ни под нашими ногами, ни в небесах. Душа не имеет ни массы, ни заряда, ни электромагнитного поля — вообще никакого физически ощутимого свойства. В иудаизме, исламе и христианстве Бог — это явно вмешивающаяся в жизнь людей категория: иначе не было бы ни чудес, ни заклинаний, ни молитв об исправлении человеческих дел, а такая практика, как испрашивание у Господа благословения для рыболовных судов, была бы неуместна.

Позвольте мне привести одну аналогию из математики: в алгебре комплексных чисел, где уравнение включает в себя как «действительные», так и «мнимые» члены («мнимые» — это члены, содержащие квадратный корень из минус единицы, в то время как в действительности нет никакого числа, квадрат которого был бы равен  $-1$ ), такое уравнение можно с полным правом заменить двумя независимыми уравнениями, одно из которых будет содержать только действительные члены, а другое — только мнимые. Точно так же «комплексные» утверждения, включающие как материальные, так и духовные несмешивающиеся субстанции, можно разделить на соответствующие части, и каждая будет сама по себе законченной. Как ни странно, некоторые математические выражения, содержащие исключительно мнимые члены, имеют важное практическое значение в электромагнитной теории. Подобно этому, вовсе необязательно, что религиозные суждения, отделенные от физической сущности, не будут иметь к ней отношения и соответственно не окажутся для нее благотворными.

Некоторые боги мыслились в виде животных, реальных или воображаемых, но верховное божество всегда имело облик человека, так как ничего более совершенного люди не могли себе представить. На моем рабочем столе, где я пишу эту книгу, стоит бронзовая миниатюра известной гигантской статуи Зевса, потрясающего молнией. В этой статуе отразилось представление о высшем совершенстве афинского атлета.



## Человек — венец творения

Эгоизм человека, создавшего себе бога по своему подобию, привел затем к обратному убеждению, что человек достоин особой чести, так как бог создал его по *своему* образу и подобию. Этот эгоизм пронизывает все догматические суждения людей и их философию. Эволюция органического мира заканчивается на человеке. Его мир был центром всего: не только Солнечной системы, но и всей Вселенной, а не просто небольшим спутником весьма обыкновенной звезды — одной из миллиардов других в одной из обычных галактик — и опять-таки среди миллиардов других во Вселенной, безграничной в пространстве и времени. Человека учили и воспитывали в убеждении, что океаны всегда находились на нынешнем своем месте, что размеры и масса Земли всегда были такими, как сейчас, с самого ее возникновения и что общее количество вещества и энергии во Вселенной, определенное при ее сотворении, останется неизменным всегда.

В противоположность представлению, что физические и биологические условия *нынешнего* времени были нормой и в прошлом, палеонтологи видят ретроспективу развития и усложнения жизни от простых молекул (примерно 4 млрд. лет назад) к древнейшим из известных белковоподобных микросфер (в гренландских кварцитах Исуа возрастом 3,8 млрд. лет), затем через примитивные организмы, клетки которых еще не имели настоящих ядер (прокариоты, 2,8 млрд. лет назад), к эукариотам с полностью развитыми клеточными ядрами (1,7 млрд. лет) к многоклеточным, у которых уже развились специализированные ткани и органы, а от них через разные типы беспозвоночных к позвоночным и т. д. до выхода органической жизни на сушу примерно 400 млн. лет назад. Затем возникло царство рептилий, достигшее кульминации примерно 200 млн. лет назад, первые млекопитающие, приматы и наконец человек. Эмбриологи видят, что каждый из нас повторяет за 9 месяцев этот путь превращений, занявший в истории Земли миллиарды лет. — от яйцеклетки через эмбриональные стадии, подобные всему эволюционному пути, к рождению человека. Когда Роберт Чемберс\* заявил в 1844 г., что онтогенез (развитие особи) повторяет стадии филогенеза (эволюционного развития вида, расы), его книга вызвала сенсацию. Этот принцип был углублен и развит немецким биологом Эрнстом Генрихом Геккелем (1834—1919).

---

\* Р. Чемберс (1802—1871) — английский издатель, ученый и литератор. Работу «Следы естественной истории творения» (1844) опубликовал анонимно. — *Прим. перев.*

Но давайте оставим в стороне свое тщеславие и повернемся от нашей ретроспективы эволюции к раздумьям о будущих эонах и о том, какие виды, роды, семейства, отряды, классы и типы живых существ последуют за нами и, возможно, превзойдут нас. Будут ли это другие позвоночные — скажем, потомки дельфинов, известных своей разумностью? Или же линия эволюции позвоночных будет развиваться менее успешно, чем потомство какого-то другого типа, скажем головоногих (ведь известно, что осьминоги имеют непропорционально большой мозг!) или членистоногих? Тип членистоногих господствовал 600 млн. лет назад и сегодня еще превосходит по численности все остальные типы, вместе взятые. Двести миллионов лет назад доминирующим классом были не предки наших родственников-млекопитающих, а пресмыкающиеся. Какая группа животных будет лидировать через 100 млн. лет, через миллиард лет после нас?

### Откровение против наблюдения

В средневековой Европе все духовенство и вообще почти все люди верили в буквальную истину Священного писания, верили абсолютно. Всякое сомнение считалось ересью, внушенной Сатаной и заслуживающей сурового наказания и искоренения.

В течение тысячи лет библейская догма, утверждавшая, что Писание надо принимать как буквальную истину, сковывала по рукам и ногам геологию и астрономию. Наблюдения и логические выводы были не нужны, так как истина уже написана и все должны узнать ее из божественного откровения. В «мрачные века» (раннего средневековья) Землю снова стали считать плоской твердью с воздвигнутым над ней куполом, разделяющим воды, и раем над этим куполом. В пятом столетии н. э. отец Люций Лактанциус объявил представления о сферической Земле абсурдной ересью, хотя за тысячу лет до него Пифагор доказал шарообразность нашей планеты. В VI в. еkkлезиастская догма в Европе была не менее наивной, чем учения древнего Вавилона. Несмотря на то что Эратосфен из Александрии еще в III в. до н. э. составил карту известного тогда мира с параллелями и подобием меридианов, Косьма — также из Александрии — в 540 г. изобразил Землю плоской. В его работе «*Topographicus Christiana*» («Христианская топография») обитаемый мир имел вид плоского прямоугольника (рис. 1) с вырезами для Средиземного, Каспийского и Красного морей и Персидского залива, открывающимися в «запретное море», также прямоугольное, которое окружало центральную сушу. За «запретным морем» на северной стороне была *terra ultra oceanum ubi ante diluuium habitabant homines* (земля за океаном, где до



Рис. 1. Карта мира, помещенная в книге Космы Индикоплова «Тороgraphicus Christiana» (540 г. н. э.). Названия на карте переведены с латинского и греческого. Река Геон (Ганг?), текущая из рая, питает своими водами Нил. За тысячу лет до Космы Пифагор уже доказал сферичность Земли.

Потопа жили люди). Там находилась очень высокая гора, за которой Солнце проходит ночью — летом выше, так что ночи бывают короче, зимой ниже. Косма, известный также по прозвищу Индикоплов — «плаватель в Индию», — должен был бы знать все это лучше, поскольку он сам плавал и по Средиземному, и по Красному морю, и по Персидскому заливу, и к югу — в тропики у Занзибара, — прежде чем стать затворником Синайского монастыря, где догма Священного писания перечеркнула его собственный опыт.

Большая часть прогресса, достигнутого греками, была утеряна при разрушении знаменитой Александрийской библиотеки — сначала Юлием Цезарем в 48 г. до н. э. и окончательно в результате сожжения арабами после падения Римской империи в 642 г. н. э. (погибло 400 тысяч ценнейших книг, в том числе труды Аристарха, Эратосфена и Птолемея). И здесь возобладала абсолютная вера в «Книгу» (такое значение имеет арабское слово «аль-куран»). Халиф Омар направил арабскому военачальнику Амру приказ, гласящий: «Содержание этих книг либо согласуется с Кораном, либо нет. Если согласуется, то Корана достаточно и без этих книг, если же нет — они зловредны. Следовательно, пусть они будут уничтожены».

По иронии судьбы некоторая часть греческой премудрости сохранилась при мусульманских дворах вдоль древнего «шелкового пути». Правящие халифы покровительствовали многим местным и иностранным ученым, и их арабские переводы стали

единственным источником, из которого мы можем почерпнуть сведения о содержании многих древнегреческих рукописей. Арабы и сами продвинулись довольно заметно в математике и астрономии, несколько меньше в биологии и вовсе никак в геологии. Изобретенный в Китае процесс изготовления бумаги арабы перенесли через всю исламскую империю в Марокко и Испанию, а оттуда в Западную Европу. В течение семи столетий арабы практически одни поддерживали дух исследования. Но они играли и разрушительную роль. Эрудиция и культура были в моде, но целые библиотеки незаменимых и бесценных рукописей подвергались разграблению и сжигались в междоусобных войнах.

Ариабхата, живший в V в., учил, что Земля совершает суточное вращение вокруг своей оси, но все еще считал ее центром Вселенной. Ибн Сина (980—1037), более известный как Авиценна, родился и жил в Таджикистане, перевел многие работы Аристотеля на арабский язык и считал, что медленная эрозия, производимая текучими водами, пропиливает долины в горах, что суша и море много раз в вечной истории Земли менялись местами и что окаменелости фиксируют эти события. Поскольку подобные идеи противоречили букве Корана, мусульманское духовенство преследовало ученого и сожгло его работы. Его современник узбекский философ Ахмед аль-Бируни (972—1048) также рассматривал ископаемые остатки рыб и раковин, обнаруживаемые на суше, как доказательство неоднократного затопления суши морем.

Наконец, папа Сильвестр II, французский бенедиктинец, изучивший до своего восшествия на святой престол (в 999 г.) греческий язык, математику, астрономию и знавший труды Платона и Эратосфена, восстановил представление о сферической Земле, хотя и остававшейся в неподвижности в центре Вселенной. (Даже Тихо Браге шестью веками позже будет отрицать вращение Земли на том основании, что пушечное ядро, выстреленное на восток, летит не дальше, чем выстреленное на запад.) Тем не менее влияние папы повернуло волну вспять, так что 1000-й год новой эры стал переломным пунктом «мрачных веков».

Однако Возрождение привело к подчинению живой мысли другой догме, предписанной мертвой рукой Аристотеля, и следующие пять веков были свидетелями борьбы между догмой и наблюдениями, между божественным откровением и логическими выводами. Инквизиция, эта всемогущая карающая рука римской католической церкви, в течение четырех веков притесняла и уничтожала ученых. В XIII в. Роджер Бэкон (ок. 1214—1294), «удивительный доктор» (*Doctor admirabilis*), философ, естествоиспытатель и только в силу случайных обстоятельств

францисканский монах, был обвинен своими завистливыми и менее эрудированными «братьями» в ереси и колдовстве и на десять лет заключен в тюрьму. В тюрьме он и написал свои великие труды, копии которых просил послать в Рим папе Клименту IV, чей предшественник запрещал ему читать их все то время, пока будущий папа был папским легатом в Англии. Пробыв десять лет на свободе, Бэкон снова был заключен в тюрьму еще на десять лет — на этот раз за отделение науки от богословия.

В XVI в. католическая церковь сурово осудила «ересь» Николая Коперника о том, что Земля и все планеты обращаются вокруг Солнца, и добавила его труд к списку запрещенных книг, сохранявшему силу еще два столетия. Мартин Лютер, уж на что протестант, тоже осуждал Коперника, поскольку, как он говорил, только глупец способен выдвинуть тезис, находящийся в прямом противоречии со Священным писанием. Джордано Бруно (1548—1600) — натурфилософ с замечательным геологическим видением мира — был осужден инквизицией и сожжен на костре в Риме за свое предположение о существовании других миров и пропаганду системы Коперника. Галилей едва избежал такой же участи в 1633 г. ценой отречения. Но вплоть до 1984 г. церковь проклинала «галилееву ересь».

В середине прошлого века яростный спор вспыхнул между Тейлором Льюисом, профессором восточных языков и лектором по библейской и классической литературе в Юнион-Колледже (шт. Нью-Йорк), и Джеймсом Дуайтом Дэна, профессором естествознания в Йельском университете и, вероятно, самым знаменитым американским геологом. Дэна был ультраконсервативным христианином, безоговорочно верил библейским доктринам и был убежден, что все научные работы призваны подтверждать Священное писание. Льюис считал даже такое использование науки кощунством; он утверждал, что *единственное* допустимое исследование происхождения и природы Земли состоит в изучении и интерпретации писаний. И он делал это на латинском, греческом и еврейском языках. По его представлениям, интерпретация Писания с помощью науки — проявление самоуверенности и недостойная профанация.

Почти все ведущие ученые христианского и исламского мира вплоть до настоящего времени исповедовали аксиоматическое убеждение, унаследованное от иудаизма, о едином Боге. В XVIII в. Жан Андре де Люк из Женевы, впервые употребивший название «геология» в его нынешнем значении\*, посвятил

---

\* Слово «геология» использовалось раньше в более широком смысле — «учение о земном» — и противопоставлялось «учению о Боге», т. е. теологии (богословию). — *Прим. ред.*

свою жизнь изучению природных явлений, стремясь доказать реальную ценность Священного писания. Это предубеждение исключало противоположные гипотезы и предполагало сохранение представлений о том, что важнейшие события невозможны без божественного вмешательства — либо в начале, либо в процессе развития. Космос Альберта Эйнштейна начинается с божественного сотворения материи, хотя такое «сотворение» явно противоречит законам сохранения, лежащим в самой основе физики. Здесь мы поступаем так же — правильно или неправильно, — как поступали наши первобытные предки: дойдя до предела возможностей своих наблюдений и своей логики, мы привлекаем для объяснения сверхъестественные силы.

## Загадочная Вселенная

Кто должен разгадывать фундаментальную загадку происхождения и судьбы Вселенной? Специалист по космологии? Астрофизик? Математик? Биолог? Богослов? Возможно, даже геолог — по крайней мере он пытается разгадать историю Земли. Алексис Кэрролл в книге «Человек Неизвестный» («Man the Unknown») писал, что для анатома человек — это система из костей и мышц, для физиолога — скопище органов, для биохимика — симфония ферментов и химических соединений, для психолога — разум, для священника — душа. Человек — все это и еще больше. Каждая научная дисциплина видит только какую-то абстракцию из общей сущности. Так же и в вопросе о Вселенной. На Востоке склонялись к мистицизму, в золотой век Древней Греции — к абстрактным философствованиям, римляне были более прагматичны, в Европе после эпохи Возрождения возобладал эмпирический подход. Но во все времена и повсюду именно догма преследовала нас, определяя унаследованную нами веру и убеждения, будь то доктрина ортодоксальной науки или религиозное учение. Однако умный, но мало искушенный в науках человек может обнаружить новые истины, невидимые для ученых мужей.

Я обычно говорил своим студентам, что постараюсь как можно лучше научить их тому, что считаю правдой, но не сомневаюсь, что часть сказанного мной когда-нибудь окажется неправдой; к сожалению, я не знаю, какая именно часть. Каждый преподаватель до меня когда-то обнаруживал, что он был неправ в чем-то, чему он с полным убеждением учил, и у меня не было оснований считать, что мне уготована лучшая участь. Поэтому я не призывал их «верить тому, что я говорю», а говорил: «Не верьте, если можете». Мой собственный независимый путь — тот же, по которому шел Рене Декарт за триста лет до

меня. Епископ призван в точности передавать пастве доверенные ему писания, хотя он должен проверять и перепроверять, не вкралась ли ошибка в текст или перевод по пути от первоисточника. Так и преподаватель должен передавать своим студентам ту догму, которую принял сам, но обязан упорно искать ошибки в ее первоисточнике, ее посылках, ее логике и должен требовать от студентов, чтобы они делали то же самое.

## 2

### Планета Земля

Мудрецы и жрецы древнейших цивилизаций — вавилоняне, египтяне, евреи и древние греки — *знали*, что их Земля плоская, что лежит она под небесным сводом, по которому проходят бог Солнце, Луна, пять богов-планет и звезды. Еще они знали, что дальше небесного свода находится область Духа и царство Огня. Думать иначе было абсурдом. Если бы существовала другая сторона — под нашими ногами — то дождь там шел бы снизу вверх, вода не удерживалась в озерах, а люди должны были бы ходить вверх ногами. Земля неподвижна: в противном случае мы почувствовали бы ее движение. Солнце встает каждое утро на востоке — отсюда и само слово «восток, восход», — проходит над головой и заходит на западе; много суждений есть о том, как оно оказывается следующим утром на прежнем месте. Луна и звезды проделывают такой же путь. На заре золотого века древнегреческой философии, в VI в. до н. э., Пифагор пришел к выводу, что Земля имеет форму шара; это же доказывал его ученик Парменид, который был моложе на десять лет. Но достоверность, правильность отрицания общепринятой догмы никогда не защищала инакомыслящих от язвительных нападок, и Лактидур в IV в. до н. э. еще смеялся над идеей о людях, ходящих вверх ногами по сферической Земле.

Тем не менее Аристотель (384—322 до н. э.) — ученик Платона и основатель афинского Ликейя — внимательно рассматривал горные породы, минералы, металлы, размышлял о землетрясениях, реках и ручьях. Он утверждал, что Земля непременно должна быть шарообразной, так как корпуса удаляющихся кораблей уходят ниже горизонта, а мачты остаются видны; с приближающегося корабля сначала видят вершины гор, а потом

уже более низкие участки суши; в тихий день море на горизонте горбится дугой, приподнятой посередине; во время затмений тень Земли на лунном диске имеет круглую форму; восход и заход солнца, луны и звезд в северных местностях отличаются от того, что наблюдается на юге, а Полярная звезда, если двигаться к северу, поднимается все выше и выше над горизонтом. Из всего этого Аристотель сделал также вывод, что земной шар должен быть невелик по сравнению с расстояниями до планет: «Размеры Земли ничтожны, совершенно ничтожны по сравнению с просторами небес. Масса Солнца должна быть гораздо больше массы нашего шара, а расстояние от нас до неподвижных звезд много больше, чем до Солнца».

Даже Зенон (340—265 до н. э.), основатель философии стоицизма, не был убежден, что Земля имеет форму шара. Но в конце концов эстетическая гармония и симметрия, столь важные для Пифагора и быстро ставшие догмой в Древней Греции, подразумевали гармонию сферической Земли в центре небесных сфер. Поэтому та очевидная аксиома, что Земля плоская, была отвергнута, хотя основания для этого были неверные. Здесь проявилось различие Пифагора и Аристотеля, контраст «двух культур» — искусства и науки, рассуждений и наблюдений.

Совершенно независимо от греков китайские мудрецы по меньшей мере в I в. н. э. уже учили, что Земля — шар. Возможно, они узнали об этом из санскритских рукописей арнев, которые установили это гораздо раньше.

Примерно через сто лет после Зенона Эратосфен (276—194 до н. э.) — библиотекарь из Александрии и первый географ — неожиданно удачно измерил длину окружности земного шара с погрешностью всего 2%. Он заметил, что в Сиене (ныне Асуан) в день летнего солнцестояния Солнце освещает в полдень все дно вертикального колодца, тогда как в Александрии в тот же день оно не доходит до зенита на  $\frac{1}{50}$  окружности (рис. 2). Верблюды, проходящие за день 100 стадий, преодолевали расстояния между этими городами за 50 дней, так что окружность Земли получилась равной четверти миллиона стадий. Подобно тому как американский галлон отличается от британского, стадия также означала разные меры длины: для путешественников она соответствовала 157 нынешним метрам, для греческих официальных служащих — 185 м, а стадия египетских фараонов равнялась 210 м. Поскольку Эратосфен измерял расстояния, считая число дневных переходов верблюдов, он, вероятно, использовал первое значение, и это подтверждает Плиний Старший (23—79 н. э.), чьи труды являются единственным сохранившимся источником многих знаний античности. Исходя из этого результат составляет 39 250 км, т. е. он только на 2%



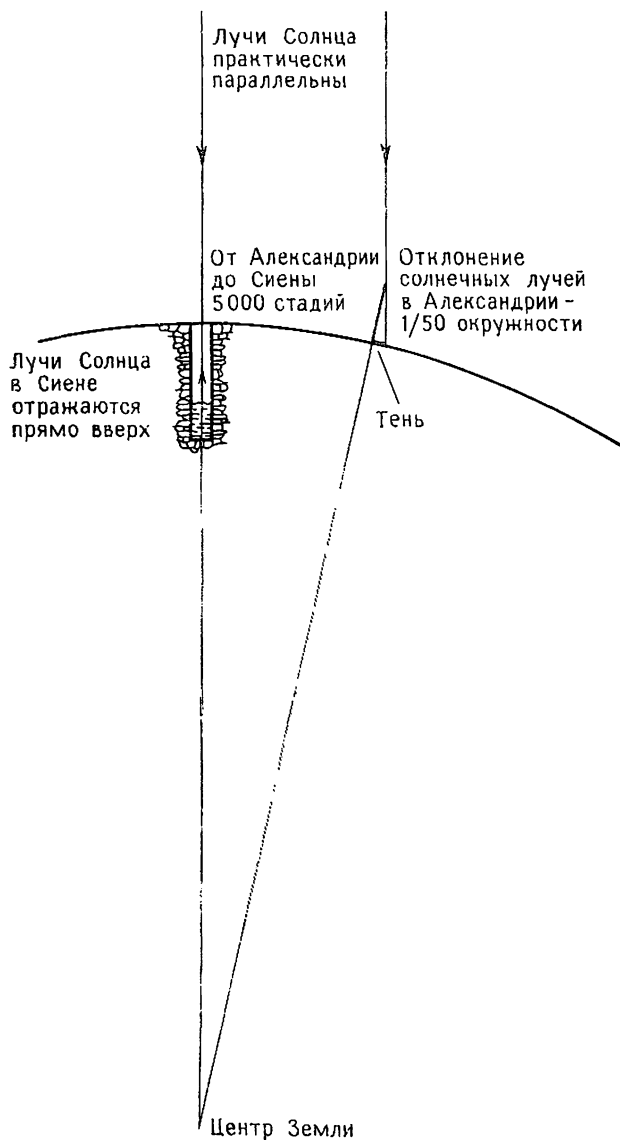


Рис. 2. Как Эратосфен измерял диаметр Земли.

меньше значения 40 008 км, найденного при современном определении длины окружности Земли по меридиану.

Понять, что относительная длина солнечных теней содержит в себе такие важные сведения, было таким же ярким озарением, как и солнечный блик, отразившийся от дна колодца. Я уверен, что и многие другие — еще не открытые — истины заключены в нашем повседневном опыте. Они ожидают лишь гениального озарения наблюдателей.

## Земля — центр Вселенной

Примерно за две тысячи лет до Пифагора философы северной Индии уже знали, что в центре мира находится Солнце, что оно держит Землю своей силой и что Земля также обладает силой притяжения. В делийском научном журнале «Science Age» я прочитал переведенный Дж. Аруначаланом с санскрита отрывок из Ригведы (сборника гимнов) — древнейшего памятника ведической литературы:

«В предписанных ежедневных гимнах, обращенных к Солнцу (sandhya vandanam), мы находим: ...«Солнце расположено в центре Солнечной системы» (Soura mandala madhyastham Sambam). Слово «mandala» означает «кривая» и относится, возможно, к криволинейному пути планет вокруг центра, в котором находится Солнце... Ученики спрашивают: «Какова природа той сущности, которая держит Землю?». Учитель отвечает: «Риша Ватса считает, что Земля поддерживается в пространстве Солнцем». В гимнах sandhya vandhana мы находим фразу: «Солнце держит Землю» (mitro dadhara pritivi)».

Древние индийцы правильно определяли относительные расстояния известных им планет от Солнца и знали, что Луна ближе к Земле, чем Солнце. В Ведах отмечалось также, что равноденствия наступают каждый год немного раньше, и давалась оценка насколько. Это «предварение равноденствий», открытое снова несколькими столетиями позже Гиппархом, вызвано тем, что Солнце и Луна притягивают косо расположенное экваториальное вздутие Земли, из-за чего земная ось медленно поворачивается подобно оси волчка. Если учесть связь между греческим языком и санскритом, то кажется удивительным, что греки не знали о древнем учении брахманов. Или, может быть, они думали, что знают все лучше?

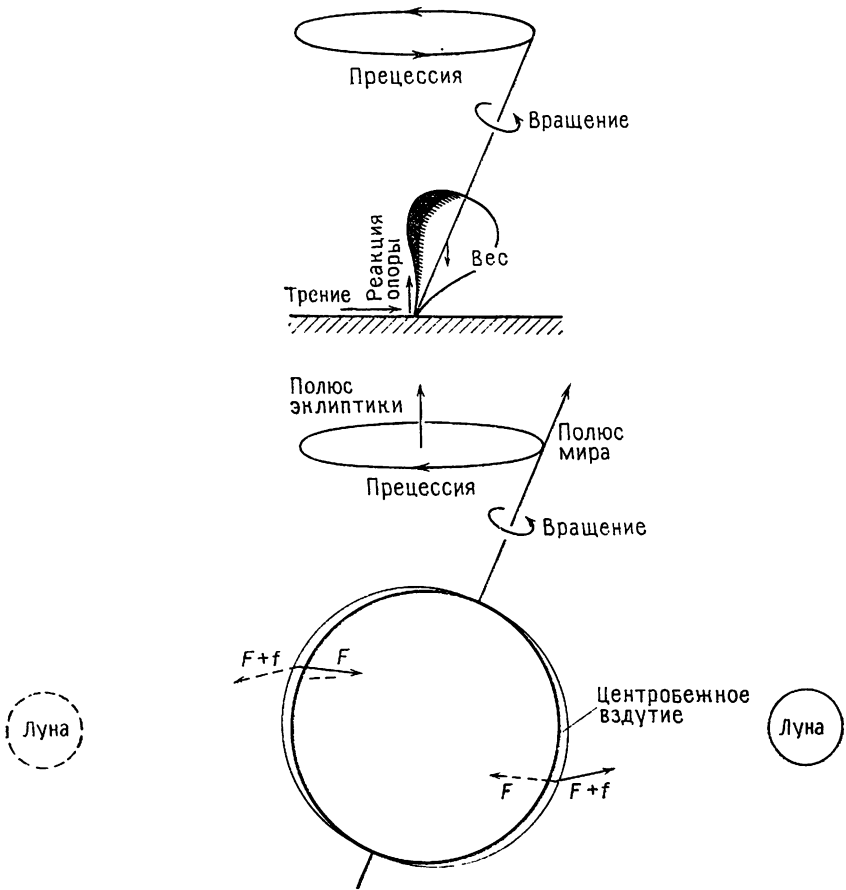
Сферическая Земля, принятая Аристотелем, все еще неподвижно располагалась в центре Вселенной, испытывавшей суточное вращение вокруг нее и состоявшей из прозрачных хрустальных сфер. Поскольку Солнце проходило через каждое скопление звезд один раз в год, а Луна — раз в месяц, нужно было иметь три независимые хрустальные сферы. Пять планет также двигались независимо от звезд и друг от друга, так что

для каждой требовалась своя хрустальная сфера. Более того, оказалось, что дело еще сложнее: еще в вавилонские времена Мар-Иштар обнаружил, что Юпитер иногда как бы петляет на фоне неподвижных звезд, а вскоре выяснилось, что то же самое происходит с Марсом и Сатурном. Так возникла величайшая загадка двух следующих тысячелетий — «проблема Платона»: как объяснить видимые движения небесных тел, не нарушая совершенства мира.

Другой ученик Платона — Эвдокс Книдский (407—355 до н. э.), изобретатель солнечных часов, — дал изящное математическое решение этой проблемы, в котором звезды, планеты, Солнце и Луна вращаются вокруг неподвижной Земли на 27 сцепленных между собой прозрачных сферах. Это решение послужило основой для догмы, просуществовавшей тысячу лет. Каллип удалил некоторые оставшиеся расхождения — например, то, что летний период между равноденствиями длиннее зимнего, — но это потребовало добавления еще семи сфер (на деле разность этих периодов обусловлена эллиптичностью земной орбиты, о которой тогда не знали), так что движение пяти планет, Солнца и Луны надо было «управлять» по отдельности. Теперь стало 34 сферы. Аристотель довел их до 56, включая самую внешнюю божественную сферу *primum mobile* — перводвигатель, который приводил во вращение все остальные сферы и вызывал смену дня и ночи.

Даже через 2 тыс. лет Джироламо Фракасторо (1478—1553), врач, поэт и профессор философии в Падуе, воскресил модель Эвдокса, но уже с 79 (!) хрустальными сферами, 8 из которых несли звезды и планеты (аналогично «октаве» Пифагора), 6 были нужны для суточного вращения и прецессии, по 6 для Солнца и Луны, 10 для движения Сатурна, 11 для Юпитера, 9 для Марса, по 11 для Венеры и Меркурия плюс внешний *primum mobile*. Создавая эту модель, он стремился показать, что весь мир вращается вокруг обитателя человека — Земли (он так и назвал свою работу — *Homocentria*), — и устранил введенное Гиппархом понятие эпициклов, объяснявшее кажущееся петлеобразное движение планет, которое в действительности было вызвано обращением вокруг Солнца, а не вокруг Земли.

Гиппарх (160—120 до н. э.) помимо других выдающихся достижений открыл прецессию — предваренные равноденствий, обусловленное круговыми движениями земной оси с периодом 25 800 лет, похожими на движение оси волчка (рис. 3). Ему удалось избавиться от хрустальных сфер, число которых становилось непомерно большим. Однако Гиппарх представлял небесные тела плавающими в аристотелевом эфире — абсолютно невесомом прозрачном небесном веществе. Он решил платонову проблему планетных движений, заставляя каждую планету



**Рис. 3.** Прецессия Земли, вызываемая дифференциальным притяжением Луной (и в меньшей степени Солнцем) ближней и дальней частей земного экваториального вздутия. Пара сил, образующая вес тела и реакцией опоры, приводит к повороту по часовой стрелке в случае волчка и против часовой стрелки в случае Земли: соответственно и прецессия идет в противоположных направлениях.

двигаться по малой круговой орбите, центр которой в свою очередь движется вокруг Земли. Не имея представления о гравитационном притяжении, Гиппарх не мог объяснить, почему небесные тела должны двигаться подобным образом, но его схема точно предсказывала их движения. (В самом деле, когда Ньютон через столько времени открыл закон всемирного тяготения, он продвинулся в решении этой старой проблемы только на один шаг, показав, что сила, которую он постулировал, долж-

на вызывать наблюдаемые явления, но не смог объяснить, почему такая сила должна реально существовать. Теория поля Эйнштейна также не объясняет такого действия на расстоянии.)

Известный александрийский астроном Клавдий Птолемей (ок. 90 — ок. 160) собрал и обобщил работы древних авторов, особенно Гиппарха. Поскольку из этих работ до нас дошло очень мало, Птолемей занял в истории науки более значительное место, чем на деле заслужил. Система Птолемея мало отличается от системы Гиппарха, но — хотя, по его мнению, все движения происходят по круговым орбитам с постоянными скоростями — он поместил центры главных кругов немного эксцентрично относительно Земли. Его реконструкция была математически совершенна, насколько это было возможно без нарушения геоцентричности и круговой формы движения. Многие пытались в течение 15 веков улучшить эту систему, но успеха никто не добился. Более того, она получила одобрение христианской церкви, так как поддерживала предписанную догмой о неподвижной Земле под небесным сводом в центре Вселенной с человеком как последним творением Создателя (рис. 4).

## Гелиоцентризм

Итак, система Птолемея безраздельно господствовала вплоть до XVI в. Правда, делались и другие предположения, но если когда-то в древности над ними только насмеялись, то после установления христианства они стали считаться ересью и богохульством. В IV в. до н. э. Гераклид Понтийский, ученик Платона и современник Аристотеля, вероятно, первым заметил, что если предположить, что Земля совершает за сутки оборот вокруг своей оси, этим можно объяснить все движения Солнца, Луны, планет и звезд. Он также объяснил движения и изменение яркости Венеры и Меркурия, предположив, что они обращаются вокруг Солнца, которое в свою очередь вместе с Луной, планетами и звездами обращается вокруг Земли. Это помогло бы понять, почему Венера иногда возвращает восход Солнца и называется Утренней звездой (Фосфор), а иногда появляется после его захода в качестве Вечерней звезды (Геспер), и, кроме того, почему временами она кажется гораздо ярче и ближе, временами — тусклее и дальше. Эти блестящие наблюдения представляли собой значительный шаг к гелиоцентризму. Но современники Гераклида отвергли его «ересь», так как нарушать симметрию системы было недопустимо. Господствующей догмой тогда было пифагорово видение всемирной гармонии и симметрии.

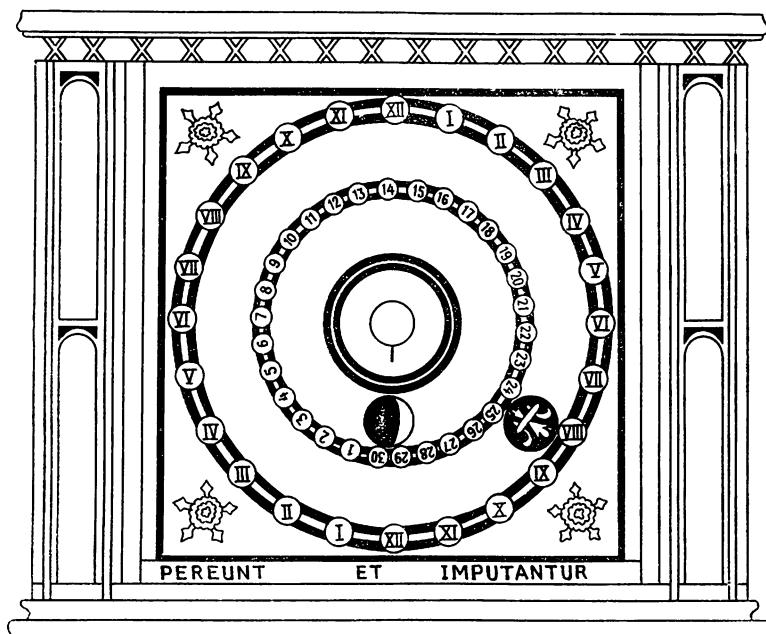


Рис. 4. Построенные в XVI в. часы кафедрального собора в Эксетере (Юго-Западная Англия) — дар епископа Кортни — еще работают. Шар в центре изображает Землю. Луна обращается вокруг Земли, поворачиваясь вокруг собственной оси, причем ее освещенная сторона всегда обращена к Солнцу, так что с Земли всегда видна правильная лунная фаза. Солнце, обозначенное королевской лилией, также обращается вокруг располагающейся в центре Земли; стебель лилии отсчитывает число дней от последнего новолуния, а ее пестик указывает час (или долю часа), обозначенный на внешнем круге; если Солнце над горизонтом, это — дневные часы. Неподвижные звезды, показанные в углах, находятся выше Солнца. На часах девиз, гласящий: «Они (часы) проходят и отсчитывают срок нашей жизни». Эти часы украшают святую церковь и со всей точностью фиксируют видимое поведение всех небесных тел. Для молящихся в храме это было наглядным доказательством церковной доктрины.

Позднее Аристарх Самосский (ок. 320 — ок. 250 до н. э.) заявил, что все планеты, в том числе и Земля, обращаются вокруг Солнца, что Земля делает суточный оборот вокруг своей оси и что, таким образом, все движения небесных тел получают простое объяснение и уже не нужно прибегать к множеству воображаемых хрустальных сфер. Блестящий математик, Аристарх нашел, что Солнце по меньшей мере в 18 раз дальше от Земли, чем Луна, и гораздо больше Земли. По всей вероятности, он первым оценил диаметр Земли, и Эратосфен, возможно, воспринял этот вывод от него. Если бы работы Аристарха со-

хранились, он попал бы, вероятно, в ранг величайших мыслителей всех времен. Но, к сожалению, идеи Аристарха, которые, как мы теперь знаем, совершенно правильны, были полностью отвергнуты — даже Архимедом. Кроме короткого очерка о расстояниях до Солнца и Луны, никакие работы Аристарха до нас не дошли. Архимед (ок. 287—212 до н. э.), человек другого поколения, был в большей мере физиком и инженером, нежели астрономом. Кроме того, все *знали*, что человек и его Земля — центр Вселенной, и это «знание» еще сильнее утвердилось с приходом христианства (см. рис. 4). Открытие Аристарха было утрачено на 17 веков.

Когда же — спустя долгое время — гелиоцентрическая система была возрождена, сделали это сами служители церкви. Николай Коперник (1473—1543), каноник собора во Фромборке (Фрауэнбург) — больше астроном, чем священник, — очень мягко и как бы исподволь восстанавливал гелиоцентрическую систему мира. Он обратил внимание на относительность движения и увидел, что гелиоцентрическая система может создать видимые движения, идентичные тем, которые получаются в случае системы Птолемея. Он обнаружил также, что вращение Земли вокруг своей оси и обращение ее вокруг Солнца в сочетании могут объяснить многие загадочные особенности движений небесных тел. Монография Коперника в течение трех десятилетий не печаталась и была доступна лишь отдельным лицам, и хотя он получал неофициальные благоприятные отзывы, работа его была опубликована со всякими предосторожностями, и то за границей, только в 1543 г., когда автор уже был практически на смертном одре.

Тихо Браге (1546—1601) — один из самых видных астрономов того времени, имел веские основания не принимать гелиоцентрическую систему, потому что если бы Коперник был прав, то и Венера, и Меркурий имели бы фазы, как Луна, а у звезд наблюдался бы параллакс (т. е. их видимое положение слегка менялось бы при наблюдениях с противоположных частей земной орбиты). Ничего подобного никто из серьезных астрономов никогда не наблюдал. Доводы Браге звучали убедительно, и хотя предсказываемые фазы и параллакс, как теперь хорошо известно, действительно имеют место, инструменты в то время были недостаточно чувствительны, чтобы их обнаружить, так как астрономические расстояния гораздо больше, чем ранее предполагалось. (Звездный параллакс не удавалось заметить вплоть до 1838 г.) Урок для нас! Как часто ясная логика, строя заключения на основании ложных посылок, приводила к отрицанию истины!

По иронии судьбы именно точные наблюдения Браге за положением планет в конце концов подтвердили вывод Коперни-

ка, что Земля обращается вокруг Солнца. Наблюдательные данные Тихо Браге позволили его ученику Иоганну Кеплеру в итоге восьмилетней работы объявить, что орбиты планет представляют собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце, и что в единицу времени радиус-вектор планеты ометает одинаковую площадь. Так рухнула Пифагорова гармония симметрии круговых орбит вокруг центральной Земли, а также и богом данное особое положение нашей планеты. Законы Кеплера в свою очередь (и в большей степени, чем падающее яблоко!) послужили основой для ньютоновского закона всемирного тяготения.

Поразительно, что изгнание Земли из центра Вселенной и объявление ее рядовым спутником Солнца не привели ни к какой попытке заново исследовать Землю.

## Форма Земли

В течение двух тысячелетий после хитроумной оценки Эратосфеном земного радиуса Земля оставалась сферой, по крайней мере для мудрых людей (хотя приверженцы культа плоской Земли существуют и сегодня!). Еще почти на тысячу лет позже китайская династия Тан объединила враждовавших феодалов после четырех столетий упадка, что создало потребность в более точных картах обширной Танской империи. И вот великий математик и астроном И Син (683—727) измерил в 723—726 гг. солнечную тень вдоль линии длиной 2500 км и рассчитал радиус Земли и длину градуса дуги по методу Эратосфена.

В Европе спустя еще одно тысячелетие карты и навигационные инструменты заметно улучшились, но ввиду начавшегося международного соперничества в освоении мира и торговле потребовались более точные измерения длины градуса. Совершенно независимо от своих колониальных притязаний французы особенно хотели сделать это точно, так как принятая у них стандартная единица длины — метр — должна была равняться одной десятимилионной доле 90-градусной дуги от экватора до полюса. Несмотря на большие усилия, они все-таки не добились полного успеха: их эталонный метровый стержень из платино-иридиевого сплава оказался несколько короче из-за неправильной формы Земли.

В 1669 г. Жан Пикар определил во Франции расстояние от Амьена до Мальвуазина (в Париже) прямым измерением базисной линии и триангуляцией. Джованни Доменико Кассини (1625—1712), приглашенный Французской академией из Болоньи для руководства Парижской обсерваторией, продолжил эту дугу к северу до Дюнкерка и к югу до Пиренеев. Он обна-



ружил, что длина градуса к северу от Парижа на 267 м короче, чем к югу. На этом основании был сделан вывод, что Земля резко изгибается в северном направлении, т. е. имеет удлинненную форму (форму эллипсоида с длинной осью между полюсами).

Между наблюдениями Пикара и их продолжением, выполненным Кассини, произошло еще одно событие. Жан Рише (1630—1696), парижский астроном и часовой мастер, которому было поручено построить часы для обсерватории в Кайенне (Французская Гвиана), заметил в 1672 г., что маятниковые часы, показывающие в Париже верное время, в Кайенне отстают на 2 мин 28 с в сутки, но, возвращенные в Париж, опять показывают время точно. Теперь мы знаем, что это означает: сила тяжести в Кайенне меньше, чем в Париже, а это доказывает, что Земля имеет сплюснутую форму (эллипсоид с короткой осью между полюсами).

К сожалению, физический смысл более медленных колебаний маятника тогда не был полностью понят. Галилей открыл в 1583 г., что период колебаний пропорционален квадратному корню из длины маятника независимо от размаха колебаний. Голландский математик и астроном Христиан Гюйгенс (1629—1695) обнаружил, что период колебаний маятника зависит также от силы тяжести, о чем он записал, по обычаю своего времени, в виде зашифрованной анаграммы. Он не опубликовал найденной зависимости до 1673 г. Исаак Ньютон (1643—1727) сообщил Эдмунду Галлею (именем которого названа комета) в частном письме, что он открыл это в 1671 г. В работе «Математические начала натуральной философии» (1687) Ньютон заявил, что сила тяжести уменьшается за счет центробежной силы, которая имеет наибольшую величину на экваторе, что должно приводить к сплюснутости Земли. Иначе, добавлял он, воды океана стекались бы к экватору, оголяя высокие широты. Он также приводил аналогию с Юпитером, который, согласно наблюдениям, сплюснут у полюсов.

Однако Жак Кассини (1677—1756), унаследовавший от своего отца в 1710 г. пост директора Парижской обсерватории, настаивал на том, что длина градуса, как показали измерения, уменьшается к полюсам и, следовательно, Земля должна иметь вытянутую форму (хотя он сам наблюдал сплюснутость Юпитера). Так возникла не утихавшая полстолетия полемика между французским эмпирическим «яйцом» и английским теоретическим «апельсином». Спор, раздуваемый постоянным соперничеством между английским Королевским обществом и французской Академией, усиливался сыновними чувствами представителей династии Кассини, четыре поколения которой были директорами Парижской обсерватории.

В 1735 г. Французская академия, чтобы доказать, что англичане неправы, направила в северный Перу (теперь — Эквадор) экспедицию под руководством Шарля Мари де ла Кондамина (1701—1774) и Пьера Буге (1698—1758), а на следующий год — другую экспедицию в финскую Лапландию во главе с Пьером Луи Моро де Мопертюи (1698—1759). Целью их работы было измерить и сравнить длины градуса в экваториальной и арктической областях. Финская экспедиция проходила гладко и завершилась через 14 месяцев. Перуанская же столкнулась с трудностями пересеченного горного рельефа, тропических лесов и нежеланием испанских колониальных чиновников помогать исследователям. В результате ей потребовалось для завершения работ 9 лет. Оказалось, что градус меридиана в Перу на 900 м короче, чем в Лапландии, а значит, Земля сплюснута. Вольтер откликнулся на это саркастическими строками, обращенными к Кондамину:

Vous avez trouvé par de longs ennuis  
Ce que Newton trouva sans sortir de chez lui.  
[Вы нашли с таким долгим и скучным трудом  
То, что Ньютон нашел, не покинув свой дом.]

Мопертюи был так уверен, что ему удастся посрамить тщеславных англичан, что был просто *абсолютно убежден*, что в его данных или расчетах скрыта какая-то ошибка. В течение двух месяцев он безвылазно сидел на своей полевой базе, но и два месяца тщательных проверок в сочетании с тем горестным фактом, что его маятниковые часы (отрегулированные в Париже на точный ход) упорно «убегали» на 59 с в сутки, хотя ожидалось, что они будут отставать, не оставили места для сомнений. Как сказал Томас Генри Гексли, величайшая трагедия науки в том, что один безобразный факт убивает прекрасную теорию. Мопертюи также не избежал вольтеровской колкости: «Поздравляю! Вы раздавили полюсы и семейство Кассини».

В вышедшей в 1743 г. книге «Фигура Земли» выдающийся французский математик Алексис Клеро (1713—1765), сопроваждавший Мопертюи в Лапландию, дал строгий расчет фигуры сплюснутого эллипсоида, образующейся в результате равновесия между центростремительной силой тяжести и центробежной силой вращения.

В чем же заключалась причина ошибочных выводов, сделанных из первоначальных измерений Кассини, которые показали, что градус к северу от Парижа на 267 м короче, чем градус к югу от Парижа? (Ведь сами измерения проводились, действительно, очень тщательно!) Дело в том, что разность, обнаруженная даже на отрезке от Дюнкерка до Пиренеев, была лишь чуть-чуть больше инструментальной погрешности, а Кассини не

знал ни о влиянии гравитационного притяжения Пиренеев, ни о низкой плотности их корней. Искажая уровенную поверхность и отклоняя отвес, все это приводило к тому, что градус к югу от Парижа оказывался длиннее, чем он должен быть на этой широте. Буге столкнулся с такими же аномалиями, вызванными притяжением Анд, и в ходе изучения этой проблемы заложил основы теории изостазии (см. гл. 15). Он внес поправки в измерения силы тяжести, учитывающие высоту пунктов наблюдения над уровнем моря (при увеличении расстояния от центра Земли гравитационное притяжение убывает), а также вычел эффект притяжения гор в соответствии с законом Ньютона. Как ни странно, при увеличении высоты «значения Буге» оказывались ниже, чем ожидалось, откуда следовало, что горы обычно подстилаются менее плотным материалом. Получаемые таким способом исправленные значения силы тяжести до сих пор называются аномалиями Буге и несут важную информацию о распределении плотности в земной коре.

Для читателей с математическим складом ума (другие могут пропустить это объяснение) приведем принятое в настоящее время выражение для сфероида, лучше всего соответствующего истинной фигуре Земли. Оно написано в форме уравнения силы тяжести на поверхности, ибо там, где сила тяжести больше, радиус меньше, и наоборот:

$$\gamma = c_1 + c_2 \sin^2 \varphi + c_3 \sin^3 \varphi + c_4 \sin^2 2\varphi + c_5 \sin(\lambda - c_6) \cos \varphi.$$

В этом выражении  $\gamma$  — теоретическая величина ускорения силы тяжести для широты  $\varphi$  и долготы  $\lambda$ , а константа  $c_1$  — истинное среднее значение ускорения силы тяжести на экваторе. Если не учитывать остальные члены, Земля будет представлена как сфера с одним и тем же радиусом и одинаковой силой тяжести повсюду. Вторая константа  $c_2$  — это центробежное ускорение на экваторе;  $\sin^2 \varphi$  обращается в нуль на экваторе и возрастает до единицы у полюсов. Это означает, что эффективное ускорение силы тяжести у полюсов больше, чем на экваторе, на величину, равную центробежному ускорению; в результате получается модель сплюснутого эллипсоида, экваториальный диаметр которого примерно на 55 км длиннее полярного.

Третий член учитывает то обстоятельство, что континентальная кора (которая расположена на более высоких уровнях, чем океаническая) присутствует в большем количестве в Северном полушарии по сравнению с Южным, что делает Землю немного похожей на персик с заостренным концом у Северного полюса и более плоской стороной у Южного полюса. (Часто форму Земли называют грушевидной, но эта аналогия плохая, так как груша продолговатая, вытянутая, а Земля сплюснутая.) Константа  $c_3$  — это полуразность полярных радиусов, значение

$\sin^4\varphi$  обращается в нуль на экваторе, положительно в Северном полушарии, отрицательно в Южном и дает, таким образом, среднестатистическую форму персика. Эта поправка невелика: северный полярный радиус примерно на 50 м длиннее, чем южный. С учетом этих поправок модель Земли уже не имеет форму эллипсоида, а представляет собой сфероид вращения, симметричный относительно полярной оси.

Четвертое слагаемое учитывает то, что плотность Земли неоднородна и резко возрастает с глубиной, причем со значительным скачком примерно на половине радиуса. Влияние этого фактора сказывается в том, что в обоих полушариях на средних широтах образуется небольшая депрессия. Величина  $\sin^2 2\varphi$  равна нулю на экваторе и на полюсах и возрастает до единицы у  $45^\circ$  северной и южной широт. Значение этой поправки составляет в средних широтах всего лишь около 5 м.

Последний член учитывает тот факт, что экватор имеет не точно круговую форму, а слегка вспучен около острова Шри-Ланка (где сила тяжести понижена) и несколько прогибается вблизи Соломоновых островов и по линии Исландия — Кейптаун (там сила тяжести повышена), в результате чего форма экватора становится приблизительно эллиптической. Соответствующая поправка вводится с помощью двух дополнительных констант:  $c_5$  — это среднестатистическая разность между повышенными и пониженными значениями силы тяжести на соответствующих меридианах, а  $c_6$  — долгота гравитационного минимума у Шри-Ланки; таким образом,  $\sin(\lambda - c_6)$  изменяется от 0 на этом меридиане до 1 на участках повышенной силы тяжести, а  $\cos \varphi$  делает значение поправки полным на экваторе и уменьшает его до нуля у полюсов. Поскольку смысл этой поправки — сделать экватор несколько эллиптическим, то в результате фигура Земли хотя и остается сплюснутым эллипсоидом, но уже не эллипсоидом вращения.

Конечно, это еще не истинная фигура Земли, но наибольшее приближение к ней, достигнутое с помощью математического описания. Оно необходимо геодезистам для расчета ожидаемой величины силы тяжести и кривизны земной поверхности в любом данном месте. Каждая из констант  $c_1$ — $c_6$  представляет собой величину, которая дает наименьшую статистическую ошибку при большом числе полевых измерений, так что этот сфероид характеризуется наименьшим статистическим расхождением между вычисленными значениями силы тяжести и наблюдаемыми значениями по всей поверхности Земли. Влияние материков должно быть сглажено как для Южного полушария, так и для Северного, как для полушария с преобладанием суши, так и для полушария с гладкой водной поверхностью. И опять-таки, как Кассини в Европе, Буге в Южной Америке, так и

позднее Эверест в Индии, к своему неудовольствию, обнаружил, что горы искажают поле силы тяжести и что имеются районы, сложенные более плотными или более легкими породами. В действительности Земля — это не шар, не эллипсоид и даже не какой-нибудь наилучший теоретический сфероид. Форму поверхности моря, которое равномерно покрывало бы всю Землю, называют *геоид*, что означает просто «землеобразная».

Разность между фактически наблюдаемыми значениями силы тяжести и расчетными ее значениями для данного места, вычисленными по какой-либо формуле вроде приведенной выше, называется *аномалией силы тяжести*. Хотя многие люди называют это именно так, совершенно бессмысленно говорить о гравитационной аномалии как о свойстве данного участка: имеется много возможных значений «аномалии силы тяжести» в зависимости от того, какая теоретическая фигура Земли принимается за основу, какие используются значения плотности горных пород и каким способом вводится поправка за высоту пункта над уровнем моря. В последние два десятилетия холмистая форма поверхности геоида была закартирована с расстоянием между изолиниями 2 м американским космическим агентством путем детального анализа отклонений в орбитах искусственных спутников Земли. Если бы Земля была идеальным шаром и не возникало бы никаких других возмущающих сил, то эти орбиты были бы правильными эллипсами, но всякое отклонение от сферичности сказывается в искажении орбит спутников.

## Земля — магнит

Магнетизм известен в Европе со времен Фалеса из Милета (640?—546 до н. э.), о нем размышляли Платон и более поздние авторы. Слово «магнит» происходит от названия древнего малоазиатского города Магнесия (теперь Маниса, в Турции), где были обнаружены природные магнитные минералы. Английское название рудной залежи магнитного железняка — *lodestone* — идет от древнегерманского корня, обозначавшего «вести» или «показывать дорогу». Горняки до сих пор применяют *lode* — магнитный стержень, указывающий на рудное тело. Таинственная сила природных магнитов, в частности их способность сообщать силу притяжения железной проволоке при поглаживании по ней, давала пищу выдумкам и страхам; магнитные ложки использовались как детекторы лжи и для предсказания судьбы. Магнитные руды состоят из магнетита (природного оксида железа  $Fe_3O_4$ ) — сильномагнитного минерала, да и вообще большинство минералов, содержащих железо, обладает магнит-

ными свойствами, хотя бы слабыми. Их магнетизм сохраняет направление, если только минерал не перемагничивается более сильным магнитным полем или не размагничивается нагреванием; это направление может сохраняться в течение миллиарда лет и более. На этом основана теория палеомагнетизма, о которой говорится в гл. 10 и 12.

В Китае знали о магнитных рудах по меньшей мере тысячу, а может быть и три тысячи лет назад. Хотя первые сведения о магнитном компасе датируются 1080-м годом, китайцы, вероятно, изготавливали ложки-стрелки из магнитной руды еще во II в. до н. э. И Син измерял магнитное склонение (угол между направлениями на магнитный север и на истинный север в данном месте) в 750 г. при династии Тан — в славную эпоху китайской истории. В течение последующих одиннадцати веков китайцы вели учет медленным вариациям склонения.

В Европе компас стал известен в XII в. Возможно, он пришел из Китая, но появилось различие в понимании смысла: в Европе считалось, что магнитная стрелка указывает на север, а в Китае говорили, что она указывает на юг. Китайцы, кроме того, накопили сведения о *вариациях* склонения, которые в Европе были неизвестны до конца XVI в. Способность магнитной стрелки указывать на север связывалась с тем же самым перводвигателем, который приводил в действие птолемеиэвы эпициклы. В 1269 г. Петр де Мерикур в своей книге «*Epistola de Magnetis*» описал собственные опыты с намагниченной сферой, символизирувавшей Землю, но птолемеиэва догма еще владела умами людей, и брошенные им семена упали на бесплодную почву.

О том, что магнитная стрелка, если дать ей свободу движения, устанавливается горизонтально на магнитном экваторе и вертикально над магнитными полюсами, сообщил в 1544 г. Георг Гартманн, викарий церкви Св. Зебальда в Нюрнберге. В Англии Роберт Норман, лондонский мастер по мореходным инструментам, в 1576 г. измерил магнитное наклонение и в 1581 г. написал книгу о магнитах.

Как и де Мерикур тремя столетиями раньше, английский придворный врач Уильям Гильберт (1544—1603) понял, что Земля — сама по себе огромный магнит. Начало новой эпохи ознаменовала его книга «*De Magnetis*» (1600), в которой он отвергал утверждение о связи магнетизма с планетами и звездами: «Что же касается этого *primum mobile* [перводвигателя] с его упрямым и чрезвычайно быстрым действием, то где те тела, которые заставляют его работать?... И какая сумасшедшая сила приводит этот *primum mobile* в действие?... Движущая сила заключена в самих телах, а не во внешних сферах и не между ними», Гильберт развлекал королеву Елизавету маг-

нитной стрелкой и глобусом, внутри которого был помещен стержневой магнит, и это было хорошей моделью поведения компаса, движущегося по поверхности Земли. Гильберт надеялся найти для мореплавателей способ определять широту по магнитному наклонению и долготу — по склонению (определение долготы было очень трудным делом до появления надежных хронометров), но ни одна из этих целей не была им достигнута.

Когда обнаружили вариации склонения, этому никто не поверил. Отставной морской офицер Уильям Боро (1536—1599) измерил в 1580 г. магнитное склонение в саду около своего дома в Лондоне. Спустя 42 года Эдмунд Гантер (1581—1626), профессор астрономии Грешам-Колледжа (в Лондоне. — *Перев.*), повторил эти наблюдения в том же месте, но поскольку он получил значение на  $5^{\circ}25'$  меньше, чем сообщал Боро, он отверг его результат как ненадежный. (Проведенный позднее статистический анализ обеих групп измерений показал, что средняя погрешность данных Боро составляла  $4'$ , а данных Гантера —  $10'$ .) Еще через 12 лет Генрих Геллибранд (1597—1637), преемник Гантера в Грешам-Колледже, еще раз повторил измерения и установил, что склонение уменьшилось еще на  $2^{\circ}$  с погрешностью всего  $4'$  и реальность вариаций склонения была твердо доказана.

Эдмунд Галлей (1656—1742), знаменитый астроном, впервые открывший 76-летний период появления яркой кометы, названной его именем, провел подробный анализ магнитного склонения и в 1701 г. опубликовал свою «Общую схему вариаций компаса», на которой было помещено стихотворение самого Галлея (написанное, конечно, по-латыни) с восхвалениями в адрес неизвестного изобретателя магнитного компаса. Как ни странно, Галлей показал только склонение и совсем не упомянул о магнитном наклонении.

Вечное соперничество между французской Академией и английским Королевским обществом отравило дебаты и в этой области. Великий французский философ и математик Рене Декарт (1596—1650) приписал вариации показаний компаса случайному размещению залежей железных руд под земной поверхностью, а Галлей соответственно призвал «примирить наблюдения с каким-то общим правилом», а не искать «причины, совершенно неопределенные» и, таким образом, «прекратить дальнейшие рассуждения». Галлей сделал вывод, что «весь земной шар — это один огромный магнит, имеющий четыре магнитных полюса, или пункта притяжения, по два около обоих географических полюсов, и что в тех частях мира, которые лежат вблизи любого из магнитных полюсов, на стрелку действует именно ближайший полюс и его влияние преобладает над бо-

лес отдаленными». Галлей продолжал изучать вариации склонения по данным, накопленным с того времени, когда компас из Китая попал в Европу, и оценил период западного дрейфа склонения как «700 лет или около того», но происходит он не точно вокруг географических полюсов, поскольку вариации не следуют параллелям широты.

В течение двух столетий после выхода пионерских книг Гильберта и Галлея почти никакого продвижения в понимании земного магнетизма не было достигнуто, но техника изготовления морских компасов, точность карт магнитного склонения и его вариаций резко ушли вперед в геронический век открытий, когда мореплавание вдохновлялось колоннальными устремлениями европейских держав, состязавшихся между собой в освоении новых земель. Сбор магнитных данных шел так интенсивно и привлекал столько внимания, что Британская ассоциация за прогресс науки назвала геомагнетизм проблемой первоочередной важности и в 1839 г. побуждала правительство взяться за выполнение большой научной программы: «Цель работы, надо признать, — совершенствование теории, но эта теория ведет к практическим приложениям величайшей важности. Законы магнетизма в условиях великой морской державы с каждым днем заслуживают все большего внимания по причине внедрения в практику мореплавания железных судов».

Британское правительство ответило организацией нескольких экспедиций и созданием магнитных обсерваторий на острове Св. Елены, в Торонто, Кейптауне и Хобарте. Полученные ценные данные были объединены с другими сведениями, поступившими от Ост-Индской компании, от французов и немцев, и в результате были составлены надежные карты мирового распределения напряженности магнитного поля, его наклона и склонения. Были описаны и измерены вековые вариации геомагнитного поля, а также более быстрые флуктуации, возникающие явно под влиянием Солнца, такие, как суточные циклы и сильные «магнитные бури», связанные с солнечными пятнами. По прогрессу в понимании того, что все это значит, был невелик. В самом деле, поразительная интуиция Галлея, позволившая ему пропикнуть в истинную природу земного магнетизма, опередила современную ему науку на столетия. Он писал:

«Внешние части земного шара вполне можно считать скорлупой, а внутреннее — *ядром*, т. е. внутренним шаром, заключенным в недрах нашей планеты. причем между ними находится некая текучая среда, ... потому что если эта внешняя скорлупа Земли будет представлять собой магнит, с полюсами на некотором расстоянии от полюсов суточного вращения, и если внутреннее ядро будет магнитом с полюсами в двух других местах, также удаленных от этой оси, то...»

Он предположил, что внешняя оболочка и ядро вращаются с не-



сколько различными скоростями, и этим объяснил западный дрейф элементов геомагнитного поля.

Когда 70 лет назад сэр Эджуэрт Дейвид впервые достиг Южного магнитного полюса, тот находился в Антарктиде недалеко от горы Эребус. Теперь он располагается более чем в тысяче километров к западу примерно на той же широте. Значит, магнитные полюсы не зафиксированы на земной поверхности, а магнитная ось наклонена к оси вращения Земли и поворачивается вокруг нее. Сегодня известно, что именно в жидком ядре Земли — на глубинах более 2900 км от поверхности — возбуждается главное магнитное поле, эквивалентное стержневому магниту с осью, отклоненной более чем на  $11^\circ$  от оси вращения. Об этом можно говорить вполне уверенно, потому что если бы магнитные полюсы находились на малой глубине, магнитное наклонение резко менялось бы от вертикального над полюсом до более пологого на малых расстояниях от полюса. В действительности же малые изменения наклонения с удалением от полюса не оставляют сомнений в том, что магнитные полюсы располагаются вблизи поверхности жидкого ядра.

Систематическое картирование изопор склонения (изопоры — линии равного изменения элементов магнитного поля) указывают на то, что циркуляция вещества в жидком ядре Земли происходит примерно так же, как в атмосфере: конвективные ячейки с восходящими потоками, напоминающие области низкого давления на картах погоды, и ячейки с нисходящими потоками, подобные областям высокого давления. Эта циркуляция электропроводящей жидкости генерирует магнитное поле, как самовозбуждающееся динамо. И точно так же как ячейки высокого и низкого давления на карте погоды смещаются на восток со скоростью порядка пары сотен километров в сутки, так и изопоровые ячейки в ядре дрейфуют на запад, как выяснилось, чуть больше чем на  $20^\circ$  за столетие, т. е. они обходят вокруг Земли приблизительно за 1600 лет. Но этот дрейф идет далеко не равномерно, и поскольку имеются и другие переменные, а не только те, о которых сказано выше, данная Галлеем оценка «700 лет или около того» более чем удовлетворительна для тех данных, которые были тогда известны. Отсюда следует, что Земля вращается не как твердое тело: мантия медленно обгоняет ядро, а атмосфера медленно обгоняет поверхность.

Как упоминалось раньше, земная ось испытывает прецессию (подобно волчку) вследствие притяжения экваториального вздутия Земли Солнцем и Луной (см. рис. 3). Различная эллиптичность ядра и мантии позволяет предполагать, что ядро, будь оно свободно в своем движении, совершало бы прецессию примерно за 34 тыс. лет, тогда как вся Земля — за 25 800 лет. Мантия постоянно увлекает за собой ядро, сохраняя собственный

период прецессии. Следовательно, на ядро действует крутящий момент, стремящийся сместить его ось вращения, а на мантию — такой же момент вследствие реакции ядра. Это может быть причиной прецессии магнитной оси (т. е. оси ядра) с периодом около 1600 лет и амплитудой около  $11^\circ$ ; ось мантии прецессирует в обратном направлении с амплитудой около полуградуса из-за того, что она обладает гораздо большим моментом инерции.

Представление Галлея о внешней намагниченной «скорлупе» также получило подтверждение. Рудольф Вольф (1816—1893), физик из Цюриха, успешно имитировал магнитное поле Земли, поместив магнит внутрь глобуса и наклеив железные опилки на поверхность, изображающую океан. Принцип работы этой модели заключается в том, что ферромагнетизм железа (т. е. возбужденное в нем магнитное поле) падает до нуля при некоторой температуре порядка нескольких сотен градусов, называемой точкой Кюри. В недрах Земли эта температура достигается на глубинах порядка двухсот километров. Следовательно, только этот внешний слой намагничивается в магнитном поле ядра. Но внутри этого слоя породы под океанами имеют значительно большую магнитную восприимчивость, чем породы под материками.

К 1940-м годам понимание земного магнетизма окрепло и существенные его особенности стали известны. Правда, продолжались работы по изучению влияния процессов, происходящих на Солнце; не прекращались и серьезные дискуссии об источнике геомагнитного поля. Казалось, уже найден главный механизм — конвективная циркуляция в проводящем жидком ядре, причем размеры последнего достаточны, чтобы движения сжимали магнитное поле быстрее, чем оно могло бы разрушиться (изучением этого процесса занимается магнитная гидродинамика). Создавалось впечатление, что в этом прочном полотне остается только подобрать болтающиеся нитки. Но, как это часто бывает в науке, такая самоуспокоенность была предвестником потрясения. После второй мировой войны выяснилось, что на протяжении миллиардов лет история земного магнетизма «записывалась» в горных породах и что она содержит много сюрпризов. Самое поразительное, — что Северный и Южный полюсы неоднократно менялись местами: они делали это много раз и определенно будут делать то же самое впредь — возможно, вскоре опять поменяются местами, а дно океанов, как гигантский магнитофон, будет продолжать фиксировать историю этих сальто-мортале. Следствия этих открытий были настолько серьезными, что рассмотрению их будет посвящена вся гл. 9 этой книги: «Посев семян революции».

## 3

## Окаменелости

Окаменелости, или ископаемые остатки, — это следы прежней жизни, сохранившиеся в геологических отложениях благодаря природным процессам. Это могут быть подлинные кости, раковины или ткани либо оттиски и отпечатки, сохраненные другим материалом, включая полые формы, откуда был удален первичный материал, или же естественные отливки, выполненные каким-то другим минералом, заполнившим такую литейную форму. Следы, оставшиеся там, где животное ползало, ходило или рыло норы, и окаменевшие экскременты (которые называют копролитами и ценят как драгоценные камни из-за того, что содержащиеся в них фосфаты часто образуют бирюзу) — это тоже окаменелости.

До XIX в. к «окаменелостям» относили все, что было выкопано из горных пород (латинское слово *fossilis* означает ископаемый). Поэтому минералы считались окаменелостями, и причудливые органические образования, обнаруживаемые в горных породах, изучались минералогией. Но когда в XIX в. поняли, что такие находки чрезвычайно важны не только для восстановления истории развития жизни, но и для определения относительного возраста пород, их содержащих, палеонтология отделилась от минералогии и стала развиваться как самостоятельная наука. Сейчас окаменелости важны для нас только тем, что они отражают присутствие живых организмов в прошлом.

## Мифы и суеверия

Такие предметы, конечно, вызывали любопытство с древнейших времен, особенно когда образования, очень напоминавшие морские раковины, находили вдали от моря, даже высоко в горах, или когда в породах, слагающих крутые обрывы, обнаруживали предметы, очень похожие на кости существующих животных, но чем-то отличающиеся от них, иногда гигантского размера. Некоторые из них становились предметами мистических поклонений, первобытные жрецы хранили их в священных местах как знак своего особого могущества или хоронили вместе с умершим. Возникли легенды о том, что скопления раковин высоко в горах были когда-то местами стоянок путешественников, приносивших с собой свои взятые в плавание припасы, а кости, иногда более крупные, чем кости известных животных, указывали места, где обедали существовавшие прежде велика-

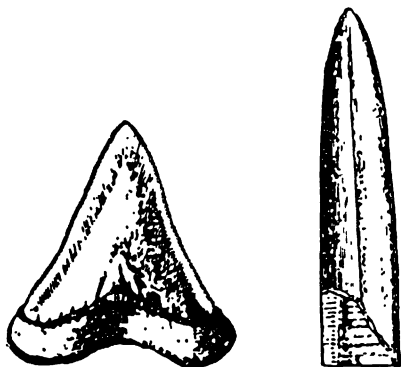


Рис. 5. «Каменный язык» (зуб акулы) и «громовая стрела», или «чертов палец» (ростр белемнита). Стено показал, что такие окаменелости не возникли внутри горных пород, а попали в них, когда породы еще были мягким илом на морском дне.

ны. С усилением веры в бога и дьявола стали считать, что окаменелости мог рассеять дьявол для искушения верующих. Эту точку зрения еще в XVIII в. изучали в Оксфордском университете.

Древние греки полагали, что янтарь («рысий камень»), который попадал к ним торговым путем с Балтики, представлял собой окаменелую мочу рысей, чем объясняли находки в янтаре целых насекомых многих видов. Это поучительный пример того, как развивается наука. То, что в янтаре часто встречались насекомые, прекрасно сохранившиеся вплоть до тончайших волосков, было загадкой. Янтарь должен был быть спокойно текущей жидкостью, когда в него попадали насекомые. Цвет наводил на мысль о моче. Кровь затвердевает, так почему не может затвердеть моча? Янтарь пришел с севера, из области обитания северной рыси. В эту догадку верили веками, хотя она основывалась на ошибочном предположении. Значительная часть всей ткани науки и по сей день содержит нити основы, которые оказались ложными. Но пока мы не выйдем из общей ткани принятых убеждений, мы об этом не подозреваем.

Широко распространенные в Западной Европе белемниты произошли от животных, родственных кальмарам, но их твердая часть, которую находят в виде окаменелости, выглядит как превратившаяся в камень сигара (рис. 5). Их называли «громовыми стрелами», полагая, что они образовались, когда удар молнии пронизал горные породы; их считали дурными предзнаменованиями. Даже в Англии XVII в. компетентные биологи, такие, как Э. Ллойд — валлиец, составивший превосходный каталог всех окаменелостей Музея Ашмола\* в Оксфордском универ-

\* Музей Ашмола — музей и библиотека древней истории, изящных искусств и археологии при Оксфордском университете. Основан в 1683 г. Элиасом Ашмолой (1617—1692). (Лингвострановедческий словарь «Великобритания». — М.: Русский язык, 1975.) — *Прим. перев.*

ситете, — не догадывались, от какого вида животных остались «громовые стрелы». Ископаемые белемниты чем-то напоминают истинные фульгуриты (от латинского слова *fulgur* — молния), которые образуются, когда молния проходит сквозь тонкий слой сухого песка в лежащий под ним влажный песок, обладающий высокой проводимостью, формируя трубки оплавленного кварца размером в человеческий палец.

Ископаемые зубы акулы длиной до 12 см тоже встречались довольно часто, так как акулы — очень примитивные рыбы, у которых нет костных челюстей и зубы выпадают (рис. 5). До XVII в. эти окаменелости не распознавали как зубы и называли «каменными языками», думая, что это окостеневшие языки рептилий или драконов, рассеянные злыми духами.

Долго просуществовало древнее представление о том, что окаменелости — это семена или зародыши, которым не удалось выречь. Это соответствовало идеям о самопроизвольном зарождении живых организмов в горных породах. Действительно, в подтверждение такой точки зрения и сейчас еще повторяются рассказы шахтеров и рабочих каменоломен, находящих живых лягушек или жаб в только что вырубленных породах глубоко под землей.

С очень давних времен некоторые ученые, например Ксенофан из Колофона (540—480 до н. э.) и Геродот (484?—425 до н. э.), приходили к выводу, что окаменелости на самом деле представляют собой остатки живших прежде организмов, и вопрос не в том, что они существовали, а в том, как они оказались там, где их обнаружили. Ксенофан утверждал, что морские раковины, встречающиеся на суше вдали от моря, оказались здесь потому, что в прошлом суша находилась ниже уровня моря. Когда Геродот установил, что дельта Нила была намыта сильными ежегодными наводнениями этой огромной реки, он заявил, что Египет был даром Нила, а подсчитав ежегодный прирост дельты, он осознал, как много прошло времени. Весь Нижний Египет находился ниже уровня моря, и потому там оказались окаменелости. Это заключение одобрил Аристотель в своей «Метеорологии» и двумя столетиями позже подтвердил Эратосфен, обнаруживший огромное количество морских раковин на суше в 3000 стадий (около 600 км) от моря. Страбон (63 до н. э. — 24 н. э.), греческий географ и историк, был полностью с этим согласен, и среди многих примеров движения суши относительно моря он приводил г. Спина (вблизи Равенны), прежде бывший морским портом, но в его время находившийся в 90 стадиях (около 18 км) от берега моря.

Однако догадки Ксенофана, Геродота и других, придерживавшихся подобного мнения, не привели к окончанию спора, и дискуссии о природе и значении окаменелостей продолжались в

Европе еще 2000 лет везде, где можно было, не опасаясь, думать вслух. Тем временем в Китае Ло Хань в IV в. н. э., Ли Тао-Юань в VI в., Йен Чжен-Чжань в VIII в., Шень Хуа в XI в. и Чжу-Си в XII в. установили истинную природу окаменелостей, рассмотрели, как они образовались, и то же самое сделал Мохаммед Казвини в Аравии в XIII в.

## Итальянская эпоха возрождения

Наконец, в Италии настала эпоха Возрождения. Во Флоренции под покровительством Козимо де Медичи возникла Академия Платона, вслед за которой в 1520 г. образовалась Академия в Падуе, затем в 1560 г. — Академия естественных наук в Неаполе и в 1570 г. — Академия Рыси в Риме. Вслед за Италией в течение следующих двух столетий стали развиваться науки на севере: в 1633 г. была создана Французская академия, в 1656 г. — Академия наук в Париже, в 1660 г. возникшие десятилетием раньше неофициальные научные общества Карл II объединил в Лондонское королевское общество; в 1700 г. образовалась Академия наук в Берлине, в 1725 г. — Королевское научное общество в г. Упсала и в том же году — Санкт-Петербургская Академия, основанная императрицей Екатериной Первой. Рождение этих академий, господство латыни как языка научного общения, ослабление оков Священного писания, распад феодального общества и рост отдельных элементов капитализма были близкими по сути фазами общего социального развития во всем христианском мире. Но в Италии геология шла всегда впереди до того, как в XIX в. ее захватила волна национального движения и политической борьбы.

Предшественником интеллектуального возрождения в Италии был Джерардо из Кремоны (ок. 1114—1187), который перевел на латинский язык множество арабских рукописей в Толедо, и из них хлынул поток древнегреческих и древнеримских учений. Затем последовали Боккаччо, Леонардо да Винчи и Фракасторо.

Флорентийский поэт Джованни Боккаччо (1313—1375), также знаток греческих наук, писал, что ископаемые раковины в холмах Тосканы остались от организмов, прежде обитавших в море, которое когда-то там находилось, и это несмотря на его явную близость с папами в Авиньоне и Риме. Спустя примерно сто лет Леонардо да Винчи (1452—1519), отвергавший догму и старавшийся все узнать сам (он был врачом папы Павла III), понял, что ископаемые раковины были остатками живших прежде морских организмов, и написал об этом в своих заметках, хотя и неопубликованных.

Джироламо Фракасторо (1478—1553), веронский врач и философ, который был почти на тридцать лет моложе Леонардо и на которого Леонардо оказал огромное влияние, придерживался такой же точки зрения, но, как и взгляды Леонардо, его выводы были опубликованы только после его смерти. Джеронимо Кардано (1501—1576), профессор математики в Милане и врач и астролог в Вероне, в 1552 г. утверждал в своем труде «*De varietate Reipm*» («О различных веществах»), что окаменелые раковины свидетельствуют о том, что местные холмы когда-то затоплялись морем. Бернар Палисси (ок. 1510—1589), гугенот, керамист, известный своими обожженными глазурями, жизни которого к тому же угрожала инквизиция, пришел к такому же выводу. Кроме того, он сделал еще одно важное наблюдение: ископаемые виды животных систематически отличались в существенных деталях от сравнимых с ними современных видов. Вымирания до Всемирного потопа были несовместимы с библейским описанием, и даже сам Потоп не должен был вызвать никаких вымираний, поскольку в Священном писании определенно сказано, что Ной взял с собой в ковчег всякой твари по паре.

Таким образом, опубликованные в то время работы полностью отделяли ископаемых животных от реальной жизни. Никакое иное представление не могло пройти цензуру, находившуюся под строгим надзором духовенства. В 1974 г. Микель Меркати подробно описал и точно зарисовал Ватиканскую коллекцию окаменелостей, но утверждал, что это были лишь камни, которые приобрели свою форму под влиянием звезд. Германский врач Андреас Либавиус писал, что окаменелости выросли в породах из семян и превратившихся в камень соков (*succus lapidius*). Это было ничуть не более абсурдно, чем бытовавшее тогда мнение, что личинки мух самопроизвольно возникают в гниющем мясе, а крысы — в старых тряпках. Другие полагали, что окаменелости — это игра природы, и многие (например, Оливи из Кремоны, 1584 г.) рассматривали их как особую категорию самозарождающихся существ (*sui generis*), не связанных с реальными живыми организмами, но не сомневались при этом, что Бог создал их, руководствуясь своими собственными соображениями. Даже в XVIII в. швейцарский натуралист Эли Бертран полагал, что окаменелости оставил сам Создатель «предполагая обнаружить тем самым гармонию Его труда и соответствие продуктов моря таковым на суше».

Тем не менее росло число ученых, считавших, что окаменелости представляют собой остатки реально существовавших животных, которые обитали в тех местах, где их теперь обнаруживают, а поскольку уже было доказано, что христианская догма оказалась ошибочной в своем утверждении, что центром на-

шей планетной системы была неподвижная Земля, авторитет церкви в вопросах естествознания начал рушиться. Признание того, что окаменелости — это жившие прежде существа, утверждалось и все шире распространялось по мере того, как об этом заявили Конрад Гезнер (1565), Бернар Палисси (1580), Императо (1599), Фабио Колонна (1616), Черути и Кьокко (1622) и многие другие. Но осторожность и благоразумие все еще были необходимы, чтобы уберечься от инквизиции.

О Роберте Гуке (1635—1703), который в течение многих лет был секретарем Королевского общества, помнят благодаря его вкладу в физику и микроскопию и благодаря его неординарным изобретениям, в том числе изобретению двухцилиндрового воздушного насоса (давшего возможность его учителю Роберту Бойлю открыть свой закон), ватерпаса, ареометра, морского барометра, балансира и анкерного механизма для часов и мареографа. Однако мало что известно о его глубоком и опередившем свое время вкладе в геологию, который был забыт главным образом из-за ожесточенной вражды Гука с Ньютоном (отвернувшимся от геологии). Эта вражда лишила Гука заслуженного признания как одного из самых блестящих и оригинальных мыслителей, живших когда-либо. Он открыл, что внешняя форма кристаллов зависит от их внутреннего строения. Он первым установил, что окаменелости представляют собой документы истории, фиксирующие не только палеогеографию и климаты прошлого, но и последовательность событий. Гук рассматривал процессы окаменения и пришел, кроме того, к выводу, что многие из собранных им окаменелостей были остатками давно вымерших существ. В молодости он опубликовал важную монографию о землетрясениях и высказал предположение, что они вызывают поднятие и опускание суши. Хотя геологические работы Гука были закончены и снабжены всеми необходимыми иллюстрациями, он не опубликовал их, очевидно, из-за жесткой борьбы с богословами и преследований с их стороны, которые, вероятно, не заставили бы себя ждать. Эти работы были опубликованы после его смерти, в 1705 г., но на них не обратили внимания и забыли их на 60 лет. По-видимому, их прочитал Геттон (см. следующую главу), но он не сослался на приоритет Гука.

Наконец, появилась работа блестящего молодого датского врача и натуралиста Нильса Стенсена (1638—1686), больше известного просто как Стено. В его «Продромусе» (предварительном кратком изложении), опубликованном в 1669 г., устанавливались законы осадконакопления (согласно которым слои, в настоящее время наклоненные или изогнутые, первоначально отложились в воде и залегали горизонтально; слои, отложившиеся на кровле других слоев, образовались позже них, а се-



кушние их трещины и минеральные жилы — еще позже), а также было показано, что захороненные в таких слоях животные превращаются в окаменелости. Он настолько детально и точно исследовал сравнительную анатомию как ископаемых, так и живых форм, что не осталось никакого места сомнениям. Его расположенные рядом рисунки ископаемых «каменных языков» и зубов, взятых у мертвой акулы, позволяли установить их идентичность. Поскольку позже всех этому поверили набожные христиане, первое, что пришло им в голову, — это объяснить все подобные морские окаменелости на суше существованием Всемирного потоп; такое объяснение просуществовало более столетия.

### Человек, подтвердивший Всемирный потоп

Это решение вопроса принесло новые проблемы. Потоп вряд ли должен был повредить морским организмам, однако большинство окаменелостей было морскими существами. Если бы библейский Потоп был правильным объяснением, среди окаменелостей должны были встречаться и люди, множество людей. Действительно, доктор Иоганн Якоб Шейхцер (1672—1733) из Цюриха, врач, свято веривший в теорию Потопа, прочитав сочинение Джона Вудворда «Очерк о естественной истории Земли» (1695), сообщил о найденных им многочисленных останках человека: о позвонках и целых скелетах, в том числе о самом знаменитом своем вещественном доказательстве, которое он назвал *Homo diluvii testis* (человек, подтверждающий Потоп). Не найденные им позвонки оказались позвонками рыб, и в них отсутствовали отверстия для спинного мозга. В 1787 г. Петрус Кампер исследовал «человеческие» скелеты и сообщил, что они принадлежат ящерицам, но в конце концов было установлено, что это скелеты саламандр. Образцы найденных Шейхцером позвонков до сих пор хранятся в Цюрихском университете, и в настоящее время известно, что их возраст около 200 млн. лет, а один из его «человеческих» скелетов саламандр (с возрастом 5 млн. лет) хранится в музее Тейлера в Гарлеме.

Подробные исследования показали, что хотя окаменелости в целом напоминали известные существа, они отличались от них в деталях так же, как лошадиные кости должны отличаться от ослиных, но для большинства окаменелостей не оказалось никаких живых существ, которые точно им соответствовали бы. Английский анатом Мартин Листер (1639—1712) был так сильно поражен этим несоответствием, что вернулся к старой точке зрения о самозарождении, а именно что окаменелости были

предметами особого рода, поскольку из Священного писания было ясно, что ни один вид живых существ не был забыт в ковчеге.

## Барон Кювье

На этой стадии развития науки столетие спустя появился Жорж Кювье (1769—1832), который, работая в своей лаборатории при Музее естествознания Парижских ботанических садов, стал величайшим в истории науки сравнительным анатомом и посвятил свою жизнь изучению ископаемых позвоночных. Это он точно определил, что ископаемый «грешник» Шейхцера на самом деле — саламандра, и назвал ее *Andrias scheuchzeri*.

Кювье был убежденным лютеранином; действительно, в 1822 г. его заслуги перед церковью получили признание и он был назначен деканом факультета протестантской теологии в Парижском университете. Тем не менее он язвительнее всех высказывался о религиозной слепоте Шейхцера: «Ничто, кроме полной научной слепоты, не может объяснить, как человек ранга Шейхцера — человек, который был врачом и должен был видеть человеческие скелеты, — мог впасть в такой великий самообман. Этот обломок, о котором он распространялся столь нравоучительно и который так долго поддерживал престиж его слов, не мог выдержать самой поверхностной проверки». И так бывает всегда. Религиозные верования застыт глаза и вводят в заблуждение здравые умы.

Несмотря на свою приверженность религиозной доктрине, Кювье был строгим эмпириком. Он наблюдал критически и тщательно и рассуждал на основе того, что видел. Он сравнивал аналогичные кости животных во всех группах, ныне живущих и ископаемых, независимо от их изменяющейся функции и таким образом поставил систематическую палеонтологию на прочный фундамент. Кювье был прежде всего зоологом, а его коллега Александр Броньяр — в основном геологом. Вместе они установили, что последовательно залегающие пласты содержат разные комплексы окаменелостей, по которым отдельные слои коррелируются по всему региону, и основали таким образом стратиграфическую палеонтологию, ставшую для познания истории Земли Розеттским камнем. Кювье восстановил последовательную смену фаун в Парижском бассейне снизу от третичных отложений до писчего мела мелового возраста. Он доказал, что гигантские ленивцы и предки слонов обитали в Европе в не столь уж далеком прошлом, но такие виды вымерли, хотя в книге Бытие о подобных вымираниях ничего не говорится.

Одновременно Уильям Смит сделал такое же открытие в Англии, установив, что отдельные слои содержат характерные для них комплексы окаменелостей. Он применил эти знания при проектировании каналов и прослеживании угольных пластов и, используя их, перешел к составлению первых геологических карт Англии. Как и для большинства значительных открытий в науке, здесь можно обнаружить предшественников. Джованни Ардуино из Вероны опубликовал стратиграфические карты в 1740 г., а более чем за сто лет до этого Роберт Гук высказал предположение, что окаменелости можно использовать для определения последовательности событий, как монеты в археологии.

Кювье не составило труда найти доказательства катастрофических наводнений, которые уничтожили жившие в то время организмы, вернее доказательства того, что они определенно происходили много раз и чередовались с длительными промежутками покоя между потопами, в течение которых новые фауны и флоры развивались взамен прежних; возможно, это были иммигранты из отдаленного региона, не захваченного последней катастрофой. Каждую экологическую нишу заполняли похожие животные, но это были уже другие, возможно, в чем-то более совершенные виды. Хотя более древние фауны были примитивнее более поздних, Кювье не считал это результатом эволюции, а рассматривал каждую новую фауну как новое творение — быть может, последовательные опыты Создателя. Незменная уникальность каждого акта творения была слабым местом в представлениях Кювье. Осуждая Шейхера, он точно так же сам попал в свою собственную ловушку. То, что он упорно отвергал наследование приспособляемости к условиям окружающей среды и полностью отказывался признать любую гипотезу о том, что ныне живущие виды могли произойти от вымерших ископаемых, отравило его дружбу с прежним учителем, сторонником эволюционной теории Жаном Батистом Ламарком, который поддержал его первое назначение на должность и содействовал его быстрой карьере.

### Эволюционные концепции

Чтобы понять рассуждения Кювье, представим себе последовательность моделей автомобиля марки «Форд» за восемь десятилетий нашего века. Мы можем проследить эволюцию легковых автомобилей в целом или эволюцию любого отдельного узла, например карбюратора, системы зажигания, смазки, трансмиссии, глушителя, амортизатора, тормоза, освещения, сигнала, аэродинамики кузова, загрязнения выхлопом, защи-

ценности от непогоды и т. д., прослеживая эволюцию принципов работы и массового изготовления. Каждая модель, несомненно, произведена на основе своих предшественниц с незначительными изменениями в одних местах и качественными скачками в других, каждое изменение дает преимущество для окружающей среды или выигрыш в конкуренции эксплуатационных качеств на рынке. Но при этом мы точно знаем, что генетически модели никак между собой не связаны, *разве что конструкторской мыслью*. Так же и Кювье, вероятно, представлял себе эволюцию лошади от эогипсуса — животного размером с козу, имевшего на ногах по пять пальцев и скакавшего по земле около 50 млн. лет тому назад, — до современного клайдесдаля, величественно шагающего длинными ногами с единственным пальцем. При этом каждый следующий вид был новым божьим творением. Вид — это вид, и должен остаться таким навсегда!

Предложенная Ламарком интерпретация той же самой последовательности лошадей должна быть такой: каждая особь претерпевает в течение своей жизни небольшие анатомические и физиологические изменения, обусловленные отрицательным и положительным воздействием условий окружающей среды, и затем передает эти изменения потомству. Определенные кость, мышца или орган могли укрепляться или ослабевать, либо возникала необходимость, чтобы они выполняли какую-то иную функцию. Хотя эти изменения в каком-то одном поколении могли быть второстепенными, накапливаясь на протяжении многих поколений, они приводили к качественным изменениям — такова была, например, эволюция от собакоподобных наземных животных до моржей и тюленей. То, что самка жирафа, дотягивающаяся до более высоких ветвей, чем ее соперницы, передает детенышу, которым она беременна, тенденцию к развитию более длинной шеи, придумали критики, иронизировавшие над взглядами Ламарка.

Интерпретация этой последовательности Чарлзом Дарвином заключалась в том, что внутри каждого вида проявляется значительная изменчивость. Хотя Дарвин не рассматривал человека, его идея понятна, если применить ее к нам самим. Среди почти 5 млрд. представителей единственного вида *Homo sapiens* нет двух одинаковых особей (за исключением генетических близнецов). Если какая-то характерная особенность (будь то физическая или физиологическая крепость, агрессивность, доброта или любая другая черта) увеличивает вероятность удачного брака для обладающего ею человека, тогда как другая особенность дает противоположный эффект, то процент людей, обладающих первой особенностью, будет увеличиваться в каждом последующем поколении, а процент людей со второй особенностью будет постоянно снижаться. Когда мы изобретаем

новый инсектицидный препарат, то на очень маленькую долю популяции насекомых, против которых он направлен, этот препарат не действует. После широкого применения такого препарата невосприимчивая к нему доля насекомых будет увеличиваться, пока вся популяция не станет невосприимчивой к этому инсектициду, и численность ее будет быстро расти до тех пор, пока ее не ограничат другие воздействия окружающей среды. Если бы случилось так, что небольшая часть человеческой популяции стала невосприимчивой к излучению с высокой энергией, то эта часть могла бы пережить ядерную войну и впоследствии вся человеческая популяция стала бы невосприимчивой к радиации.

Еще одно объяснение было предложено Линнеем (Карл фон Линней, 1707—1778, родился в Швеции), благочестивым христианином, который сначала собирался стать священником. Его очень беспокоило близкое сходство между отдельными видами растений, которое он наблюдал множество раз. Но чтобы не отступать от веры, он предположил первоначальный акт творения, за которым последовала широкая гибридизация, давшая и сохраняющая множество родственных видов, — она и объясняла их происхождение от ископаемых предков. Линней не учитывал, что межвидовые гибриды обычно не дают потомства и что между разными родами скрещивание не происходит.

В концепции Кьюэе отсутствует какая-либо генетическая связь между последовательно возникавшими видами, каждый вид отличен от другого и неизменен и для образования каждого вида, который когда-либо существовал, необходимо непосредственное божественное вмешательство. У Ламарка изменения, вызванные в отдельном индивидууме условиями внешней среды, могли быть унаследованы потомками и таким образом вид изменялся от поколения к поколению. Потомки общего предка через много поколений, возможно, уже настолько отличались друг от друга, что не могли больше скрещиваться, как пумы и тигры. Ламаркизм не содержал никакого божественного вмешательства. В дарвиновской концепции характерные особенности, приобретенные особью под воздействием окружающей среды, не передавались потомству. Любой признак, который оказывается благоприятным в данных условиях, постепенно формируется у все большей части популяции; любые уже бесполезные особенности, как, например, ноги у кита, атрофируются у части особей всей популяции и в конце концов исчезают. В эволюции Дарвина нет божественного вмешательства, но она и не объясняет причины начальной изменчивости. Эволюция Линнея включает единственный первоначальный акт творения, за которым последовало ничем не ограничиваемое скрещивание на протяжении многих поколений.

Эволюция Кювье построена на катастрофах; вся фауна уничтожается и заменяется новой, которую в свое время ожидает та же судьба. В моделях Ламарка и Дарвина эволюция непрерывна и происходит медленно и незаметно. Дарвин сказал: «*Natura non facit saltum*» («Природа не делает скачков»), что точно соответствовало полевым наблюдениям, породившим его теорию, и экспериментальным данным о том, что в генах организмов постоянно встречаются случайные мутации, дающие наблюдаемые изменения, которые с этого времени наследуются потомками.

Однако у Дарвина и его учеников осталась нерешенной проблема «недостающих звеньев»: крупные перерывы внутри очевидных эволюционных последовательностей трудно объяснить небольшими мутациями. Юрский археоптерикс, первая известная птица (размером примерно с голубя, целиком покрытая перьями, но с зубастыми челюстями рептилии, длинным хвостом и скелетом, больше похожим на скелет небольшого динозавра, чем любой птицы, и еще недостаточно сросшимися костями крыльев), — единственное известное звено между предками-рептилиями и потомками-птицами, но резкие скачки от рептилии к археоптериксу и затем к птицам трудно объяснить. Можно было бы возразить, что это лишь отражает пробелы в имеющихся у нас данных об окаменелостях, которые могли редко встречаться и составлять всего одну тысячную часть всего эволюционного ряда, если не меньше. Останки археоптерикса найдены только в Баварии в золенгофенском литографском известняке, обладающем совершенно исключительной способностью сохранять тончайшие детали. Несколько миллионов лет разделяют скелеты археоптерикса и следующей ископаемой птицы. Этот аргумент обычно приносил победу; тем не менее число и важное значение таких недостающих звеньев приводит по крайней мере в замешательство.

Более того, данные об окаменелостях позволяют довольно уверенно предположить, что случались вспышки «взрывной» эволюции, когда примерно в одно и то же время появлялось несколько таксономических групп организмов, возможно, от одного и того же предка. Например, восемь групп позвоночных — птерозавры (летающие рептилии, в том числе птеродактили, с перепонкой на крыльях, поддерживаемой сильно удлиненным четвертым пальцем), растительноядные птицеподобные динозавры (с тазом, как у птиц), хищные ящеротазовые динозавры (с тазом, как у ящериц), растительноядные ящероподобные динозавры (в том числе гигантские диплодоки и бронтозавры), крокодиловые (крокодилы и их родственники), птицы, змеи и ящерицы — произошли, по-видимому, как разные линии от примитивных предков-рептилий (текодонтот, у которых зубы располагались в осо-

бых ячейках) 200 млн. лет назад и после этого оставались отдельными ветвями. Тот предок-текодонт, очевидно, возник внезапно на 50 млн. лет раньше; от него произошли черепахи, плезиозавры (весьма процветавшая группа хищных морских рептилий), риноцефалы (буквально «клювоголовые» — из-за их клювоподобных черепов; из этой группы в настоящее время сохранилась одна новозеландская туатара), пеликозавры (полностью вымершая группа синапсидных рептилий) и терапсидные (звероподобные) рептилии, от которых произошли млекопитающие. Самы млекопитающие возникли, по-видимому, при эволюционном взрыве, когда около 200 млн. лет назад появилось большинство существующих ныне отрядов.

Такие резкие всплески эволюции совсем не трудно было предвидеть. Определенная часть углерода, поглощаемого растениями в процессе фотосинтеза и затем включенного в пищевые цепи, представляет собой радиоактивный изотоп  $^{14}\text{C}$ , который непрерывно образуется в результате воздействия космического излучения на атмосферный азот и в конечном счете входит во все живые клетки. Значит, в генах очень небольшая, но измеримая часть углерода должна быть радиоуглеродом, самопроизвольное превращение которого в азот (стабильный изотоп  $^{14}\text{N}$ ) должно изменить этот ген, часто вызывая его гибель, но изредка давая новый жизнеспособный ген. (Углерод и азот — важнейшие атомы в составе генетического материала.) Влияние этого спонтанного изменения на сотни миллионов атомов углерода в гене очень изменчиво, как и вероятность сопутствующим им редких критических замещений. Они могли послужить спусковым механизмом для взрыва эволюции, делая жизнеспособными многие из более частых мутаций, которые, возможно, не были бы эффективными без этого единственного, крайне редкого ключа.

Совершенно не касаясь таких вопросов взрывоподобной эволюции органического мира, в течение XVIII—XIX вв. бушевал спор между теми, кто отдавал предпочтение медленным, постепенным эволюционным изменениям, и теми, кто верил, что лишь эпизодические катастрофические процессы могли с течением времени, которое допускалось Священным писанием, создавать длительные и сложные серии событий, запечатленных в горных породах. Этому спору посвящена следующая глава.

## 4

## Нептунисты и плутонисты

Развитие науки в целом и геологии в частности происходило скачкообразно. Примитивный пантеизм, когда все таинственное приписывали влиянию богов, привел к золотому веку греческих и более практичных римских философов. С падением Римской империи наступило мрачное средневековье, когда в течение семи столетий наука регрессировала, пока возрождение научной мысли в Италии в XII в. не воскресило греческий стиль созерцательной, «кабинетной» науки. Еще семьсот лет наука опиралась на священные книги (как Аристотеля, так и Моисея), содержавшие самоочевидные истины и основы знания. Конец XVIII в. ознаменовался подъемом эмпирического прагматизма. Сама Земля с ее породами, горами и морями медленно заменяла античных авторов и становилась источником предположений и наблюдений.

Конечно, и в самые давние времена существовали бунтари-одиночки, которые боролись с религиозными предрассудками, наблюдали и делали выводы, а не верили доктрине, унаследованной от древних. Однако подобно мудрости Аристарха Самосского, на два тысячелетия предвосхитившего учение Коперника, их мудрость тонула в высоких волнах догмы. Среди первооткрывателей XVIII в. выдающимся по своей проницательности был Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765), который установил принцип актуализма (униформизма, позднее развитого Геттоном и Лайелем), определил решающую роль внутреннего тепла Земли, поднятия и опускания суши и весьма древний возраст Земли. Он понял, что образование складок и разломов, а также поднятие слоев были медленными и незаметными процессами в противоположность катастрофам, которые принимали без доказательств пришедшие позднее Кювье и Геттон. Почему идеи Ломоносова не были подхвачены сразу же? Его труды чересчур далеко опережали уровень знаний современников. Ученое общество приветствует небольшие шаги, а крупные скачки встречает издевкой. Прошло столетие, прежде чем Европа достигла ломоносовского уровня понимания геологических явлений.

Золотой век геологии конца XVIII — начала XIX в., подобно золотому веку греческих мыслителей двумя тысячелетиями раньше, вдохновлялся не профессорами — последователями Аристотеля (чьи консервативные догмы препятствовали новым идеям), а обладавшими досугом свободными людьми, такими, как Бюффон, Теллиамед, фон Бух, д'Обюиссон, Геттон, Холл,



фон Гумбольдт, Мурчисон, Лайель, Дарвин и Уоллес, финансовая независимость которых позволяла им совершать далекие путешествия не только реально, так сказать географически, но и благодаря полетам их фантазии, так что редкостные цветы не увядали на виноградной лозе. Поощряемая таким образом читающая публика стала больше интересоваться геологией, чем когда бы то ни было. Дополнительную остроту этому времени придавал резкий спор между научными школами, руководимыми двумя великими людьми.

## Вернер и Геттон

Абраам Готлиб Вернер (1749—1817) был выдающимся геологом, создателем целого направления, вдохновившим многих исследователей того времени. Среди его замечательных учеников были Гете (который под влиянием Вернера стал проницательным геологом), фон Гумбольдт, фон Бух и фон Шлотейм в Германии, Реусс в Богемии, Джеймисон в Шотландии, Кирван в Ирландии, Гриноу в Англии, д'Обюиссон, де ла Метерье, Кювье и Броньяр во Франции, Маклур и Итон в Америке. Все они и их руководитель были нептунистами: они полагали, что вся доступная наблюдению Земля родилась из воды. Противоположных взглядов придерживались плутонисты (теоретики подземного огня), возглавляемые Джеймсом Геттоном из Эдинбурга. Среди его последователей в Шотландии были Холл и Плейфер, в Англии — Лайель, в Италии — Брейслак и Фортис, во Франции — Демаре и в Венгрии — Фихтель. Спор между нептунистами и плутонистами начался еще до Вернера и Геттона, но они четко сформулировали конкурирующие представления, опубликовали и критически изложили их взгляды. В тесной связи с этим спором, но независимо от него шла борьба униформизма и катастрофизма, которая будет рассмотрена в дальнейшем.

Хотя Вернер провозглашал *ex cathedra* (с кафедры) взгляд на планету в целом, его полевые наблюдения ограничивались лишь холмами его родной Саксонии, доходя до Рудных гор на границе с Богемией. Однако он с детства глубоко интересовался рудниками и горным делом. Увлекаясь систематизацией и классификацией, Вернер всесторонне изучил все, что было написано его предшественниками. Он был превосходным оратором, но избегал писать.

Джеймс Геттон (1726—1797), сын эдинбургского негоданта и городского казначея, как и Вернер, всю жизнь был холостяком. Получив широкое образование, после недолгой медицинской практики в Лондоне он отказался от медицины, чтобы присоединиться к другу своего детства Джону Дэйви, который занимал-

ся в Эдинбурге производством аммиачной селитры из золы. Получив в наследство ферму в графстве Бервик, Геттон стал ученым-фермером и нашел время, чтобы продолжить занятия своей любимой геологией, проводя обширные наблюдения в поле. Теперь он читал скорее породы, чем книги. На много десятилетий раньше своих современников Геттон установил, что в породах запечатлена история Земли, и он старался овладеть их языком, ища характерные признаки в естественных обнажениях. В 1785 г. перед Королевским обществом Эдинбурга он прочитал свою лекцию «Теория Земли», которая произвела революцию в геологии. Его сообщения были серьезными и убедительными, но вместе с тем монотонными и скучными и не вдохновляли аудиторию. Однако заразительный энтузиазм, которым он обладал, передался двум его последователям, сыгравшим большую роль в распространении этой концепции: Холлу и Плейферу.

Джеймс Холл (1762—1831), имевший много свободного времени баронет Данглесс, сначала скептически относившийся к еретическим идеям своего соседа, тем не менее бродил по долинам вместе с ним, и Геттон обратил его в свою веру. Позднее Холл провел множество хорошо продуманных и совершенно оригинальных опытов, с тем чтобы проверить и подтвердить теорию Геттона о смятии слоев в складки, кристаллизации базальтов из расплавленной магмы и термальном метаморфизме известняка с превращением его в мрамор. Таким образом Холл, которого подтолкнул к этому Геттон, стал отцом экспериментальной геологии.

Джон Плейфер (1748—1819), священник и блестящий профессор математики и философии в Эдинбургском университете, под руководством Геттона и под воздействием его энтузиазма стал увлеченным геологом. Он писал настолько же живо, насколько Геттон — скучно, и стал посредником, благодаря которому работа Геттона привлекла всеобщее внимание. Среди других влиятельных друзей Геттона были доктор Джозеф Блейк — известный химик и Джеймс Уатт — знаменитый изобретатель паровой машины, но современную геологию основала именно дополнявшая друг друга триада Геттон — Холл — Плейфер: Геттон — наблюдатель и мыслитель, Холл — критик и экспериментатор и Плейфер — математик и популяризатор.

Вернер и Геттон выражали полярные точки зрения, две противоположные концепции развития Земли: Вернер полагал, что воды морских пучин и потопа, затопившие сушу, сформировали и создали все земные породы посредством осаждения, кристаллизации и эрозии; Геттон считал, что основной причиной их образования было тепло глубоких недр Земли, проявлявшееся в вулканах, землетрясениях и вертикальных движениях су-

ши. Эти системы взглядов, в которых с древнейших времен использовались понятия о первичных элементах — воде и огне, теперь получили названия *нептунизм* и *плутонизм*.

### Вернеровский нептунизм

Возводя свое здание на фундаменте, заложенном столетием раньше Стено (1638—1686) и Бенуа де Майе (1655—1728), писавшим под псевдонимом Теллиамед\*, Вернер объединил в исчерпывающую и универсальную теорию Земли несколько существовавших в его время концепций. Это были: итальянская стратиграфическая модель первичных, вторичных, третичных и четвертичных гор, впервые предложенная Ладзаро Моро (1687—1740) и развитая венецианским профессором минералогии Джованни Ардуино; идеи французов, начиная от классического энциклопедического труда графа де Бюффона «Эпохи природы»; девять последовательных стратиграфических единиц осадочных пород, установленных Георгом Кристианом Фюкселем (1722—1773) в горах Гарца и Тюрингии; идеи берлинского преподавателя минералогии и горного дела Иоганна Готлиба Леманна (1719—1767) и работа шведского минералога Торберна Улофа Бергмана (1735—1784) «Физическое описание Земли». Таким образом, вернеровская философия была органичным синтезом современных ему идей в геологии и минералогии; он только исключил сделанные в Италии наблюдения поднятия суши из моря. Для Вернера суша была стабильной, а океаны отступали и наступали. Его вдохновенные лекции привлекали слушателей даже из далекой Америки, но единственной его публикацией было краткое, на 28 страницах, резюме «Краткая классификация и описание различных категорий горных пород»; здесь понятие «горные породы» (*Gebirgsarten*) используется в особом, вернеровском, значении — так, как оно применяется в горном деле.

Вернеровский синтез, всеобъемлющий и оригинально развивающий предшествующие концепции, спланировал его последователей, а авторитет и обаяние учителя заставляли их безоговорочно ему верить, и они распространяли и защищали его взгляды во всех концах цивилизованного мира. Такова была гипнотическая способность самой личности Вернера. Наркотические семена догмы были посеяны. Бросается в глаза параллель с догмой тектоники плит 1970-х годов.

Вернеровская школа во Фрайберге стала главенствующей в Европе не только в фундаментальной теории и минералогии, но

---

\* Псевдоним Теллиамед образован прочитанными наоборот буквами его фамилии — de Maillet. — *Прим. ред.*

и в применении геологии к горному и инженерному делу. В течение двух столетий до Вернера поблизости от Фрайберга, протягиваясь через Саксонию до Богемии, находился центр горнорудной промышленности. В минералогии, разведке и добыче полезных ископаемых Вернер весьма полагался на работы Георга Бауэра (1494—1555) из Иоахимсталля (г. Яхимов в Рудных горах), более известного под латинским именем Георгиус Агрикола. Ведущее положение Фрайбергской горной академии в мировой геологии было обусловлено как вдохновляющей ролью личности Вернера, так и тем, что она явилась колыбелью нептоунизма. Нептунизм не пережил смерти Вернера, но его пример вдохновлял геологов еще многие десятилетия.

Коротко говоря, нептоунизм предполагает, что Земля была инертным пассивным телом с резко выраженным рельефом поверхности, которая сначала была затоплена спокойным Мировым океаном. Из этого первобытного моря первозданные кристаллические осадки отложились в виде слоя гранитов, который открыл самые высокие районы, так же как и самые низкие равнины, став фундаментом для всех более поздних пород. Со временем, по мере того как воды отступали, кристаллическое вещество продолжало выпадать из раствора, образуя сланцеватые породы, например гнейсы, слюдяные сланцы, серпентиниты и аспидные сланцы, причем с отступанием моря — на все меньших высотных отметках. Частичное возвращение вод, теперь уже обладающих большей турбулентностью, приводило к механической эрозии первоначально сформировавшихся пород, продукты которой образовали слоистые породы, иногда перекрывающие одна другую или залегающие на размытых поверхностях более древних пород (т. е. несогласно). Жизнь уже появилась, о чем свидетельствует присутствие окаменелостей во многих из этих слоев. Дальнейшее отступление морей завершило этот Первобытный (*Uranfänglich*) период.

Второй период, получивший название Флётцевого (*Floetz*, т. е. слой), поскольку в это время отлагались преимущественно горизонтально-слоистые осадочные породы, был периодом заметных колебаний уровня моря. Для него были характерны сильные бури, нещадно размывающие первичные породы, и неравномерное отложение обломочного материала, оставляемого морем. В спокойные периоды между штормами отложились кристаллические частицы известняка, гипса и каменной соли. Двенадцать последовательных формаций этого периода (в основном те же, что и у Леманна и Фюкселя) составили ту толщу, возраст которой сейчас считается пермско-триасовым, в том числе многие зоны, богатые окаменелостями. (Перечень геологических периодов см. на с. 100.) Последнее возвращение моря привело к осаждению кристаллических базальтов на некоторые из слоев

Флёцевого периода. Вернер подчеркивал гибкость своих представлений, допускающую региональную изменчивость этих слоев. Позднее он ввел Переходный период (*Uebergangsgebirge*) между Первобытным и Флёцевым периодом, чтобы лучше объяснить некоторые полевые наблюдения, касающиеся известняков, граувакк и диабазов (позднепалеозойского возраста).

Вслед за последним отступанием морей на Земле начались Вулканический и Аллювиальный (*Aufgeschwempte*) периоды, которые частично перекрывали друг друга, так как проявления того и другого все еще встречаются в наше время. К Вулканическому периоду Вернер относил лавы, пемзу и вулканический пепел (затвердевший до туфа), но исключал из него базальт и порфир, рассматривая их как породы Флёцевого или Первобытного периода. Кроме того, он выделил «псевдовулканические» породы, например некоторые кремни, роговики и яшмы, обожженные и измененные под воздействием вулканического тепла.

Нептунистская модель Вернера очень хорошо объясняла обнажения в горах и низменностях его родной Силезии, Богемии и Саксонии, и она получила широкое признание за то, что впервые объединила в общую глобальную теорию такой широкий спектр разнородных фактов и гипотез. Во всех горных хребтах Европы присутствовали ядра кристаллических пород, перекрытые наклонно залегающими слоями, а затем — горизонтальными слоями с возрастающей долей обломочных пород и уменьшающейся долей «химических осадков», таких, как известняк и гипс. Действительно, способность этой теории объяснить так много различных явлений служила аргументом в ее пользу, к которому в течение многих десятилетий прибегали нептунисты. По их мнению, столь универсальная теория должна была быть правильной и очевидные отклонения от нее в конце концов должны отступить перед такой всеобъемлющей концепцией.

В связи со слабым здоровьем Вернер не мог много путешествовать. Но поскольку его ученики (фон Гумбольдт, д'Обюиссон, фон Бух и др.) ездили повсюду, накапливались противоречия его идеям. Хотя вследствие этого ученики Вернера постепенно отдалялись от нептунизма, ни один из них никогда не утратил уважения и почтения к своему любимому учителю. В самом деле, даже если бы нептунизм был вычеркнут из истории науки, Вернер все равно возвышался бы как один из величайших геологов своего времени в силу того, что он вдохновил так много других исследователей. Прочитируем сэра Арчибалда Гейки (1897):

«Ни один из преподавателей геологической науки ни до, ни после Вернера не был даже отдаленно похож на него по степени влияния его личности или

по широте его прижизненной известности... Но никогда в истории науки не возникало более удивительного заблуждения, чем у Вернера и его школы, когда они полагали, что отбрасывают всякую теорию и возводят фундамент на точно установленные факты. Никогда не создавалось системы, где теория цвела бы таким пышным цветом, — теория, к тому же не подкрепленная наблюдениями и, как нам теперь известно, совершенно ошибочная. С начала и до конца существования вернеровского метода и его применения делались допущения, не имевшие под собой почвы, и эти допущения излагались как очевидные факты. Исходная точка для доказательства была принята как аксиома, и выводы геогностов, гордившихся тем, что они избегали умозрительных рассуждений, на самом деле были наиболее безнадежно умозрительны из выводов всех поколений, которые пытались решить проблемы истории Земли».

Лет через 80 Гейки смог бы написать это о современных защитниках механизма субдукции, которые, подгоняя факты к теории, создают 300 млн. км<sup>2</sup> океанической коры (никогда не существовавшей нигде, кроме их воображения), для того чтобы она снова исчезла, погружаясь в глубоководных желобах! Субдукция сегодня является столь же универсальным учением, каким был вернеровский непутизм для всей Западной Европы на протяжении XVIII в., и в нее так же слепо верят. Но, конечно, сейчас другое дело — субдукция действительно является истинной, и призыв Вернера снова гордо шествует по всему миру.

## Вызов плутонистов

Между тем Земля плутонистов, далеко не пассивная и не инертная, была динамичной, и ее поведение определялось внутренним теплом. Гранит, которого среди кристаллических пород, несомненно, больше всего, не осаждался из воды, а кристаллизовался из расплавленного состояния и был не самым древним, а образовался позже гнейсов и аспидных сланцев, в которые он внедрялся. Это было справедливо и для порфира. Базальт («голубой металл» рабочих каменоломен) тоже не осаждался из воды, но был лавой, которая изливалась на поверхность и растекалась на многие километры, пока не затвердевала. (Действительно, название «базальт» восходит к Плинию, который применил его к лавам, излившимся из Везувия, а затем было повторено в XVI в. Агриколой.) Геттон и его плутонисты были одновременно до некоторой степени непутистами, так как считали, что песчаники и глинистые сланцы произошли из осадков, снесенных с суши, — они отлагались пластами на морском дне, переслаиваясь с известняками, образовавшимися из морских раковин. Геттон полагал, что под воздействием тепла они сплавлялись в твердую породу (подобно тому, как при помощи тепла из глины делают кирпичи) и в конце концов преврати-

лись в глинистые сланцы, кристаллические сланцы, мраморы и гнейсы.

Сципио Брейслак (1748—1826), наблюдавший дислокации и поднятия, связанные с вулканами в Италии, думал, что подъем и опускание активной суши в пассивном море были более вероятны, чем наступание и отступление активных океанов относительно пассивной суши. Если правы нептунисты, то куда, — спрашивал Брейслак, — девались огромные объемы Мирового океана, когда уровень его становился низким, — и такие наступания и отступления повторялись много раз? Кроме того, чтобы содержать в растворенном или во взвешенном состоянии весь твердый материал земной коры, объем океана должен был быть во много раз большим, чем представляли себе нептунисты.

Теперь мы улыбаемся их наивной вере в такие предположения. Но и в наше время все специалисты по протерозойским полосчатым железосодержащим формациям, дающим почти все мировые запасы железных руд, всерьез верят, что эти огромные залежи действительно представляют собой вернеровские осадки, выпавшие из морской воды, которая, конечно, не могла содержать в растворенном состоянии так много железа. Невозможно себе представить и резкий переход от осаждения кремнезема к осаждению железа и обратно, в результате которого могли бы образоваться миллионы тонких прослоек, характерных для этих пород. (Я обращался к этой проблеме в своей книге «Расширяющаяся Земля», 1976.)

### Базальт: осадок или лава?

Ахиллесовой пятой нептунизма был базальт. Гранит тоже был слабым местом, но он все еще остается загадкой даже сегодня. Базальт часто встречается в Саксонии и Богемии, на большом удалении от каких бы то ни было видимых вулканов, обычно в виде горизонтальных слоев или покрывает холмы и повсюду переслаивается с Флётцевыми отложениями. Для Вернера это был просто другой химический осадок, свидетельствующий о том, что высокий уровень моря на время возвращался. Хотя Вернер никогда не видел вулканов, он знал, что идентичные породы были обнаружены в виде вулканической лавы. Однако это нисколько не смущало его, поскольку сам вулкан был для Вернера просто отверстием, идущим из горящих угольных пластов (какие он видел в Богемском угольном бассейне), которые расплавляли Флётцевые породы, содержащие базальт. И правда, в небольшом регионе, известном Вернеру, всюду, где был базальт, под ним залегали угольные пласты. Вернер приводил в пример обнажения на горе Шейбенберг в Саксонии, показывая

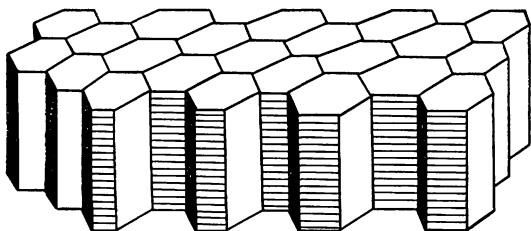


Рис. 6. Столбчатая отдельность в базальтах, обусловленная сокращением их объема во время остывания.

идеальный переход от песчаника и аргиллита Флёцевого периода к базальту. Характерной чертой его осадочного базальта было то, что при кристаллизации он растрескивался, образуя восхитительно-симметричные гексагональные столбы (названные столбчатой отдельностью, рис. 6), которые, как он думал, отличали известные ему базальты от редких базальтовых лав, существующих вблизи современных вулканов.

К досаде Вернера, его концепция образования базальтов вскоре была опровергнута его собственными верными учениками: фон Гумбольдтом, фон Бухом, д'Обюиссоном и Фойгтом. Леопольд фон Бух (1774—1853) в течение нескольких лет после отъезда из Фрайберга оставался преданным последователем Вернера, в том числе в вопросе о нептунистском происхождении базальта. Он заколебался в Италии, где увидел полевошпатовый порфир, образовавшийся в результате вулканизма (первичный осадок по Вернеру). Затем он осмотрел *потухшие* вулканы, обнаруженные в 1751 г. Жаном Этьенном Геттаром (1715—1786) в Овернской области французского Центрального массива, где благодаря скрупулезной работе Никола Демаре (1725—1815) давно было известно, что распространенные там базальты — это лавы. Демаре и Геттар первыми распознали в древних горах потухшие вулканы на различных стадиях денудации. Кроме того, Демаре установил, что истинные базальтовые лавы *имели* столбчатую отдельность. Фон Бух обнаружил, что в некоторых местах такие базальты залегают на толще гранита мощностью по крайней мере 400 м, но, согласно теории Вернера, гранит должен был быть первичным фундаментом, ниже которого под землей не могло быть горящих угольных пластов. Вулканическое тепло должно было поступать из более глубоких недр Земли, как утверждали плутонисты!

Жан Франсуа д'Обюиссон де Вуазен (1760—1819) завершил научный трактат о саксонских базальтах в соответствии с философией Вернера. Затем он тоже посетил Овернь, где увидел то же самое и сделал такие же выводы, как фон Бух до него:



базальтовые лавы произошли из горячего очага, находящегося ниже гранита. Более того, он отметил, что эти базальты по минералогическим и текстурным характеристикам, а также по внешнему виду идентичны базальтам Саксонии, и ему ничего не оставалось, как сделать вывод об их «полной идентичности по способу формирования и происхождению».

Иоганн Карл Вильгельм Фойгт (1752—1821) изучал право, но под магнетическим воздействием Вернера предпочел этому занятию геологию и стал горным советником на шахтах вблизи Ильменау в Тюрингии. Однако его теплые дружеские отношения с Вернером расстроились в 1779 г. после критического осмотра им контакта в подошве базальтов на склоне горы Шейбенберг в обнажении, которое так любил Вернер. Фойгт пришел к выводу, что кажущийся постепенным переход был обусловлен всего лишь тем, что базальт становился весьма тонкозернистым по направлению к подошве — как известно, так бывает в лавовых потоках — и алевролит на контакте с ним был обожжен до темного тонкозернистого роговика, весьма похожего на расположенный рядом базальт.

### Спор о граните

Всем, кто задумывался об этом, казалось, что гранит является первичным фундаментом, на котором залегают все остальные породы; предположить противоположное было действительно нелепостью. Однако Геттон еще в середине 1760-х годов пришел к выводу, что и базальт, и гранит — это магматические породы, поднявшиеся из глубоких подземных очагов в виде жидких магм и затем кристаллизовавшиеся. Он заключил, что гранит застывал в виде огромных тел неправильной формы на некоторой глубине ниже поверхности и обнажался лишь после длительных периодов эрозии. Базальт изливался на поверхность в виде лав, но Геттон обнаружил также крупные тела подобных пород, внедрившихся в расплавленном состоянии между пластинами слоистой толщи. Теперь они обнажались в результате эрозии, образовав ступенчатые холмы Нортумберленда и Срединной Долины в Шотландии.

Слепая преданность доктринам Вернера превратилась в вероисповедание, которое сохранялось десятилетия спустя после того, как основные догматы этой веры были развенчаны. Поскольку его апостолы *знали* правила, с уверенностью провозглашенные учителем, им не нужно было наблюдать и описывать, а следовало лишь определять, где перед ними обнажение, подходящее к системе взглядов Вернера. У. Х. Фиттон так опи-

сал реакцию одного из них на интрузивный контакт базальта в песчанике:

«Группа должна была пойти к утесам Солсбери, с тем чтобы показать д-ру Ричардсону контакт песчаников с базальтами, который рассматривали как поучительный пример подобного класса фактов. Когда достигли цели, сэр Джеймс (Холл) указал на значительное нарушение, имевшее место в зоне контакта, и особенно обратил внимание доктора на обломок песчаника, захваченный турбулентным движением поднимавшейся лавы и таким образом попавший в базальт. Когда сэр Джеймс закончил свою лекцию, доктор не попытался объяснить находящиеся перед ним факты одним из своих собственных принципов, не пустился он и в туманные рассуждения о том, что включение песчаника в базальт образовалось одновременно с ним. Однако в весьма резких выражениях он высказал презрительное удивление, что теория Земли должна опираться на столь мелкие и незначительные проявления! Он привык, по его словам, рассматривать Природу в ее самых крупных масштабах и видеть творения ее рук в гигантских утесах на побережье Ирландии, и для него непостижимо было, как сформировавшиеся на подобных масштабных примерах мнения специалистов можно было бы поколебать такими мизерными отклонениями, как те, которые ему показали».

Религиозную догму часто обвиняют в том, что она задерживала развитие геологии, но виновата была не религия сама по себе, а слепая вера в догму, и вернеровская догма точно так же заслуживает порицания.

Первое доказательство того, что гранит кристаллизовался из расплавленного состояния, Геттон обнаружил в граните Портсой на северо-востоке Шотландии. Это «письменный» гранит, названный так потому, что он содержит включенные в полевой шпат зерна кварца клиновидной формы, напоминающие рунические письмена и древнюю клинопись. Такая текстура не могла возникнуть в результате накопления выпавших из воды осадков, как требовали нептоунисты.

Далее Геттон попытался доказать, что гранит внедрился в уже существовавшие, или «вмещающие», породы как восходящая активная магма, а не был результатом плавления части этих вмещающих пород. Когда он посетил ту область в Грампианских горах, где крупное тело гранита обрамлялось слюдяными сланцами, то пришел в восторг, обнаружив множество широких жил (или даек, как их теперь следует называть) красного гранита, секущих сланцеватость. Вернер объяснял секущие жилы как осадки, заполнившие трещины сверху. Это вряд ли было применимо к граниту, который, как он утверждал, являлся первичным осадком фундамента, отложившимся прежде таких более поздних первичных пород, как гнейсы, кристаллические сланцы и серпентиниты. Хотя позднее в своих лекциях Вернер говорил о первом, втором и третьем граните, даже этот выход из положения не принес успеха, когда было установлено, что дайки суживаются и выклиниваются кверху.

Хотя Геттон опроверг нептунистскую теорию происхождения гранитов и показал, что то, что сейчас является гранитом, по крайней мере частично представляло собой активную магму, его наблюдения не отрицали возможность образования гранита в значительной степени в результате преобразования уже существующих пород. Гранитные тела столь велики, что возникает вопрос, что же занимало их место до того, как они внедрились. А вмещающие их местные породы были срезаны поперек их простирания на таких расстояниях, что следует спросить, где сейчас находятся недостающие части срезанных пород. Действительно, эти вопросы периодически возникали вновь на протяжении двух столетий. Арчибальд Гейки (1834—1924) в своем президентском обращении к Лондонскому геологическому обществу в 1882 г. отметил, что вопрос переработки местных пород в граниты снова требует обсуждения. В начале нашего века серьезно рассматривали только магматическую гипотезу, но в течение 1930—1940-х годов снова получила сильную поддержку и широко обсуждалась гранитизация осадочных пород.

Только в нынешнем десятилетии, наконец, были получены ответы на эти вопросы. Джон Эллистон многие годы указывал на сомнительность широко распространенного допущения, что интрузивные породы обязательно являются «магматическими». В блестящей серии основополагающих статей, опубликованных в журнале «Earth Science Reviews» начиная с 1984 г., он впервые подробнейшим образом рассмотрел орбикулярные (сферические) граниты. Это кристаллические породы, сложенные теми же минералами, что и просто гранит (правда, в нескольких сочетаниях), но эти минералы располагаются концентрически, подобно оболочкам луковицы, образуя связную массу этих оболочек (орбикул). Используя успехи в изучении химии поверхностей золь и гелей кремнезема, Эллистон показал, что орбикулы образовались из приобретших подвижность (мобилизованных) осадков, что эта текучая масса внедрилась, еще не раскристаллизовавшись, и что во время кристаллизации после внедрения температуры стали более высокими. Во второй статье он также досконально рассмотрел особый тип гранитов — граниты рапакиви и показал, что они имеют подобные же происхождение и историю. Таким образом, граниты рапакиви могли и внедряться, и образоваться из осадков, но никогда не были расплавленными. Наконец, Эллистон применил эти новые знания к гранитам вообще. И тем не менее достоверно установлено, что некоторые граниты могли возникнуть в результате последней стадии дифференциации базальтовой магмы; следовательно, как он объяснял, есть разные граниты. Около двух десятков лет назад, когда Эллистон только начал просвещаться в отношении гранитов, он находился в таком же затруднительном

положении, как и фон Бух, начавший изучать базальтовые потоки в Оверни. Вот как рассказывал об этом Гейки:

«Он еще не мог полностью разрушить узы вернеровской теории, привязавшей его к вероучению, которое он впитал во Фрайберге. Он не мог позволить себе поверить, что все, внушенное ему учителем о происхождении базальтов, все, что он так чудесно замечал в своих длительных путешествиях по Германии, было совершенно ошибочно. Он, несомненно, чувствовал, что это был не просто вопрос о происхождении одного вида камня. Вся доктрина о химическом осаждении пород земной коры находилась под угрозой. Если он сдастся в одном пункте, то где он сможет остановиться?»

То же было и с Эллистоном. Если он действительно поверит в то, что, как ему казалось, было верно для полевых шпатов его порфириидов, сможет ли он остановиться прежде, чем исследует сами граниты? Поскольку Эллистон далеко отступил от ортодоксальной догмы, прошло, возможно, лет десять, прежде чем его работа стала общепризнанной.

Со времен Геттона петрологи считали, что гранит кристаллизовался из расплавленной магмы, даже если спорили, поднялась ли магма с глубин, из расплавленного вещества корневой геосинклиналей, или образовалась путем переработки на месте. Основы химии, которым до сих пор обучают петрологов, — это законы поведения растворов и макромолекул, тогда как в геосинклинальных осадках эти принципы мешают и вытесняются химией поверхностей мельчайших коллоидных частиц. Один кубический метр породы имеет площадь поверхности  $6 \text{ м}^2$ , но кубометр жидкого глинистого осадка с частицами размером 1 нм имеет площадь поверхности 60 млн.  $\text{м}^2$ , и энергия его поверхности так велика, что поведение частиц определяют адсорбция и десорбция ионов и процессы гидратации и дегидратации, такие, как синерезис (самопроизвольное уменьшение объема студней и гелей, сопровождающееся отделением жидкости. — *Перев.*), тиксотропия (способность дисперсных систем восстанавливать исходную структуру, разрушенную механическим воздействием. — *Перев.*) и реопексия (процесс, противоположный тиксотропии. — *Перев.*). В течение двух последних десятилетий специалисты по физической химии разработали эту область науки, но эти знания не распространились среди петрологов, за исключением Эллистона. Эта симфония перехода золь в гели и гелей в золи в гармонии с разрушениями систем под действием напряжений имеет важные следствия для петрологии и формирования рудных залежей. В подготовке петрологов теперь необходимо вернуться назад, к исходным положениям первого года обучения.

## Плутонизм побеждает

Окончательную победу плутонизма над нептунизмом можно отнести к тому времени, когда последователи Геттона в 1834 г. образовали Шотландское геологическое общество для замены Общества естествознания, основанного Робертом Джеймисоном (1774—1854), профессором геологии Эдинбургского университета. В течение 50 лет Джеймисон надевал своим студентам шоры, чтобы они слепо верили идеям Вернера, и тем самым на десятилетия задержал развитие геологии в Шотландии. Очевидно, личность Джеймисона не привлекала восприимчивых учеников.

Взгляд в прошлое не оставляет сомнений в том, что догмы Вернера были в высшей степени ошибочны, и многие современные преподаватели, вероятно, цитируют его с насмешкой. Однако действительность не бывает только черной или белой; доктрины Вернера обеспечили продвижение истории развития Земли, необходимое Геттону. Вернер все еще стоит высоко в ряду великих ученых — мастеров синтеза и великих учителей. Проверкой для профессора является вопрос: чего достигли его ученики? Вдохновляющие идеи Вернера дали богатейший урожай великих геологов за все время существования геологии. В конце концов те «факты», что студенты узнают у своего профессора, преходящи, а вдохновение, которым он заражает их, остается с ними на всю жизнь.

В противоположность этому сила Геттона заключалась не в том, что он вдохновлял студентов (хотя кипучий энтузиазм его личности восхищал его друзей), а в установлении им новых принципов, со временем подтвердившихся: древний возраст Земли необходим, чтобы могли повторяться циклы осадконакопления, горообразования, медленной эрозии и выравнивания до пенеплена и наконец опускания ниже уровня моря, чтобы начался новый цикл; «настоящее — ключ к прошлому»\* (позже этот принцип был назван униформизмом); энергию для горообразования и превращения осадков в породы обеспечивает внутреннее тепло Земли; базальты прежде были жидкими лавами, а долериты и граниты — интрузивные породы, кристаллизовавшиеся при высоких температурах.

Собственный жизненный опыт Геттона тоже стимулировал его проникательность: Земля была движимой теплом машиной, подобно паровому двигателю Уатта, организмом с циклами расхода и возобновления энергии (докторская диссертация Геттона была о циркуляции крови); Земля, подобно его собственной

---

\* Далее в тексте автор правильно указывает, что этот принцип впервые сформулировал Ч. Лайель (см. с. 79). — *Прим. перев.*

хорошо организованной ферме, непрерывно восстанавливала необходимые для жизни вещества; она представляла собой химический завод с набором элементов, изменяющихся циклически.

## Катастрофизм и униформизм

Слова «катастрофизм» и «униформизм» были изобретены и использованы саркастически в ретроспективной работе Уильямом Хьюэллом (1794—1866), профессором минералогии Кембриджского университета, когда он разбирал трактат Лайеля «Основы геологии, представляющие собой попытку объяснить прежние изменения земной поверхности причинами, действующими и в настоящее время», опубликованный в трех томах с 1830 по 1832 г. Однако спор между катастрофизмом Платона, устойчивостью Аристотеля и циклическим космосом стоиков имеет древние корни. И он все еще оставался основным предметом разногласий между Вернером (и другими, например Кювье), с одной стороны, и Геттоном, за которым следовал Лайель, — с другой.

Катастрофизм, который был ведущей догмой в течение предыдущих полутора столетий, предполагал, что важными процессами в истории Земли были процессы, гораздо более мощные, чем любые из тех, что известны в настоящее время. Как и у большинства широких интеллектуальных направлений, у катастрофизма были свои разновидности. Одни признавали божественное вмешательство, другие — только влияние природных сил, но лишь таких, которые не действуют в настоящее время. В частности, Кювье полагал, что перерывы между выделенными им сериями ископаемых фаун были гораздо более длительными, чем могли бы создать любые действующие сейчас процессы. Трудности в отношении времени были серьезными, поскольку Земле, согласно Библии, было всего 5000 лет. Некоторые четко делили прошлое на период существования человека после потопа (постдилювиальный период), когда действовали современные процессы, и на период до потопа, когда преобладали совсем иные условия. Другие, особенно английские геологи-священники, такие, как Бакленд, Конибер, Седжвик и Флеминг, привязывали эту классификацию к Священному писанию.

Идеи униформизма восходят к Геродоту, к V в. до н. э.; после перерыва их развитие продолжил Роберт Гук в XVII в. В середине XVIII столетия граф де Бюффон писал: «Чтобы судить о том, что происходило в прошлом, и даже о том, что произойдет в будущем, необходимо только рассмотреть, что происходит сейчас... События, происходящие ежедневно, движения,

которые следуют одно за другим и повторяются без перерыва, неизменные и постоянно повторяющиеся действия — вот наши причины и наши доводы». Но четко эта концепция была сформулирована Геттоном в 1785 г. в кратком реферате и более полно — в 1795 г. в его книге «Теория Земли». Апологеты униформизма утверждали, что наблюдаемые сейчас процессы эрозии, осадконакопления, вулканизма и изменения уровня моря могли обусловить и фактически обусловили все события в истории Земли, и что это означает почти невообразимую продолжительность эволюции Земли. Ключевыми положениями униформизма были: «настоящее — ключ к прошлому» (как впервые сказал Лайель) и «мы не находим никаких следов начала и никаких перспектив конца» (как впервые сказал Геттон). В униформизме также существовали разные течения. В Западной Европе (например, Фюксель) и России (Ломоносов) он подразумевал непрерывное действие современных процессов, или «актуализм», т. е. не совсем то же самое, что проецирование в отдаленное прошлое известных законов природы, которое долгое время было принято. Некоторые, например Геттон, Плейфер и Холл, видели чрезвычайно продолжительные спокойные периоды эрозии, в течение которых древние горные системы разрушались до пепленов и которые разделялись короткими бурными революциями, когда слои сминались в складки, образуя горы, а моря отступали с поднимающейся суши. Это была смесь униформизма и катастрофизма; действительно, для своих революций Геттон использовал слово «катастрофа».

Кювье, блестящий мыслитель и отец сравнительной анатомии, был совершенно не способен примирить мелкие различия, которые он наблюдал в современных процессах, с колоссальными изменениями, очевидными в последовательности слоев. Однообразие процесса должно было прерываться бурной катастрофой совсем другого масштаба. Его недалекость заключалась в том, что он не осознавал безграничность геологического времени в сравнении с продолжительностью жизни человека. Отметим параллель с Тихо Браге, который не мог представить себе огромность расстояний до звезд по человеческим меркам.

Чарлз Лайель (1797—1875) родился в состоятельной семье и поэтому смог оставить адвокатскую практику, чтобы заняться геологией. Он делал это так успешно и настолько увлек общественность, что стал выдающейся фигурой и получил титул баронета. Это он установил, что не только стадия медленной денудации, но и «импульсивные» стадии вулканизма, горообразования, поднятия и погружения континентальных областей могли быть вызваны медленными процессами, действующими в настоящее время. Он заменил все импульсивные революционные события спокойным градуализмом и благодаря искусной защи-

те своих идей и упорному их повторению в конце концов убедил своих критиков, что так оно и было. Убедительное изложение униформизма Лайелем было с восторгом воспринято в Англии, но эту концепцию не так быстро признали в Германии, где сильное тормозящее влияние оказывали взгляды фон Буха и фон Гумбольдта, и во Франции, где традицию Кювье поддерживали Эли де Бомон (1798—1874) и Альсид д'Орбиньи (1802—1857). Укоренившаяся догма умирает с трудом. Но даже в Англии Уильям Томсон (лорд Кельвин) уже готов был развенчать геологов, заметив, что униформизм Лайеля был по существу вечным двигателем и, следовательно, он невозможен. Но это было преувеличением — ведь хотя Геттон мог «не найти следов начала», и он, и Лайель были христианами, признававшими божественное происхождение мира, несмотря на то что следов его не было в горных породах.

Среди обеих групп большинство признавало повторяющиеся циклы эрозии и осадконакопления, воздымания и горообразования, но многие (как Геттон и Лайель) не видели никакой противоположной тенденции, никакого прогресса или общей направленности развития, тогда как другие признавали неуклонное понижение интенсивности процессов, обусловленное либо потерей тепла остывающей планетой, либо какой-то другой причиной. Но никто не представлял себе противоположной тенденции экспоненциального усиления тектонической активности, которое, как я хочу обосновать позднее, происходит в действительности. Явное движение вперед и направленность в истории Земли реальны и значительны. Например, развитие жизни от прокариот до гоминид остается эмпирическим фактом независимо от того, какую модель предпочесть для его объяснения — Кювье ли, Ламарка, Дарвина или Линнея.

Интерпретировать все древние явления с точки зрения современных процессов было бы ошибкой. В течение первых трех четвертей истории Земли не существовало наземных растений, так что главным переносчиком обломочного материала служил ветер и, поскольку в атмосфере было мало кислорода, процессы выветривания были иными. Из-за этих и некоторых других ограничений настоящее является лишь несовершенным ключом к прошлому.

Исключительное событие — это только другой вид катастрофы, находящийся за пределами этого обсуждения, но его выделяют в последние десятилетия. Считают, что в конце мезозойской эры, около 70 млн. лет назад, сопровождавшемся массовыми вымираниями животных и геохимическими аномалиями, произошло столкновение Земли с крупным астероидом. Эдвард Буллард когда-то отметил, что «с такой сложной системой, как Земля, почти что угодно может произойти случайно». П. Э. Гре-



тенир добавляет, что вероятность выбросить шестерки на всех восьми игральных костях при одном броске равна одной полтора миллионной, но при 5 млн. бросков вероятность того, что все восемь костей повернутся шестерками вверх хотя бы один раз, составляет по меньшей мере 95%, т. е. почти несомненна. Так что за 4 млрд. лет истории Земли, как сказал Буллард, «невозможное становится возможным, возможное — вероятным, а вероятное — практически безусловным».

В студенческие годы на меня глубокое впечатление произвела основополагающая статья Джозефа Баррелла (1869—1919), написанная им незадолго до смерти, — «Ритмы и измерения геологического времени». В ней подчеркивалось значение ритмов и эпизодических импульсов в осадконакоплении, о которых свидетельствуют повторяющиеся короткие перерывы, названные Барреллом диастемами. Я сам убедился в этом в сентябре 1935 г., когда был вблизи эпицентра чрезвычайно сильного землетрясения в горах Торричелли на острове Новая Гвинея (землетрясение с магнитудой 7,9 при неглубоком очаге). Последовавшие за этим изменения для рек и осадконакопления в предгорьях были гораздо большими, чем те, которые возникли бы в результате обычных процессов, продолжавшихся веками. Проф. Дерек Эйджер из г. Суонси удачно сравнил осадконакопление с жизнью солдата — долгие периоды скуки, перемежающиеся короткими периодами страха!

## Основные положения униформизма

Коротко говоря, принцип униформизма остается краеугольным камнем геологии, других ретроспективных наук и в какой-то мере вообще всех наук. Однако униформизм облачался в одежды множества разных оттенков, на которые ученые смотрели сквозь собственные цветные фильтры, и мы все еще не договорились об общей палитре. Легко назвать 10 основных положений униформизма:

1. Вселенная рациональна, без произвольного божественного вмешательства. Большинство, если не все ученые, вплоть до начала XX в. должны были ограничивать это представление временем после первого акта творения.

2. Законы природы постоянны во времени и пространстве. Кеплер утверждал это в 1618 г.

3. Историю Земли можно восстановить исходя из последовательного положения пластов, несогласий, ископаемых фаун, вулканических отложений и т. д. (закон суперпозиции).

4. Все геологические явления и процессы были такими же, как те, что наблюдаются в настоящее время. Геттон и Кьюве

делали исключение для орогенических революций, но Лайель относил этот принцип и к ним.

5. Градуализм: крупные изменения в прошлом совершались в результате суммирования небольших изменений, происходивших в течение очень долгого времени. Монотонное, медленное сглаживание гор под действием выветривания, эрозии и переноса материала реками было легко доказать, но орогеническая революция была не столь очевидна. так как обычно отражалась только в несогласии и изменении фауны в породах над ним. Наблюдавшиеся Лайелем в Италии последовательные поднятия, сопровождавшие землетрясения или извержения вулканов, убедили его в том, что новые горные системы образовались в результате суммирования незначительных явлений, наблюдавшихся в настоящее время.

6. Отдельные виды организмов постоянны и неизменны. Так полагали Кювье и Лайель, хотя последний в конце концов все же вынужден был признать доводы Дарвина. Сегодня мало кто из ученых согласен с этим, если такие вообще есть.

7. Катастрофизм: прошлая история Земли включала события во много раз более мощные, чем любые наблюдавшиеся в течение истории человечества. Так среди многих других считали Кювье и Геттон, но это отрицал Лайель.

8. Исключительные события, происходившие в течение истории Земли, не обязательно были катастрофическими, но вызывали изменения в самом ходе истории. Такими событиями могли быть первоначальный акт творения, образование Луны путем отрыва от Земли или захват ее с прежней независимой орбиты, столкновение с крупным астероидом, природный ядерный взрыв (такой, как взрыв, установленный в докембрийских породах Габона, где, очевидно, имелась критическая масса радиоактивных элементов, возможно даже трансурановых), возникновение жизни, раскол Пангеи (если его интерпретировать как уникальное событие), изменение атмосферы от углекислой до содержащей свободный кислород и другие, пока только предполагаемые события.

9. Циклы: несомненно, имеется много естественных циклов, влияющих на геологические процессы, например суточное вращение Земли, месячный лунный цикл, годичное обращение Земли вокруг Солнца, нутация земной оси (18,6 года), движение Солнца вокруг центра масс Солнечной системы, уравнивающее притяжение планет (178 лет), прецессия земной оси (25 700 лет) движение Солнечной системы вокруг центра Галактики (около 250 млн. лет), релятивистское смещение перигелия земной орбиты (600 млн. лет) и, вероятно, другие. Некоторые русские (в том числе П. Н. Кропоткин) и многие европейские геологи подчеркивают значение пульсаций с различными периодами.

Такая цикличность не противоречит никаким другим явлениям.

10. Дирекционализм (направленность): большинство ученых предполагают постепенное увеличение энтропии (грубо говоря, беспорядка) от начала, когда энергия была велика, к конечному исчезновению свободной энергии в соответствии со вторым законом термодинамики. Напротив, биологическая эволюция подразумевает постепенное уменьшение энтропии. Большинство ученых принимают как аксиому, что система Земля — Луна — Солнце — это замкнутая термодинамическая система с неизменным соотношением массы — энергии. Полагают, что геологическая активность снижается из-за уменьшения радиоактивности и потери первичного тепла (Конибер и Кельвин). Сейчас некоторые специалисты в области космологии предполагают, что гравитационная постоянная уменьшается со временем. Лайель отстаивал устойчивое состояние, отрицая какую бы то ни было направленность развития. За исключением Чарлза Шухерта из Йейла, почти никто не защищал точку зрения, что интенсивность геологических процессов со временем увеличивается. В заключительной главе я выдвину доводы в пользу этого, а также того, что как масса, так и энергия с течением времени возрастают, но сумма их остается постоянной, так как они стремятся взаимно обратиться в нуль.

## 5

### Ледниковая эпоха

Ледниковая эпоха — это сегодня хорошо знакомый всем термин, практически общеизвестное понятие нашей культуры. Но еще два столетия назад лед не считали важным геологическим агентом эрозии и транспортировки материала. Затем за признание ученым обществом по очереди боролись приверженцы трех догм: потопа, дрефта (разноса льдинами) и материкового оледенения. Всемирный катаклизм медленно заменялся непрерывным процессом, действие которого еще наблюдается в настоящее время, — униформизм против катастрофизма под новыми знаменами. Прогресс наступил, только когда удалось свергнуть догму.

Концепция потопа (дилювиальная гипотеза) в том смысле, что огромные наводнения опустошали сушу и оставляли после себя морские раковины, восходит по меньшей мере к Анакси-

мандру (VI в. до н. э.) и, немного позднее, Ксенофану, но расцвета эта концепция достигла в христианском мире, поскольку различные аномалии объясняли библейским Потопом. Однако дилювиальная гипотеза в строгом смысле — это более позднее изобретение.

В начале прошлого века натуралисты всей Европы были озадачены странными поверхностными отложениями, для которых, казалось, необходимо было какое-то особое объяснение. Инородные глыбы пород весом в десятки тонн и достигающие нескольких метров в диаметре, не похожие ни на какие породы, залегающие поблизости, встречались на склонах и даже на вершинах холмов. При этом иногда одна глыба располагалась на другой или они лежали в руслах рек, как будто их переместили сильнейшие наводнения. В низменностях были широко развиты отложения «тилла» (валунной глины) — водонепроницаемого неслоистого грунта, который содержит также похожий набор экзотических пород самых разных размеров: от гравия величиной с горошину до крупных валунов. Там присутствовали и ритмично-слоистые, иногда волнистые слои глин, алевроитов и песков, содержащих подобный же набор экзотических галек и даже валунов. В зоне речных террас на них залегают обычные аллювиальные отложения, явно образовавшиеся в результате паводков современных рек, и некоторые из этих осадков содержат ископаемые растения или ископаемых животных современного типа. Что же это за необычные доаллювиальные («дилювиальные») образования и какой процесс отложил их там?

В Англии, где буквальная вера в тексты Бытия была самой прочной и лидерами в геологии были их преподобия Кидд, Баклэнд, Конибер и Седжвик, ответ был очевиден. Это было явное доказательство Всемирного потопы, затопившего Англию и погружившего ее до глубин примерно 1500 м, а Альпы — почти до 3000 м. Сильнейшие течения сметали все на своем пути и оставили крупные и мелкие обломки, выбросив их на берег, где они, наконец, отложились в сотнях миль от своего источника. Этот Потоп соответствует последнему наводнению Кювье. Христианские богословы утверждали, что хотя в рассказе Моисея не упоминается о более ранних потопах, это не исключает их. Многие, кто признавал доказательность полевых данных о всеобщем наводнении, тем не менее возражали против их корреляции с моисеевым потопом.

Уильям Баклэнд (1784—1856), закончив курс богословия, стал читать в Оксфорде лекции по минералогии (в 1813 г.) и геологии (в 1818 г.). Как божья искра и мастерство Вернера во Фрайберге, так и обаяние Баклэнда и его искусство чтения лекций привлекали множество талантливых людей. Баклэнд исследовал осадочные отложения в европейских пещерах, содер-

жащие кости львов, слонов, носорогов, гиппопотамов и гиен (но не человека), сохранившиеся только в пещерах, потому что неистовство Потопа смыло их с поверхности Земли. Изучив перекрывающие отложения, он сделал вывод, что Потоп не мог произойти раньше чем 5000 лет назад (число, которое хорошо согласуется с подсчетом архиепископа Джеймса Ашера, сделанным в 1650 г., что Земля была сотворена в году 4004 до н. э., а Потоп произошел в 2349 г. до н. э.). Коллега Баклэнда по Кембриджскому университету профессор геологии Адам Седжвик (1785—1873) подчеркивал, что это было совершенно независимым доказательством правдивости Священного писания.

Но многие сомневались в том, что воды потопа, даже весьма сильного, способны были перенести столь гигантские валуны и так далеко от их источника. Фон Бух показал, что экзотические глыбы, рассеянные по равнинам Германии и Польши, были принесены из Скандинавии. Валуны норвежского ларвикита — красивой и весьма специфической породы, пользовавшейся популярностью как материал для облицовки зданий, — были обнаружены даже вдоль побережья Йоркшира. Уже в 1780 г. Иван Лепехин (1740—1802), русский врач, установил, что инородные глыбы на равнины северо-западной России переместил лед. В 1815 г. Джон Плейфер писал, что ледник, который перенес на своей поверхности огромные валуны, — это единственный известный нам агент, способный перемещать их на такое расстояние. Кроме того, на юге Франции были обнаружены ископаемые остатки фауны арктического типа, например северных оленей и полярных птиц, что означало холодный климат в широтах на половине расстояния до экватора. Следовательно, логично было предположить, что огромные эрратические глыбы (от лат. *erratus* — заблудившийся) были разнесены по всей территории Англии и на такие большие пространства в Западной Европе таявшими айсбергами. Так диллювиальная теория уступила место теории ледникового дрефта.

Определенные проблемы, вызывавшие недоумение, еще оставались. Огромные валуны гранитов и кристаллических сланцев на юго-восточных склонах гор Юра были совершенно чужды известнякам и глинистым сланцам этого региона, но они напоминали породы, выходящие на поверхность в расположенных напротив Альпах, в противоположном борту долины Роны и на Швейцарской равнине. Жан Андре де Люк предположил, что они были переброшены примерно на 100 км через долину давлением воздуха, когда в результате опускания суши подверглись сжатию глубокие пещеры! Знаменитый альпинист и натуралист Орас Бенедикт де Соссюр (1740—1799) заметил, что разные типы валунов были связаны с их материнскими породами в расположенных напротив Альпах направлениями долин и

что для переноса валунов требовались катастрофические наводнения; при этом подразумевалось, что стремительное течение занесло некоторые валуны на 1000 м вверх к местам их залегания! Геттон предполагал, что перемещение валунов произошло до того, как Рона выработала свою долину, когда Альпы были намного выше и их покрывал лед (высокие пики Альп, такие, как Монблан, явно представляли собой образовавшиеся под действием эрозии останцы гораздо более обширных массивов), и все инородные валуны, обнаруженные в горах Юра, соскальзывали вниз по склонам Альп, переносимые ледниками, туда, где они находятся теперь.

Б. Ф. Кун в 1787 г. описал перенесенные ледником Гриндельвальд в Швейцарии обломки пород к месту их отложения как морену и ее конец; затем он проследил древние морены и понял, что прежде ледник распространялся вниз по долине намного дальше. Проведенное Куном изучение альпийских ледников было расширено де Соссюром, а позднее — другим отважным альпинистом Ф. Ж. Юги.

В сельском фольклоре содержатся правдоподобные, хотя часто и обманчивые объяснения всех природных явлений, но альпийские крестьяне, жившие триста лет назад, далеко опережали своих эрудированных современников, зная от своих отцов, что сами ледники нагромождали гряды валунов у своих концов. Поэтому было вполне естественным открытие швейцарского охотника за сернами Жан-Пьера Перродена. В 1815 г. он обнаружил, что современные альпийские ледники представляют собой лишь сократившиеся в размерах остатки прежних более обширных ледяных массивов. Постепенно спускаясь ниже современных морен этих ледников, он проследил ряд более древних морен на более низких уровнях далеко вниз по долине. Он убедил в этом поначалу скептически настроенного инженера Игнация Венеца, который затем продолжал исследование в течение следующих десяти лет, пока не смог объявить в 1829 г., что ледниковый покров, образовавшийся в Альпах, покрывал Швейцарскую равнину в виде слоя толщиной более 1000 м. Расширяясь вверх на горы Юра и распространяясь на другие части Европы, он и сгружал породы Альп на больших расстояниях как в длину, так и в ширину при таянии льда. Так началась цепная реакция от швейцарского фольклора к Перродену, сломившему сопротивление Венеца, который в свою очередь убедил Шарпантье, тот — Агассица и Баклэнда, и наконец удалось победить установившееся общее мнение.

Удивительное предположение Венеца встретило слабую поддержку и вызвало множество насмешек. Жан Шарпантье (1786—1855), директор соляных шахт возле Бе в долине Роны к юго-востоку от Женевского озера, тоже вначале при-

нял его скептически (и даже сопровождал Венеца в экскурсиях, чтобы помочь своему другу освободиться от сумасшедших идей). Но затем он полностью признал доводы Венеца. Составляя карты ледниковой штриховки и бороздок на сложенном коренными породами ложе ледника, прослеживая гряды морен и пути перемещения отдельных типов эрратических валунов до материнских пород, он изучил в деталях линии течения льда. Шарпантье, в свою очередь, тоже в общем встречал одни насмешки, и один из его старых друзей, блестящий молодой швейцарский натуралист Жан Луи Родольф Агассиц (1807—1873), сопровождавший Шарпантье в поле, чтобы указать ошибочность его наблюдений, лишь сам убедился в том, что Шарпантье, а до него Венец были правы.

В течение следующих 30 лет Агассиц вел кампанию в защиту оледенения в Европе, Англии и Северной Америке с усердием миссионера. Он отстаивал идею единого огромного ледового покрова, простиравшегося от Арктики до Франции и через Канаду прямо на территорию США, хотя впоследствии стало ясно, что лед наступал из нескольких центров. Как обычно и происходит с новой научной концепцией, сопротивление и диффамация сначала были почти всеобщими. Фон Гумбольдт из добрых побуждений и уважения к превосходной опубликованной работе Агассица об ископаемой рыбе советовал ему отказаться от этих диких умозаключений и вернуться к анатомии. Карл Шмпер, бывший школьный товарищ Агассица, принял концепцию оледенения и придумал ей название *Eiszeit* (ледниковая эпоха).

Продвижение ледниковой теории с 1830-х до 1860-х годов было таким же, как теории дрейфа континентов сто лет спустя. Заклэнд, главный приверженец дилювиальной теории, а затем теории ледникового дрейфа, сначала был осторожен, но в конце концов данные полевых наблюдений убедили его, и он стал преданным сторонником Агассица. Фон Бух, уже достигший почтенного возраста, оставался непримиримым противником этой теории до самой смерти (в 1853 г.). Мурчисон твердо придерживался дрейфовой теории и лишь в последние годы жизни допускал ограниченную роль материкового льда. Лайеля долго не удавалось убедить, и он, как и Дарвин, придерживался дрейфовой теории почти до конца жизни. Дж. Б. Гриноу (1778—1855), который основал Лондонское геологическое общество и был первым его президентом, оставался убежденным противником этой теории и высказывался о ней с едким сарказмом. Однако хотя Гриноу играл огромную роль в общественном, политическом и административном аспектах науки и обладал преувеличенным самомнением, в научном мышлении он был посредственностью и среди прочего помешал пуб-

ликация Лондонским геологическим обществом новаторской геологической карты Уильяма Смита, опубликовав собственную тривиальную карту. Уильям Хьюэлл, профессор минералогии в Кембридже, утверждал, что для возникновения ледниковой эпохи, вероятно, необходимо было резкое уменьшение теплового потока из недр Земли и в дальнейшем его возвращение к нормальному уровню, что с точки зрения физики невозможно. (На самом деле внутреннее тепло оказывает на климат незначительное влияние, и тепловой поток в покрытых льдами полярных регионах мало отличается от теплового потока в тропиках.)

После десятилетий язвительных споров Агассиц не изменил своих убеждений. К середине 1870-х годов произошел переворот во всем научном мире, остались лишь немногие упрямые консерваторы, которые в конце концов все-таки приняли эту теорию\*. Материковое оледенение, о котором всего столетие назад никто и не думал, было принято как еще один уверенный шаг на пути к познанию нашей планеты (рис. 7). Как ни странно, Агассиц в то же самое время стал убежденным противником дарвиновской эволюции.

Признание достоверности плейстоценового оледенения поставило вопрос, впервые ли Земля испытала такое изменение климата. В 1852 г. Уильям Томас Блендфорд (1832—1905) из Геологической службы Индии в сотрудничестве с двумя другими геологами, его братом Генри и У. Теоболдом, отнес за счет ледникового переноса валунный слой Талчир возрастом 300 млн. лет, лежащий в основании пермских слоев Индии; позже они установили, что этот слой залегает на коренных породах со следами ледниковой штриховки. Блендфорда пригласили в Австралию, где он также подтвердил пермско-карбонное оледенение, и вслед за этим подобные открытия были сделаны в Южной Африке и Южной Америке. Тем временем в 1855 г. сэр Эндрю Рамсей (1814—1871), директор Британской геологической службы, сообщил о признаках древнего оледенения в Англии. Впоследствии во многих странах были обнаружены свидетельства обширного оледенения, происшедшего до начала палеозойской эры.

Рамсей, по-видимому, первым показал, что плейстоценовая ледниковая эпоха состояла по меньшей мере из двух оледенений, разделявшихся продолжительным межледниковым периодом, когда было не менее тепло, чем сейчас. В результате детальных полевых работ в Европе и Северной Америке в конце XIX и в первой половине XX в. удалось выявить и детально изучить по-

---

\* Общее признание теория четвертичного материкового оледенения получила после публикации трудов П. А. Кропоткина («Исследования о ледниковом периоде», 1876) и шведского геолога О. Тореля. — *Прим. ред.*



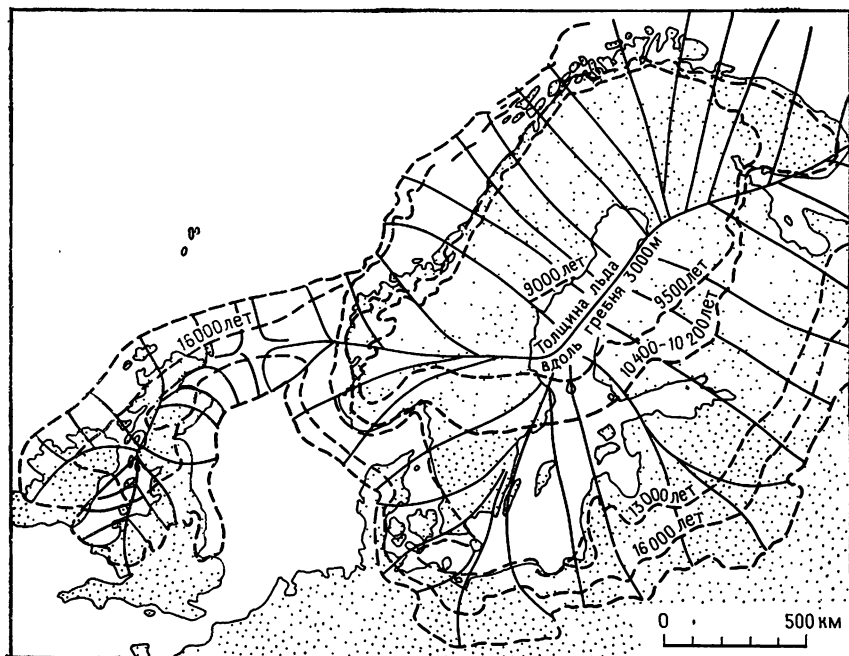


Рис. 7. Отступление последнего оледенения в Северо-Западной Европе. Внешняя пунктирная линия показывает максимальное распространение ледового покрова более 20 000 лет назад, а внутренние пунктирные линии отмечают край льда в более поздние эпохи (по Боултону, Смиуту, Джонсу и Ньюсаму).

следовательность по крайней мере из четырех эпох оледенения за последний миллион лет: гюнцское оледенение; межледниковье, продолжавшееся около 150 000 лет; миндельское оледенение; «долгое» межледниковье продолжительностью примерно 300 000 лет; рисское оледенение; последнее межледниковье, длившееся около 75 000 лет, и затем наконец вюрмское оледенение, отступившее примерно 10 000 лет назад. В Америке была установлена подобная же последовательность оледенений с другими названиями — соответственно канзасское, небраскское, иллинойское и висконсинское. Итак, мы с удовлетворением могли бы считать, что у нас есть еще 50 000 лет или около того, пока на нас надвинется следующее оледенение, т. е. достаточно времени, чтобы придумать, как спастись

Увы, в середине 1950-х годов нож гильотины упал — все это оказалось неверным. Выяснилось, что данные об оледенениях на суше безнадежно неполные, так как наступающие ледниковые покровы могли стереть данные о более ранних оледенениях и

их не всегда возможно выявить по отложениям, сохранившимся на периферии ледниковой области. Но проф. Чезаре Эмилиани из Университета г. Майами обнаружил, что полная информация об оледенениях сохранилась в морских осадках. Не только существовавшие прежде температуры были надежно зафиксированы изменениями содержащихся в осадках изотопов кислорода ( $^{16}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$ ), но в осадочных фациях запечатлелось и состояние самих ледников. Сначала Эмилиани попытался подогнать свои интерпретации к схеме оледенений, которая, по всеобщему мнению, была твердо установлена, но скоро он обнаружил, что оледенения (и межледниковья) были короче и гораздо более многочисленны — их было не 4, а 20! Ужаснее всего, что наше современное теплое межледниковье почти окончилось. Пока мир обеспокоен перспективой «ядерной зимы», мы можем внезапно обнаружить, что уровень моря понизился на 100 или более метров, так как на Европу, Азию и Северную Америку надвигается следующая ледниковая эпоха. Как сказал эссеист Альфа Большой Медведицы: «Молния грядет с небес! Мы стараемся спрятать лицо и получаем удар в поясницу!».

## 6

### Возраст Земли

Основываясь на своих наблюдениях за скоростью роста дельты Нила в результате ежегодных наводнений, Геродот сделал вывод, что Земля существует уже очень долго. До Аристотеля Землю считали вечной и неизменной, но во времена мрачного средневековья христианская догма ограничила продолжительность ее ранней истории описанием Моисея.

Джеймс Ашер (1581—1656), архиепископ североирландского графства Арма, долгое время служил объектом насмешек за то, что утверждал, будто Земля была сотворена 26 октября 4004 г. до н. э. в 9 ч. утра. На самом деле это утверждение было кульминацией в длинной серии подобных подсчетов, которые были сделаны на протяжении предыдущего столетия и восходили к священным хронологиям Юлия Африканского и Эвсебия Пампилия из Цезареи (260—340 гг. н. э.), вычисливших дату Творения как 2016 г. до н. э. Следует помнить, что в средневековой Европе, и особенно в Англии, библейские тексты принимали на веру совершенно буквально и возраст Земли оценива-

ли, систематически изучая последовательность событий, которые, как сообщалось в Библии, произошли со времени творения. В IX в. раввинат подсчитал, что Земля была сотворена в 3760 г. до н. э., и с того времени этот год был принят как первый от Сотворения мира. Следовательно, в иудейском календаре 1986 год от Рождества Христова — это 5746 год от Сотворения мира (*Anno Mundi* — от года сотворения мира).

В «Куперовой хронике», датированной 1560 г., приводятся несколько тщательных расчетов, сделанных разными авторами. Например, один из них определил, что от сотворения мира до Потопа прошло 1656 лет, от Потопа до Авраама — 292 года, затем до исхода евреев из Египта — 503, до возведения Храма — 432, до вавилонского плена — 414 и до Рождества Христова — 614 лет, отнеся таким образом первый акт Творения к 3911 г. до н. э. Другой автор увеличил оценку более ранней части: от Сотворения мира до Потопа — 2242 года, от Потопа до Авраама — 942, до царя Давида — 941, до Вавилона — 485, до рождения Христа — 589 лет, датируя тем самым акт Творения 5191 г. до н. э. В той же самой хронике упоминаются еще четыре оценки времени, прошедшего от Сотворения мира до рождения Христа: иудеи считали, что прошел 3951 год, Вирандула — 3491, Эвсебий — 5177 лет, Августин — 7331 год; в Альфонсовых таблицах приводится число 6952 года. Среднее арифметическое из этих семи оценок дает 5143 года. Было общепризнанным, что весь интервал времени существования Земли и человека от Сотворения мира до армагеддона (битвы во время Страшного суда. — *Перев.*) равен шести тысячелетним «дням», четыре из которых истекли до рождения Христа, так что до прихода Страшного суда осталось лишь несколько сотен лет.

Вывод Ашера был результатом длительного изучения первоисточников на языках оригиналов, в том числе генеалогий, систем календарей и затмений, на которых могли основываться точные подсчеты времени и даты. Архиепископ, авторитет в области классических и нескольких семитских языков, он собрал замечательную библиотеку относящихся к этим вопросам рукописей. Любой, кто, как и он, абсолютно верил написанному слову, мог только восхищаться его эрудицией. Поэтому его оценка возраста Земли пользовалась доверием в широких кругах и оставалась признанной еще долгое время после смерти Ашера.

Подъем униформизма, подразумевавшего интервалы времени до сотен миллионов лет, встретил резкое сопротивление церкви. Геттон, Плейфер, Лайель и Дарвин все больше и больше раздвигали рамки «банка времени». Геттон не смог найти «никаких признаков начала и никакой перспективы конца»; казалось, что ни о какой нехватке бесконечного времени не свидетельствовали горные породы. Затем двери банка времени за-

хлопнулись. Лорд Кельвин, выдающийся физик своего поколения, вооруженный формулами этой «точной» науки, объявил, что возраст Земли не может превышать 20 млн. лет.

## Лорд Кельвин

Уильям Томсон (1824—1907), впоследствии лорд Кельвин, рано сформировавшийся ученый, был назначен профессором физики в своем родном Глазго в возрасте 22 лет. Он был уже широко известен своими теоретическими и практическими достижениями в передаче электричества и телеграфии и тем, что сформулировал законы термодинамики, когда в 1862 г. занялся геологией. Он ограничил возраст Земли, исходя из трех независимых групп данных, касающихся: 1) источника солнечного тепла, 2) истории остывания Земли и 3) приливного трения в теле Земли.

Кельвин предполагал, что первичный источник энергии во Вселенной был только гравитационным. Солнце излучало энергию с чудовищной интенсивностью, и не было никакого возможного источника пополнения этой энергии; следовательно, жизнь Солнца в прошлом и будущем должна иметь границы. Рассмотрев все относящиеся к делу данные, он нашел неправдоподобным, чтобы Солнце освещало Землю 100 млн. лет, и почти наверняка оно не светило 500 млн. лет (возраст, вычисленный Дарвином по изучению скорости денудации в юго-восточной Англии). По словам Кельвина, Солнце обеспечивает энергией все процессы эрозии и денудации. Так как же может существовать униформизм, когда излучение Солнца со временем убывает? Хороший вопрос. Но в этом утверждении Кельвин исходил из двух аксиом: что гравитационный потенциал — единственный источник энергии внутри Солнца и что вещество и энергия неизменны с самого «начала».

Независимо от Кельвина его немецкий современник барон Герман Людвиг Фердинанд фон Гельмгольц (1821—1894) показал, что если бы Солнце целиком состояло из раскаленного угля, оно должно было бы сгореть за 1500 лет, но если его тепло вырабатывается в результате сжатия под действием гравитации, то это может продолжаться в тысячу раз дольше, но все же только 1,5 млн. лет. В лекции, прочитанной в 1871 г., он поддержал Кельвина, заявив, что гравитационная энергия уплотнения вещества могла обеспечивать солнечное излучение в течение 22 млн. лет и на нее можно рассчитывать еще многие миллионы лет в будущем.

Второй физический подход Кельвина был связан со скоростью остывания Земли, что уже рассматривали ранее Декарт,

Лейбниц (1646—1716) и Бюффон (1707—1788). Бюффон оценил возраст Земли в 75 000 лет. Кельвин собрал данные из шахт по температурным градиентам в недрах Земли; в среднем температура увеличивалась на  $1^{\circ}\text{F}$  на каждые 100 футов глубины. Это в сочетании с удельной теплопроводностью горных пород дало ему скорость выделения тепла из земных недр. Поскольку сильно нагретые тела сначала теряют тепло с очень большой скоростью, которая со временем экспоненциально уменьшается, то даже если бы Кельвин допустил самую высокую возможную первоначальную температуру Земли, он смог бы вычислить, как долго она остывала, чтобы достичь современного теплового потока. Если из его данных взять экстремальные значения, то нижний и верхний пределы окажутся равными 20 и 400 млн. лет.

Третье свое ограничение возраста Земли Кельвин объяснил на собрании Геологического общества Глазго в 1868 г. Подсчитав величину замедления вращения Земли за счет приливного трения, он пришел к выводу, что Земля затвердела не более чем 100 млн. лет назад. Это замедление скорости вращения означает, что сутки становятся продолжительнее. Предполагая, что скорость вращения Земли была абсолютно постоянной, можно точно рассчитать меридиан, на котором должны были наблюдаться затмения в древние времена. Но данные античных авторов свидетельствовали о том, что те места, где наблюдались затмения, были расположены западнее. По расхождению меридианов и узнали точную величину запаздывания.

Большинство геологов теряли присутствие духа перед горячностью физика и пытались подогнать свою теорию под авторитет Кельвина. Забавно то, что когда ученый знает ответ, веря, что он правильный, то ему кажется, что этот ответ является результатом, вытекающим из фактов. Например, Леонард Эйлер в 1765 г. вычислил, что период свободных колебаний оси вращения Земли, если она испытала возмущение, должен быть равен 305 суткам, и это оставалось геофизической догмой в течение 130 лет. Когда С. К. Чандлер, бухгалтер и астроном-любитель из Бостона, в 1892 г. обнаружил колебания полюса Земли с периодом 14 месяцев, над ним сначала стали смеяться: ведь в конце концов он был всего лишь любителем, а многим известным профессионалам не удавалось выделить эти колебания. Когда же результат Чандлера был безусловно признан, Саймон Ньюком, астроном Военно-Морского флота США, ввел поправки в прежние расчеты Эйлера и нашел, что истинный период свободного качания полюса действительно равен 14 месяцам!

## Попытки примирения с помощью софизмов

Итак, когда Кельвин буквально вколотил в геологов веру в то, что возраст Земли насчитывает от 20 до 400 млн. лет, и вероятнее всего около 100 млн. лет, целый ряд геологов пересмотрели свои данные и обнаружили, что возраст Земли, конечно же, равен 100 млн. лет. Первым из них, кто не попал в цель, был Джон Филлипс, профессор геологии из Оксфорда, который сопоставил суммарную мощность слоев со средней скоростью осадконакопления и получил возраст Земли, равный 96 млн. лет. Позднее еще несколько ученых пытались применить этот метод и получили разные результаты, но субъективность исходных предпосылок делала его совершенно бесполезным.

Джеймс Кролл (1821—1890), сотрудник Шотландской геологической службы, позднее отличившийся в изучении ледниковой эпохи, определил свой устойчивый нейтралитет (верная позиция для истинного ученого!), критикуя как Кельвина, так и униформистов. Геологические периоды явно были чрезвычайно продолжительными, но и количественную оценку их длительности геологи, похоже, сильно преувеличивали. Кролл думал, что нижний предел, предложенный Кельвином, может быть верен, но согласился с тем, что наиболее приемлема величина 100 млн. лет.

Следующим был Арчибальд Гейки, в то время директор Шотландской геологической службы и друг Кельвина. В обращении к Геологическому обществу Шотландии в 1871 г. он совершенно субъективно отметил, что скорости денудации в настоящее время в среднем значительно меньше, чем были в прошлом, и, следовательно, установленный Кельвином возраст 100 млн. лет соответствует геологическим данным. (Через 20 лет Гейки вынужден был отступить от предложенных Кельвином ограничений.)

Т. М. Рид, следуя общепринятой тогда в Англии догме, согласно которой континенты и океаны попеременно испытывали опускания и поднятия и занимали примерно одинаковую площадь, подсчитал, что для накопления земной коры мощностью 10 миль требуется 625 млн. лет. Когда экспедиция «Челленджера» обнаружила, что большая часть дна океана покрыта океаническими планктонными илами, а не терригенными (снесенными с суши) осадками, как он предполагал, Рид пересмотрел свою оценку с учетом этого и других изменений и сделал вывод, что с начала кембрийского периода прошло 95 млн. лет. Исходные данные были так податливы, что какой бы результат он не искал, он должен был найти именно его!

В 1893 г. Кларенс Кинг, первый директор Геологической службы США, также внес в эти списки свой вклад: возраст

24 млн. лет — время, как он считал, необходимое для того, чтобы первичная Земля остыла от температуры 2000 °С.

Сэмюел Хоутон, профессор геологии Тринити-Колледжа в Дублине, опубликовал свое «Руководство по геологии» в 1865 г., вскоре после того, как началось пагубное влияние Кельвина, но он был не в состоянии учесть его. Основываясь на совершенно софистских рассуждениях, он оценил возраст Земли в 2,3 млрд. лет в полном соответствии с господствовавшей тогда униформистской догмой. Отступая от ограничений Кельвина, он опубликовал в журнале «Nature» в 1878 г. статью, в которой рассматривал промежуток времени с того момента, когда температуры у полюсов снизились до 212° по Фаренгейту, что позволило воде конденсироваться, затем до 122 °F — температуры коагуляции белка (что позволило зародиться жизни), и наконец до 48 °F в конце палеозоя и до точки замерзания в середине третичной\* ледниковой эпохи. Далее Хоутон сделал вывод, что до миоцена прошло 153 млн. лет. Магия чисел всегда приносила уважение в науке!

Проф. Джон Джоли, сменивший Хоутона в его должности в Дублине, оценил в тоннах количество солей натрия, вынесенных в океаны реками земного шара, разделил это число на общее количество солей, содержащихся в океанах в настоящее время, и заключил, что возраст океанов достигает от 90 до 99 млн. лет. Он и другие пытались внести в расчеты много поправок и уточнений, например учесть циклическое осаждение солей (соль возвращалась на сушу в виде морской воды в породах морского происхождения и в виде эвапоритов в соляных пластах), соли, добавляющиеся в океаны в результате подводного вулканизма, и изменение скорости денудации. Однако единственная польза этого метода в том, что он дает ожидаемый вами результат. Исследования последнего времени позволяют предположить, что соленость океанов достигла современного уровня очень давно и что после этого поступление и вынос солей находились приблизительно в равновесии.

### Смелость убеждений

Помимо таких софистов многие геологи, хотя и покорялись игу физики, тем не менее не могли избежать уверенности, что геологическое время, вероятно, было гораздо продолжительнее, чем допускал знаменитый физик, и подозревали, что в предпосылках учителя должно быть какое-то скрытое слабое место.

---

\* По-видимому, автор имеет в виду позднекайнозойское оледенение, начавшееся в конце третичного периода. — *Прим. ред.*

Томас Генри Гексли (1825—1895), убежденный сторонник Дарвина, но не способный разрушить аргументы Кельвина, тем не менее защищал униформизм перед Геологическим обществом Глазго:

«Математику можно сравнить с мельницей, способной к тончайшей работе. Она перемелет ваше вещество как угодно тонко; но тем не менее то, что вы получите, зависит от того, что вы положили. И как самая прекрасная мельница в мире не извлечет пшеничную муку из гороха, так и страницы формул не позволят получить определенный результат из неточных данных».

Два года спустя Лайель выразил надежду, что, вероятно, будет открыт какой-то источник энергии, дотоле не известный. Гейки, сначала поддерживавший Кельвина, заявил Британской ассоциации за прогресс науки в 1892 г.:

«Едва ли я со своей стороны могу сомневаться в том, что должен быть какой-то изъян в аргументах физиков, хотя я и не берусь сказать, где его следует искать. Как мне кажется, сделано какое-то допущение или какое-то условие было упущено, но оно когда-нибудь будет найдено и сделает недействительными эти выводы. И когда его должным образом учтут, будет предусмотрено время, достаточное для любой разумной интерпретации геологических данных».

Проф. Томас Кроудер Чемберлин (1843—1928) из Чикагского университета писал в журнале «Science» в 1899 г.:

«Достаточно ли исчерпывающи наши знания о поведении вещества при таких крайне необычных условиях, какие имеют место внутри Солнца, чтобы быть уверенными, что там нет никаких источников тепла, которые мы еще не распознали? Вопрос о внутреннем строении атомов еще остается открытым. Не является невозможным, что они представляют собой сложные устройства и в них находятся огромные запасы энергии. Определенно ни один осторожный химик не станет утверждать, ни что атомы действительно являются неделимыми, ни что в них не может быть заключена весьма значительная энергия. Вероятно, они не готовы ни утверждать, ни отрицать, что при исключительных условиях, существующих в центре Солнца, не может высвободиться часть этой энергии».

## На помощь приходит радиоактивность

Годы 1900, 1924, 1960 и 1985-й были особенными для геологии: каждый из них предвещал зарождение революции. В 1900 г. с помощью радиоактивности появилась возможность восстанавливать геологическое время. В 1924 г. перевод книги Вегенера о перемещении материков уже был готов потрясти геологию до самого основания. В 1960 г. статичная океаническая кора приобрела удивительную активность и в то же время способность разрастаться. С 1985 г., по мере того как Национальное управление по авионавигации и исследованию космического пространства США (НАСА) продолжает свои геодезические измерения, надвигается революция ускоряющегося расширения Земли (см. гл. 12).

Антуан Анри Беккерель (1852—1908), профессор физики



в Политехнической школе в Париже, в 1896 г. установил, что содержащие уран минералы самопроизвольно испускают проникающее излучение (х-лучи). В 1901 г. бывший ученик Кельвина Эрнест (позднее барон) Резерфорд (1871—1937) и Фредерик Содди (1877—1956), оба работавшие тогда в Университете Мак-Гилла в Монреале, открыли, что радиоактивные элементы постоянно испускают альфа-частицы, несущие большие количества энергии, а Пьер Кюри (1856—1906) из Сорбонны в Париже показал, что большая часть этой энергии переходит в тепловую. В 1904 г. Резерфорд писал: «Время, в течение которого Земля находится при температуре, способной поддерживать жизнь растений и животных, возможно, намного продолжительнее, чем оценка, сделанная лордом Кельвином по другим данным».

Тем временем американский физик Бертрам Борден Болтвуд (1870—1927) в 1904 г. установил ступени радиоактивных рядов распада урана и тория, которые, теряя электроны и альфа-частицы, в конце концов превращаются в свинец, а в 1907 г. он предположил, что, измеряя относительное число изотопов урана и свинца в минерале, можно вычислить время, прошедшее с момента его кристаллизации. Таким образом было доказано, что максимальный геологический возраст, по оценке Кельвина, был занижен по крайней мере на порядок величины.

В 1905 г. Роберт Джон Стретт (позднее лорд Рэлей, 1842—1919) обнаружил, что количество гелия, накопившегося в минералах в результате распада радиоактивных элементов, присутствующих в обычных породах, было гораздо больше, чем могло накопиться за 100 млн. лет, вычисленных Кельвином. Действительно, если в породах земной коры вплоть до больших глубин происходит радиоактивный распад, то Земля вовсе не является остывающим телом, как полагал Кельвин, а должна разогреваться! Теперь у геологов оказалось достаточно времени, чтобы вместить любые процессы, о которых могли свидетельствовать горные породы, и у Дарвина — одной из главных мишеней, по которым бил Кельвин, — было достаточно времени для эволюции видов путем естественного отбора.

Как Зенон со сферической Землей, Архимед с гелиоцентрической системой, фон Бух с ледниковой эпохой, Агассиц с эволюцией и позднее Джеффрис с дрейфом континентов, многие истинно великие мыслители, сталкиваясь в свои преклонные годы с новым открытием, которое опровергало укоренившуюся догму, отказывались воспринимать его. Так и лорд Кельвин никогда не признал, что геологи были правы. Он твердо придерживался нерасщепляемости атомов и отказывался верить, что гелий и свинец могут получиться из чистого урана — концепции, которая отдавала алхимией.

«Новым идеям, — как однажды заметил великий немецкий ученый и философ Герман Гельмгольц, — требуется тем больше времени, чтобы получить всеобщее признание, чем они более оригинальны». Верховные жрецы науки сегодня, как и всегда, столь же глухи к любому доводу против их аксиом, как любой римский папа по отношению к религии. Их отлучающие от науки эдикты действуют эффективно и не позволяют еретика публиковать свои работы, препятствуют его назначению на должность и продвижению по службе, не допускают к исследовательским фондам и мешают занять высокое общественное положение. Даже если революция происходит, пока опередивший свое время провидец еще жив, на нем все-таки остается какое-то темное клеймо и обряд посвящения в рыцари великого прогресса достается новоиспеченному мудрецу.

### Радиоактивные часы

Используя несколько разных явлений радиоактивности (например, накопление гелия, распад урана и тория до свинца, превращение рубидия в стронций, калия — в аргон, углерода-14 в азот и наличие изотопов свинца в руде), каждое из которых играет свою особую роль, быстро научились измерять геологический возраст. Этому особенно помогло руководство Артура Холмса (1890—1965), профессора геологии в Дареме и позднее в Эдинбурге. Я хорошо помню, какое влияние оказала на меня в конце 20-х годов маленькая брошюра Холмса под названием «Возраст Земли» в дешевом издании Бенна, вышедшая в 1913 г.

Уран и торий распадаются, пройдя несколько стадий до стабильных изотопов свинца со скоростями, не зависящими от температуры, давления и физического и химического состояния вещества. «Периоды полураспада» некоторых элементов равны многим миллионам лет, хотя статистическая вероятность распада любого отдельного атома в следующую секунду постоянна. Это похоже на бросание миллиона игральные костей, на одной шестой части которых, как можно ожидать, выпадут шестерки. Если те кости, на которых выпали шестерки, удалить, а остальные бросать на следующий день — на одной шестой из них должны выпасть шестерки, и эти кости тоже надо удалить. Вероятность того, что на какой-то кости выпадает шестерка в том самом следующем броске, всегда равна одной шестой, и последние кости в игре надо будет кидать очень большое число раз, а на них так и не выпадут шестерки. Нетрудно подсчитать, сколько дней требуется, чтобы число костей в игре уменьшилось до половины первоначального количества; эта величина и называется *периодом полураспада*. Число удаляемых костей с каждым днем становится все меньше, и если в какой-то

момент число оставшихся костей сравнить с общим количеством выбывших из игры, то можно вычислить количество бросков и, следовательно, продолжительность процесса в днях. Можно использовать любой минерал, содержащий какое-то количество урана. Поскольку период полураспада  $^{238}\text{U}$ , самого распространенного в породах изотопа урана, равен 4510 млн. лет, этим методом определяют возраст самых древних пород. Подобным же образом ведет себя торий.

Рубидий представляет собой обычную примесь в полевых шпатах и слюдах, его изотоп  $^{87}\text{Rb}$  (составляющий 28% природного элемента) имеет период полураспада 50 млрд. лет и чаще всего используется для определения возраста древнейших пород. Калия в полевых шпатах, фельдшпатоидах и слюдах содержится даже еще больше, и он обычно присутствует также в нескольких других минералах; период полураспада его радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$  равен 1280 млн. лет. Благодаря чрезвычайной чувствительности методов измерения калия и получающегося в результате его распада аргона, разработанных Дж. Ф. Эвернденом и Дж. Б. Далримплом из Беркли и Яном Макдугаллом из Австралийского национального университета, калий-аргоновый метод сделал возможной датировку пород от самых древних до самых молодых геологических эпох (с возрастом меньше 1 млн. лет).

Изотоп углерода  $^{14}\text{C}$ , который непрерывно образуется в атмосфере в результате бомбардировки азота космическими лучами, имеет период полураспада 5730 лет, и его широко используют для определения возраста древесного угля, раковин и других органических остатков в археологии и более древних свидетельств ледниковой эпохи. Итак, эти четыре метода позволяют датировать вещества любого возраста от возникновения Земли и вплоть до настоящего времени.

Анализ относительных содержаний нескольких изотопов свинца в свинцовой руде и в свинце метеоритов, часть которых представляет собой первичные изотопы, а часть имеет радиогенное происхождение в результате распада урана и тория, дает возможность надежно определять время формирования метеоритов и сделать заключение о возрасте Земли, равном, как выяснилось, 4 млрд. 600 млн. лет. Сравним это с 3,8 млрд. лет — возрастом самых древних пород на континентах, полученным до сих пор.

## Шкала геологического времени

Радиоактивность пород быстро сняла с возраста Земли ограничения, наложенные физиками, но поставила в трудное положение многих геологов, которых теперь смущала безгранич-

Таблица 1. Интервалы геологического времени (начала периодов и эпох в миллионах лет от настоящего времени)

Эоны	Эры	Периоды	Эпохи	Время	
		Четвертичный	Голоценовая Плейстоценовая	0,01 1,6	
	Кайнозойская	Третичный	Плиоценовая	5,3	
			Миоценовая	23,7	
			Оligоценовая	36,6	
			Эоценовая Палеоценовая	57,8 66,4	
Фанерозойский	Мезозойская	Меловой		144	
		Юрский		208	
		Триасовый		245	
	Палеозойская		Пермский		286
			Каменноуголь- ный		360
			Девонский		408
			Силурийский		438
			Ордовикский		505
			Кембрийский		570
	Протерозой- ский				2500
Архейский				3400 +	

ность времени. Все они пересмотрели свои методы «песочных часов» — примитивные способы оценки скорости денудации, накопления морских осадков, увеличения солености морской воды или скорости биологической эволюции. Многие софисты вернулись к кельвиновским 100 млн. лет, другие отступили от принципа «никаких признаков начала», чтобы сойтись на возрасте около 500 млн. лет. Но Артур Холмс из Дарема заставил мир критически пересмотреть геологическое время, преодолеть расхождение во взглядах и примирить геологические факты с новыми данными о естественной радиоактивности.

В табл. 1, утвержденной в настоящее время Геологическим обществом Америки, приводится возраст в миллионах лет начала геологических эпох, периодов, эр и эонов. Образование Земли оценивается временем примерно 4,6 млрд. лет назад. Приведенные значения возраста могут изменяться по мере получения новых данных, и даже сейчас в разных лабораториях приняты несколько различающиеся шкалы. Эпохи определены в

пределах каждого периода и до третичного, но вследствие неопределенностей корреляции между континентами номенклатура в разных регионах различна и внесение их в эту таблицу сделало бы ее слишком сложной для целей данной книги.

## 7

### Роль числа в геологии

Физики вечно осмеивали геологию как субъективный, неточный, описательный предмет, который нельзя даже сравнивать с «точными» науками. «Геологи, — насмеялись они, — при первом появлении знака интеграла ищут, куда бы спрятаться». Кельвин говорил, что геология без чисел — не наука. Однако в случае самого Кельвина ярко высвечивается ахиллесова пята физики — уязвимость ее предпосылок, ничуть не лучших, чем постулаты безусловной веры. Изящные числа Кельвина дали ответы настолько же неверные, насколько они не были окончательными. И такой была судьба физики на протяжении всей истории.

Для Пифагора и его многочисленных последователей совершенство и гармония во Вселенной не требовали доказательств. Вдохновленный музыкой ударов молотом по наковальне, Пифагор экспериментировал со струнами разной длины, с трубками, со стеклянными сосудами, наборами колоколов, чтобы найти для каждого источника звука гармонические интервалы музыкальной гаммы. Для Пифагора числа были основой всего; поэтому когда он открыл, что гармонические интервалы — это простые суммарные соотношения длин натянутых струн, его озарило, что такие же соотношения должны существовать между расстояниями до небесных тел, чтобы создать гармонию сфер — мелодию, которую могли слышать только Пифагор и непорочные девы, хотя поэты славили ее и тысячелетия спустя. Луна находилась ближе всего к Земле и имела самый низкий тон, звезды были дальше всего и издавали самые высокие звуки, а Солнце и пять известных тогда планет располагались между Землей и звездами, так что весь диапазон расстояний от Земли до звезд составлял одну октаву (рис. 8). Следовательно, относительные расстояния до всех этих небесных тел были точно определены. Наука стала точной! Говорили, что, по оценке Пифагора, один из таких небесных интервалов — расстояние до Луны — состав-

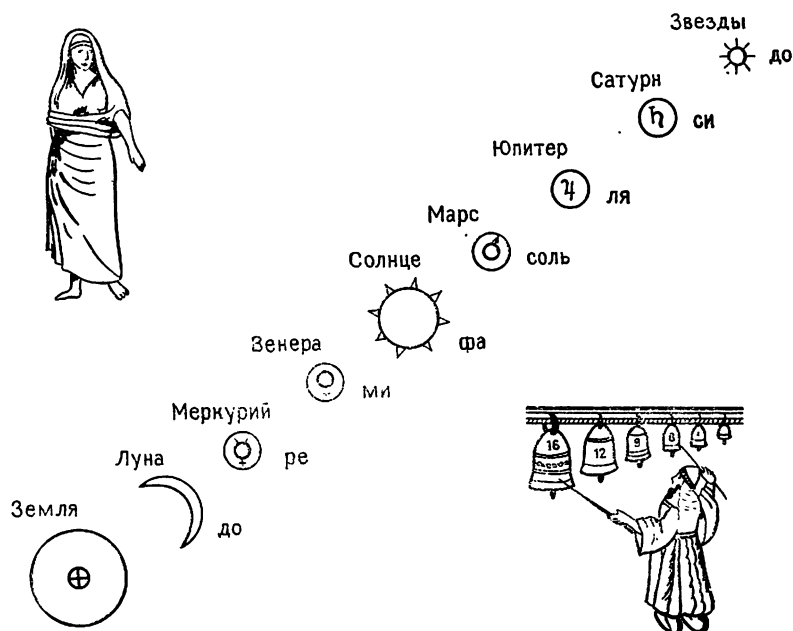


Рис. 8. Лишь Пифагор и непорочные девы могли слышать эту гармонию сфер.

лял 126 000 стадий (около 23 000 км, т. е. примерно одна двадцатая истинного расстояния), но нигде не сказано, как он пришел к этому результату, поскольку сам Пифагор не оставил никаких записей. Прошло еще четыре столетия, прежде чем Гиппарх из Никеи (160—120 до н. э.) вычислил расстояние до Луны, сравнив радиус земной тени, отбрасываемой во время затмения на Луну, с радиусом Земли, который был измерен Эратосфеном (см. рис. 2). Под влиянием Пифагора гармония Вселенной стала аксиомой, в нее верили. Пифагор действительно был убежден, что слышит эту мелодию сфер. Несмотря на несостоятельность подобной идеи, гармония сфер стала общепринятой догмой на последующие 2000 лет. Шекспировские придворные говорят о ней так, что становится ясно: каждый образованный дворянин должен был непременно это знать. Но, увы, точные числа Пифагора были заблуждением.

«Точные» числа архиепископа Ашера, полученные и представленные с ученостью и эрудицией, не имевшими себе равных ни до, ни после того, позволили ему установить день и час сотворения Земли; но его ответ был настолько же неверен, насколько это вообще возможно. Безупречная логика и точный

расчет дают совершенную чепуху, если при этом исходят из ложной предпосылки.

Гарольд Джеффрис, самый искушенный в математике геофизик, на протяжении всей своей долгой жизни настаивал, что материки — это неподвижные тела, украшающие лик Земли, и разносил в пух и прах тех геологов, которые утверждали обратное. И не искусные операции с числами подвели его, а вера, основанная на ошибках интуиции.

Великие физики от Ньютона до Эйнштейна нисколько не сомневались в том, что первоначальный акт творения действительно имел место и именно тогда возникли все атомы Вселенной, а раньше ничего не было, хотя это и противоречит их законам сохранения вещества и энергии. Если эта предпосылка ложная, может ли какой-либо основанный на ней вывод, даже при самых лучших математических выкладках, быть признан бесспорно справедливым? Этот вопрос рассматривается в последующих главах.

Язвительное замечание Гексли о том, что самая изящная математика не позволит получить пшеничную муку из гороха, поставило общий вопрос о статусе числа в геологии. Давайте прежде всего установим внутренние различия между разными областями знания.

Математик может быть хорошим специалистом в своей области, совсем ничего не зная о других науках. Физик может успешно работать, не зная ничего, кроме математики и физики. Но каждое действие в химии имеет корни в физике и, следовательно, в математике. Биология включает в себя сложную химию и, значит, физику и математику, вместе со своими собственными, присущими только ей переменными величинами. Геология опирается на все четыре науки.

В физике можно сформулировать проблему теоретически или экспериментально, изменяя только один параметр. Но сложность решения геологических задач связана с необходимостью учесть влияние столь многих факторов и в таких огромных масштабах, что невозможно изолированно рассматривать ни математические, ни физические переменные; поэтому геолог вынужден все больше и больше полагаться на опыт и качественное эклектическое суждение — утонченный синоним здравого смысла.

Многие из основных принципов физики можно экспериментально проверить в лаборатории. Но в геологии масштабы пространства и времени настолько велики, что об эксперименте речь не идет. Можно построить динамические подобные модели, но никто не может быть уверен, что не вмешаются какие-то другие факторы, которые не проявляются в масштабе возможных наблюдений, но преобладают над всеми другими фак-

торами, если масштабы процессов или их продолжительность очень велики. Такое влияние масштаба рассматривается в ч. IV этой книги и еще раз — в последней главе.

Геологи и геофизики приближаются к истине с разных сторон. Геофизики рассматривают какой-то аспект строения Земли, создавая теоретическую математическую модель, которая ограничивает число переменных и поддающихся количественной оценке параметров. Вывод может быть справедлив для этой модели, но он будет иметь малое отношение (или вовсе никакого) к реальной Земле, хотя геофизик будет твердо в него верить, особенно если он «выдан» беспристрастным компьютером. Геолог, напротив, имеет дело с реальной Землей, видит ее без прикрас и рассуждает качественно и логично. Для геофизика опасность заключается в несовершенстве модели. Ахиллесова пята геолога — возможная неправильность его интуиции. Нельзя быть уверенным ни в том, что все относящиеся к делу законы природы уже открыты, ни в том, что не будет переиден какой-то порог, когда изменение количества создаст новое качество.

Необходимы оба подхода — и количественный, и эмпирический, и каждый из них может помочь другому прокладывать новые пути для теории и эксперимента.

Сравнимая компетентность в математике и в геологии подразумевает равноценный интеллект, но разного типа. Математика требует чистых логических рассуждений на основе установленных предпосылок. Геология отличается от большинства других наук в трех отношениях. Во-первых, как показано выше, она требует способности к эклектрическому мышлению с интуитивной оценкой влияния множества переменных. Во-вторых, геология включает ретроспективный анализ причин и следствий, что наглядно проявилось в законе суперпозиции (впервые провозглашенном в 1669 г. Н. Стено): последовательность слоев, их деформация и дробление, а также внедрение в них жил означают определенную историческую последовательность событий. В-третьих, геология требует способности наглядно представлять себе объекты в трех измерениях — переходить от случайных сечений в шлифах к оптическим и кристаллографическим осям кристаллизации в минерале; от выходов пород на геологической карте — к объемным структурам складок, разрывов, несогласий и интрузивных контактов; от стереоскопических аэрофотоснимков — к конфигурации глубинных структур; от отдельных пересечений буровыми скважинами — к форме рудной залежи; от случайного следа на поверхности, оставшегося от разрушенного ископаемого организма, — к мысленной реконструкции всего животного; от проекций линейности или ориентировки кливажа — к представлению о напряжениях, под действием которых они образовались; от извилистого узора множества складок —



к единой картине деформаций, которую они сопровождают, и т. д.

По упомянутым выше причинам переход к количественным характеристикам в геологии начался поздно. Расстояния небесных тел от Земли, которые Пифагор выразил числами, опирались на ложную посылку. Четыре столетия спустя Эратосфен сделал гораздо более успешную попытку измерить диаметр Земли, рассуждая логически и опираясь на добротные наблюдения. Ньютон пришел к правильному заключению о сплюснутой форме Земли, что обусловлено центробежной силой, возникающей при вращении и противодействующей силе тяжести в возрастающей степени от полюсов к экватору. На этом основании Ньютон рассчитал сплюснутость Земли. Через сто лет Генри Кавендиш вычислил массу Земли; он поместил два золотых шара на концах стержня, подвешенного на нити за середину, затем измерил кручение нити, когда к одному из шаров подносили тяжелую массу. Поскольку Кавендиш знал массу притягивающихся тел, то, применив закон всемирного тяготения Ньютона для силы притяжения, измеренной по кручению нити, он смог вычислить гравитационную постоянную в законе Ньютона. Отсюда было легко подсчитать, сколько весит Земля, снова применив закон Ньютона. Но физики объявляют все эти и другие измерения параметров Земли физикой, а не геологией.

Физика с самого начала имела дело с числами. В химии количественные величины появились несколько позже, а в биологии — совсем недавно. Числовая геофизика медленно развивалась от Осмонда Фишера, лорда Кельвина и Гарольда Джеффриса до целой фаланги выдающихся современных исследователей, причем ее развитие частично совпадало со взрывом исследований в прикладной геофизике, с конца 20-х годов финансировавшейся горнодобывающей промышленностью. Двести лет назад, начиная с Ардуино, постепенно выкристаллизовалось представление о качественной относительной последовательности геологических событий, но абсолютный возраст геологических периодов был установлен лишь в этом веке. Петрология также стала количественной дисциплиной, и это постепенно распространилось на геохимию в целом. В последние два десятилетия резко расширилось применение числовых величин во всей геологии. В какой-то мере это происходило и раньше, но чрезвычайно ускорилось в результате применения мощных компьютеров, способных анализировать и обрабатывать обширные массивы разнородных данных.

Будучи неизбежными и в конечном счете нацеленными на быстрый прогресс геологии, числовые методы имеют, однако, не только положительные свойства, но и могут превратиться в слепой фетиш. Среди лабораторных работников, жонглирую-

щих числами и оперирующих со шкалами на «черных ящиках», может появиться новое поколение исследователей, применяющих программы, роль которых они на самом деле не понимают, в постоянно суживающихся специальных областях. Они слепо верят получаемым на ЭВМ результатам и пренебрежительно относятся к методам своих более мудрых предшественников. Я наблюдал резвых мальчишек, с гордостью накапливающих множество распечаток с компьютеров — потенциально богатую руду, но не умеющих выделять из нее ценное вещество. Предостережение Гексли о внесении и получении мусора («какой мусор внесем, такой и получим») здесь даже еще более уместно. Ограничения смежных наук можно не заметить. Ловушки таятся в допущениях и в частном характере условий, включенных в математическое обеспечение.

Многочисленны ложные выводы, являющиеся следствием той или иной из этих опасностей. Я уже упоминал ошибку Кельвина, упустившего неизвестный тогда фактор. К другим примерам можно отнести неправильное применение статистики Симпсона (гл. 8), веру Макелинни в результаты, полученные по неправильной программе (гл. 14), интерпретацию голубых сланцев с позиций не относящегося к делу эксперимента (гл. 14).

Популяции ископаемых животных, обнаруженных в конкретных местах, — ископаемые фауны — используются уже более ста лет для оценки сходства между регионами. Фаунистические соотношения свидетельствуют о миграции животных между регионами либо об изоляции этих регионов; таким образом, растущий объем данных позволяет выделить фаунистические провинции и ареалы. Они, в свою очередь, накладывают ограничения на палеогеографические реконструкции. В последние годы был проделан тщательный анализ полноты списков фауны и систематического влияния, которое вносится тем, что определяющий фауну палеонтолог работал в каком-то одном регионе. Строгие статистические методы, примененные после исключения космополитных ископаемых видов и случаев сомнительных определений, дают твердые числа для оценки сходства. Опираясь на эти методы, д-р Клайв Барретт вычислил свой «индекс провинциальности», разделив число общих для провинций родов на удвоенное число необщих родов. Преодолев должным образом трудности проведения корреляции для коротких интервалов времени и добившись действительной сравнимости сопоставляемых мест обитания, Барретт составил таблицу таких индексов и на ее основе провел обзор современных тектонических гипотез. Как и у Ашера и Кельвина, эрудиция и добросовестность Барретта безупречны; сложность заключается в предпосылках.

Дж. Г. Макин, прежде работавший в Техасском университете, писал:

«Когда механический анализ *подменяет* анализ мыслительный и когда число как самоцель *подменяет* понимание, возникает опасность...

Самый акт измерений по жесткой схеме дает твердое ощущение, что цель достигнута. Если измерения сложны, требуют каких-то особых методов и аппаратуры и при этом используется специальный жаргон, все это дает исследователю приятное чувство принадлежности к группе избранных и преодоления рубежей. Представление результатов упрощается применением математических символов, и даже если девять из десяти заинтересованных геологов не разберутся в этих символах, автор может быть уверен, что на семерых из десяти это по крайней мере произведет впечатление. Лаконичными математическими уравнениями можно говорить о разных вещах выразительно и даже высокомерно, что можно расценивать — в зависимости от точки зрения — как преимущество или как недостаток такой записи, но эти уравнения столь бессмысленны, что, если их изложить словами, это смутило бы, вероятно, даже их автора».

Задолго до появления электронно-вычислительных машин Томас Чемберлин, основатель гарвардского издания «*Journal of Geology*», писал: «Очаровывающая выразительность строгого математического анализа с его атмосферой точности и изящества не должна мешать нам видеть недостатки предпосылок, которые определяют весь ход процесса. Возможно, нет более коварного и опасного обмана, чем сложный и изящный математический анализ, построенный на неосновательных предпосылках».

Должна ли в таком случае геология оставаться качественной наукой? Конечно, нет. Из-за присущего ей широкого спектра взаимозависимых переменных геология, вероятно, выиграет больше от огромной мощности ЭВМ, чем большинство других наук. Но широкое всеобщее обучение и основательный опыт в наблюдении реальных пород в поле сегодня еще более необходимы, чем раньше. Даже технические вспомогательные средства, такие, как автомобиль и вертолет, имеют свои недостатки: до их появления геологи ходили пешком от одной точки наблюдения к другой и буквально спотыкались об искомые горные породы, получая неожиданную информацию, а теперь, наоборот, главную роль играют принятые в данное время допущения.

## ПОДВИЖНЫЕ МАТЕРИКИ

### 8

## Материковый дрейф

Умозрительные модели дают на наше сознание, и выражение «материковый дрейф» («continental drift») с самого начала затрудняло верное восприятие концепции Вегенера в англоязычном научном мире. Сам Вегенер использовал немецкое слово *Verschiebung*, которое Скерл совершенно правильно перевел на английский как *displacement*, т. е. смещение. Однако оно было заменено термином «дрейф» теми, кто стремился скомпрометировать концепцию Вегенера, а их было большинство, и неточный термин вошел в обращение. Теорию, «оседланную» этим названием, легко было представить плодом фантазии.

### Подобие берегов Южной Атлантики

Сходство очертаний противоположащих берегов Африки и Южной Америки первым заметил, по-видимому, Фрэнсис Бэкон (1561—1626). Он сделал это в «Афоризме 27» книги II «Нового органа» (1620). Кое-кто говорит, что он подозревал, будто причиной раскрытия Атлантики было расширение Земли, но я не могу «вычитать» это из текста:

Verum his missis, etiam in ipsa configuratione mundi in majoribus non sunt negligendae instantis conformes; veluti Africa, et regio Peruviana cum continente se porrigenti usque ad Fretum Magellanicum. Utraque enim regio habet similes isthmus et similia promontoria, quod non temere accidit. Item Novus et Vetus Orbis; in eo quod utriusque orbis versus septentriones lati sunt exporrecti, versus austrum autem angusti et acuminati.

[«В действительности, пренебрегая прежними наблюдениями, мы не должны упускать из виду сходство больших массивов в конфигурации Земли; например, Африка и Перуанская область — сухопутный массив, протягивающийся до Магелланова Пролива. Обе эти территории имеют сходные сужения и сходные выступы, что нельзя считать простым совпадением. Также Новый и Старый Свет сходны друг с другом в том, что оба они расширяются к северу, а к югу сужаются и заканчиваются мысами.»]

Конечно, латинское причастие *exporrecti* (от глагола *exporrigere* — растягивать) можно перевести как «растянутые», но здесь это слово употреблено только в описательном смысле.

Несколько позже Франсуа Пласе выразил сходные идеи в 3-м издании своей книги (появившемся в Париже в 1688 г.): «Où il est montré que devant le déluge l'Amérique n'était pas séparée des autres parties du monde» (где показано, что до потопа Америка не была отделена от других частей мира).

В течение следующих двух веков многие поражались сходству формы берегов Атлантики и выдвигали различные догадки по поводу того, что оно может означать: Бюффон — примерно в 1780 г., Гумбольдт — около 1800, Янг — в 1810, Ричард Оуэн — в 1857, Уильям Лоутиан Грин — в 1857, Антонио Снайдер — в 1858, Генрих Ветштейн — в 1880, преподобный Осмонд Фишер — в 1882, С. Б. Уорринг — в 1887, У. Г. Пикеринг — в 1907, Р. Мантовани — в 1909, Фрэнк Берсли Тейлор — в 1910, Говард Бейкер — в 1911 и, естественно, Альфред Вегенер в 1912 г., а также, вероятно, еще несколько исследователей, не названных мною.

### Предшественники Вегенера

Несколько ранних авторов писали, что обе Америки первоначально составляли единый массив суши с Европой и Африкой, но разделились при погружении мифического материка Атлантида.

Первые предположения о том, что материки в действительности расходятся в разные стороны, были выдвинуты, по-видимому, в 1857 г. независимо профессором Ричардом Оуэном (1810—1910) из Университета Индианы и Уильямом Лоутианом Грином с Гавайев — чрезвычайно эрудированным шотландцем, представившим себя на титуле своей книги как «министр иностранных дел Королевства Сандвичевых островов». Весьма увлекательная книга Оуэна «Ключ к геологии земного шара — очерк» привлекла к себе внимание, но не надолго. Статья Грина 1857 г. была опубликована в «Новом философском журнале Эдинбурга». Изданная позже (в 1875 г.) его книга «Следы расплавленного состояния, проявляющиеся в фигуре Земли, вулканической деятельности и рельефе» содержит выводы, опережающие его время на целое столетие (таков вывод о глобальном левостороннем кручении оси зоны Тетис, обсуждаемый в гл. 21), но никто не подхватил их, и вскоре они были почти совсем забыты.

В 1858 г. Антонио Снайдер-Пеллегрини, благочестивый американский христианин, опубликовал в Париже свою книгу «La

Création et ses mystères dévoilés» («Божественное творение и раскрытые его тайны»), в которой он предвосхитил вегенеровскую Пангею — единый массив суши, занимающий одно полушарие (с океаном в другом полушарии). Это «кривобокое» устройство было разрушено во время библейского Потопа, причем обе Америки отошли на запад, открывая Атлантический океан с его зеркально-отраженными берегами. Вся книга представляет собой грандиозную разработку шести «дней» Творения. Луна вырвалась из земных недр во время конвульсий первого «дня». В пятый «день» образовались Пангея и дополняющий ее первобытный океан. Всемирный потоп и раскол Пангеи произошли в шестой «день».

Генрих Веттштейн в 1880 г. опубликовал в Цюрихе книгу «Die Strömungen der festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie» («Потоки твердых, жидких и газообразных веществ и их значение для геологии, астрономии, климатологии и метеорологии»), в которой он описывал, как материка дрейфовали на запад: приливные силы действовали на вязкое вещество в недрах Земли, и в результате произошло раскрытие Атлантики. Очень похожая концепция была выдвинута позже Э. Х. Л. Шварцем в «Geological Journal» (1912). Веттштейн доказывал свою теорию, привлекая палеоклиматические и палеонтологические аномалии. В Германии и других странах, где немецкий язык был широко распространен среди ученых, представления о чрезвычайной подвижности были общепринятыми, но речь шла в основном о срыве всей коры («блуждание полюсов»), а не об относительном движении материков. Среди приверженцев этих представлений были Лёффельгольц фон Кольберг (1895) и Крейхгауэр (1902). Напротив, в Америке преобладали консервативные представления, отвергавшие подобный мобилизм.

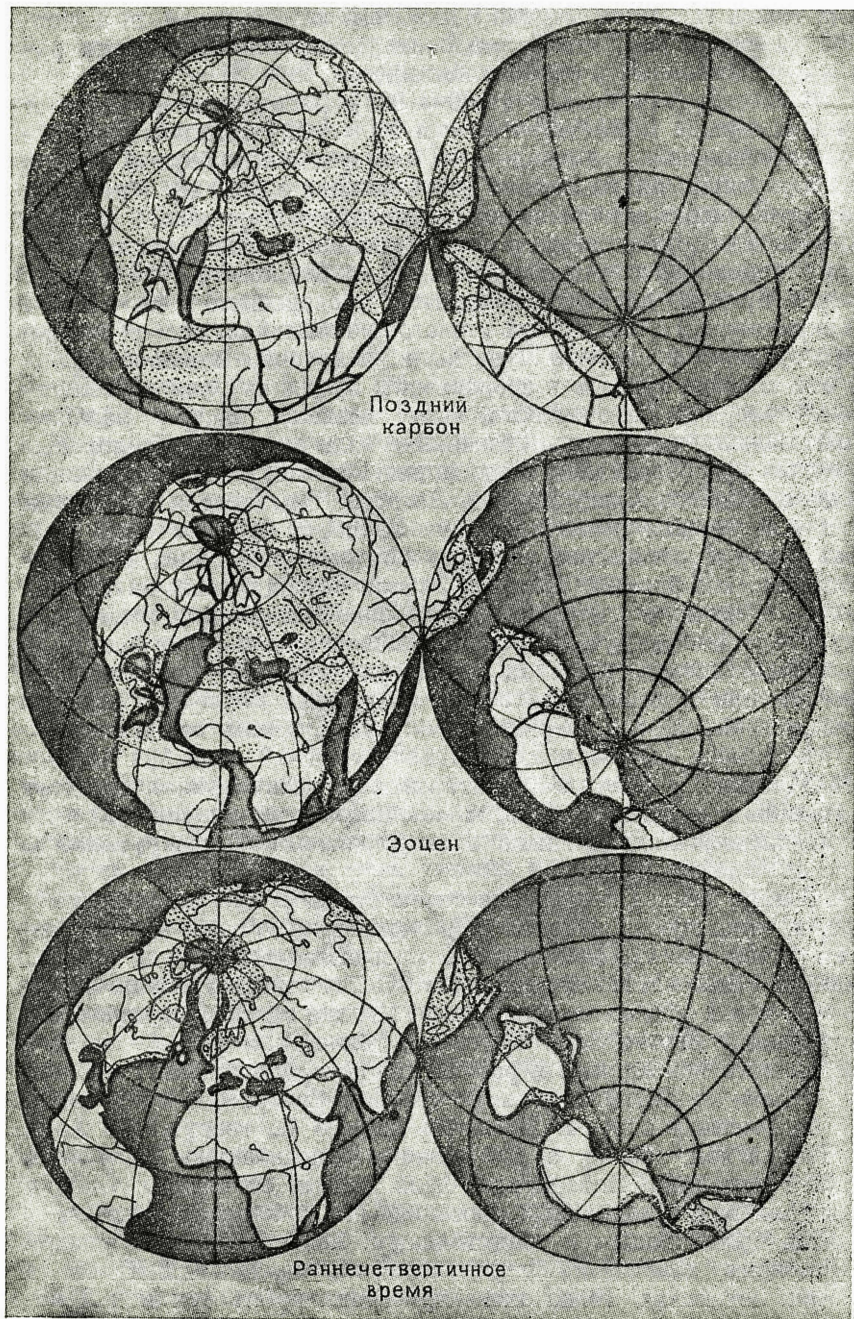
Осмонд Фишер (1817—1914) опубликовал в 1881 г. книгу «Физика земной коры», в которой следует теории Джорджа Дарвина об отделении Луны от Земли. Тихоокеанский бассейн трактуется как след этого события. Гигантская выемка была в основном заполнена снизу, но частично ее днище было приподнято конвективными потоками, поднимающимися под океанами (особенно под Срединно-Атлантическим хребтом) и опускающимися под материками. Этот же процесс привел к раскрытию Атлантического и Индийского океанов и появлению цепочки фестончатых малых морей по западному краю Тихого океана. У. Г. Пикеринг также шел за Дж. Дарвином в статье 1907 г., опубликованной в «Journal of Geology», но считал, что выброс Луны произошел не в мезозое, а на очень ранней стадии развития Земли. У. Ф. Коксуэрти опубликовал в Лондоне в 1890 (?) г. книгу под названием «Электрическая обстановка,

или Как и где была создана наша Земля», в которой он выдвинул теорию о том, что сегодняшние материки — это части ранее существовавшего единого континента.

Фрэнк Берсли Тейлор (1860—1938), работавший в Геологической службе США, обратился в 1908 г. к Геологическому обществу Америки с докладом: «Роль третичных горных поясов в образовании плана Земли» (опубликован в 1910 г.). Это было, вероятно, первым изложением концепции материкового дрейфа. Он усилил аргументацию в статье «Большая Азия и изостазия», опубликованной в «American Journal of Science» в 1926 г., и на симпозиуме по дрейфу континентов, проведенном в Нью-Йорке Американской ассоциацией геологов-нефтяников, где он выдвинул предположение, что Луна была захвачена в меловой период и это событие привело к возрастанию приливных сил и увеличению полярной сплюснутости, что вызвало раскол больших континентальных масс и стягивание их к экватору. Тейлор был увлечен представлением о сползании Евразии на юг, создающем нагромождения Альп, Карпат, Загроса, Гималаев и островных дуг у побережья Восточной Азии. Срединно-Атлантический хребет — это шрам на том месте, от которого разошлись материки Америки и Африки — Европы. Тейлор обращал внимание только на третичную орогению (эпоху горообразования), имея в виду, что хорошо документированные более древние орогении нуждаются в ином объяснении. Он не рассматривал палеотектонические или палеонтологические свидетельства и не пытался реконструировать материки в их додрейфовом положении.

В номере журнала «Je m'instruis» от 19 сентября 1909 г. Р. Мантовани в статье «Антарктика» рассматривал на двух страницах некоторые идеи, касающиеся перемещения материков, замечательно сходные с теми, которые Вегенер изложил двумя годами позже.

Говард Бейкер представил серию статей о материковом дрейфе, начинавшуюся работой «Происхождение Луны» (1911), затем появилось «Происхождение материковых форм» в четырех частях (1912—1914) и наконец в 1932 г. вышла его книга «Атлантический рифт и его значение». Первая статья Бейкера предвосхищала многие идеи Вегенера, такие, как раскол единого первичного континента, в результате которого трещина прошла от Аляски до Антарктиды и раскрылись Северный Ледовитый и Атлантический океаны. Но автор ничего не говорил об Азии и Индийском океане, а его догадки относительно Австралии, Новой Зеландии, Антарктиды были далеки от истины. Однако его толкование порванных орогенических и палеонтологических связей было полным и убедительным. Бейкер связывал раскол первичного континента с катастрофой, происшедшей около 6 млн. лет назад. Тогда эксцентриситеты орбит Земли и Вене-





ры привели к такому их сближению, что возникли мощные приливные силы, которые вырвали из тела Земли большой кусок, образовавший Луну и оставивший после себя глубокий шрам — впадину Тихого океана. Земля потеряла большую часть своей воды, но захватила еще большее количество воды во время беспорядочного процесса, вызванного разрывом другой планеты с образованием астероидов.

В ретроспективе можно проследить общую нить, связывающую все эти суждения, а именно соответствие береговых линий по обе стороны Атлантики. Но в вопросе о том, как оно возникло, мнения расходились очень сильно. Эти согласия и разногласия продолжают до сих пор.

## Вегенер

На очереди теперь Альфред Лотар Вегенер, профессор метеорологии и геофизики в Университете г. Граца. Он родился в Берлине в 1880 г. и погиб в холодной Гренландии в 1930 г., пытаясь получить геодезическое подтверждение идеи о современном расширении Атлантики. Вегенер признан во всем мире как патриарх концепции материкового дрейфа. Хотя из предыдущего изложения ясно, что многие аспекты «теории Вегенера» были опубликованы раньше тем или иным из его предшественников, именно он сумел искусно объединить в одно целое все отдельные свидетельства, создав стройную теорию, которая буквально потрясла геологический мир. Поэтому именно он заслуживает такого высокого звания. Вегенер свел воедино все, что было тогда известно во всех соприкасающихся науках (геологии, геофизике, геодезии, биологии, палеонтологии, океанографии, метеорологии и астрономии) для всего геологического времени и во всех частях света (рис. 9).

Вегенер изучал астрономию и получил докторскую степень, но затем он перенес главное внимание на метеорологию и женился на дочери известного метеоролога В. П. Кёппена. Я подозреваю, что будь он по образованию геологом, ему никогда бы не осилить концепцию перемещения материков. Такие экзотические «прыжки» чаще всего совершаются перебежчиками из чуждых наук, не скованными ортодоксальной догмой.

---

Рис. 9. Вегенеровская реконструкция Пангеи для трех различных периодов. Легким крапом обозначены мелкие моря. Для облегчения идентификации показаны современные реки. Проекция стереографическая, координатная сетка условная.

Первая книга Вегенера «Die Entstehung der Kontinente» («Происхождение материков») была опубликована в 1912 г.\* Прославленная книга «Die Entstehung der Kontinente und Ozeane» («Происхождение материков и океанов») вышла в свет в 1915 г., а затем дополнялась и переиздавалась в 1920, 1922 и 1928 гг. Издание 1922 г., переведенное на английский Дж. Г. А. Скерлом в 1924 г., а также на французский, испанский, шведский и русский языки\*\*, послужило основой для полемики в мировом масштабе. Четвертое издание, включавшее много новых данных и освобожденное от некоторых слабых мест предыдущих изданий, было переведено на английский только более чем через три десятилетия (в 1966 г.), когда некоторые американцы начали с опозданием сознавать ценность вегенеровской работы.

Доводы Вегенера составили книгу, квинтэссенцией которой явились три тезиса. 1) Средний уровень суши на 5 км выше, чем средний уровень океанов; породы океанского дна примерно на 15% плотнее, чем породы материков. Плосковерхие айсберги, выступающие над водой на  $1/7$  своей толщины, представляют собой модель положения материков в плавучем равновесии — материка также выступают примерно на  $1/7$  своей толщины над средним уровнем морского дна. 2) Материки можно с успехом сложить вместе наподобие разрезной картинки, — получится один суперконтинент, который он назвал Пангеей. 3) Если модели материков вырезать из газеты, то собрав их снова воедино, мы увидим, что газетные строки на разных материках будут продолжаться через их границы. Вегенер показал это с помощью данных палеонтологии (близкородственные наземные растения и животные разделены сейчас широкими океанами), стратиграфии (сходные пачки пластов разобщены таким же образом, и тенденции геологического развития продолжают по обе стороны зоны раздела, что легко увидеть, соединив части вместе), палеоклиматологии (климатические зоны прошлого, выявленные, например, по следам оледенения, угленосным свитам и солевым отложениям пустынь, совпадают при сложении частей, но занимают абсурдно нелогичное положение в современном их расположении), тектоники (складчатые горы оказываются вопреки логике срезаны океаном, но при соединении образуют единые сооружения) и т. д.

---

\* Это была не книга, а первые краткие журнальные изложения концепции Вегенера в «Geologische Rundschau» (1912, Bd. 3) и «Petermanns Mitteilungen» (1912, Bd. 58). — *Прим. ред.*

\*\* Имеются три перевода книги Вегенера на русский язык, опубликованные в Берлине (1922) и Москве (1925; 1984. — М.: Наука, перевод 4-го немецкого издания 1929 г.). — *Прим. ред.*

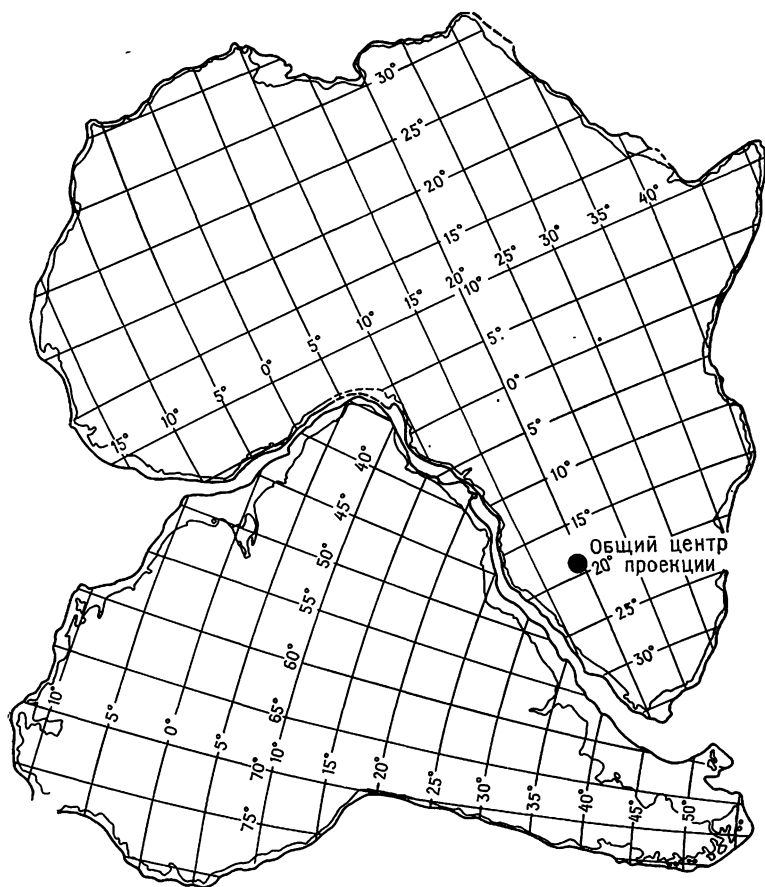
Только третье издание вегенеровской книги (1922 г.) было переведено на английский, и оно произвело на недоверчивых американцев и британцев эффект разорвавшейся бомбы: совпадение берегов Южной Атлантики стали дотошно проверять. Лично меня вдохновило то, что сэр Эджуэрт Дейвид, сильно заинтересовавшийся этим, но осторожный в выводах, вырезал соответствующие материки из глобуса и соединил их. «И поверите ли, — сказал он, — поразительно, как они сходятся». Дейвид выступил 12 июня 1928 г. с публичным докладом, в котором сказал, что вся эта теория на первый взгляд кажется фантастической, но после раздумья над фактами данная гипотеза переходит в область вероятного.

Будучи студентом, я по предложению профессора Л. А. Коттона сделал картографически правильные стереографические проекции, используя изобаты 100 и 1000 мор. сажень (около 200 и 2000 м), причем не только для соединения берегов Южной Атлантики (рис. 10), но и для нескольких других районов, в том числе для Австралии — Антарктиды и Австралии — Индии с Бенгальским заливом против северо-западного шельфа Австралии. Коттон предложил начертить на этих проекциях нормальную экваториальную стереографическую сетку и поворачивать чертеж вокруг подходящего полюса Эйлера, что осуществляется на стереографической проекции сравнительно легко. Но я предпочел более трудоемкий путь расчета серии косых стереографических проекций, так как я смог бы в этом случае работать в гораздо более широком масштабе, а предложение Коттона, теоретически правильное, вело к накоплению ошибок построения. Обычные проекции, включая и стереографические, показаны на рис. 32; об их использовании говорится в гл. 12.

Споры о материковом дрейфе бушевали с большой страстью в течение 1920-х годов. Англоязычные геофизики почти единодушно ополчились против него — главным образом, вероятно, под влиянием Джеффриса, но в Германии многие предпочитали рассматривать новую теорию всерьез. Среди них были Гельмерт, Альбрехт, Фёрстер, Миланкович\* и Гутенберг. Сейсмолог Бено Гутенберг (1889—1960) использовал в 1927 г. распределение землетрясений для возрождения теории Джорджа Дарвина об отрыве Луны. С района, занятого теперь Тихим океаном, была полностью сорвана континентальная кора, а остальная часть земной коры стягивалась к этому району, и таким образом образовались новые рифтовые океаны, которые обладали тонкой корой материкового типа, сформировавшейся после ка-

---

\* М. Миланкович (1879—1958) — югославский палеоклиматолог, создатель астрономической теории колебаний климата в четвертичном периоде. — *Прим. ред.*



**Рис. 10.** Африка и Южная Америка, соединенные мною по изобате 1000 мор. саженей на косо́й стереографической проекции в 1933 г. — еще до того, как я понял, что Земля расширяется. Хотя я вдвинул северо-восточный угол Бразилии максимально далеко в Гвинейский залив, мне не удалось убрать зияющие щели, открывающиеся в обоих направлениях вследствие расширения Земли.

тастрофы. В 1936 г. Гутенберг оставил идею об участии Луны, но сохранил интерес к материковому дрейфу, несмотря на бесцеремонное давление со стороны его новых коллег в Америке, до конца своей жизни. Незадолго до смерти он связался со мной для обсуждения моего доклада на симпозиуме 1956 г.

Геологи, изучавшие геологические процессы глобального масштаба, такие, как Эмиль Арган, Рудольф Штауб, Э. Б. Бейли, Реджинальд Дэли и Артур Холмс, были, как правило, благо-

склонны к новой теории; однако геологи с более локальными интересами и специалисты лабораторного профиля обычно ее отвергали. Многие биологи, сталкивавшиеся с проблемами разрыва в последовательности распределения животных и растений (например, ведущий английский палеоботаник А. С. Сьюард), при использовании материкового дрейфа находили более удовлетворительные решения. Наиболее сильная оппозиция была в Северной Америке, тогда как многие европейские геологи десятилетиями мыслили в русле мобилизма. Много его защитников было среди геологов, работавших в Ост-Индии и в странах Гондваны: Рейнхардт Маак и Беурлен в Южной Америке, Дю Тойт и Лестер Кинг в Южной Африке, Вадиа и Кришнан в Индии, Эванс и, позднее, я в Австралии. Большой отряд геологов, читавших по-немецки, был вдохновлен учением Вегенера, но отошел от него, считая распад Пангеи результатом значительного расширения Земли начиная с палеозоя. В эту группу входили Линдемманн (1927), Боголепов (1928), Хильгенберг (1933), Холм (1935), Кейндль (1940) и Эдьед (1956). Подробнее о них позже.

Один дальновидный американец, шедший против течения, профессор Гарвардского университета Реджинальд Дэли в 1928 г. издал книгу «Наша подвижная Земля», которая произвела на меня, студента, сильное впечатление.

### Симпозиум Американской ассоциации геологов-нефтяников

В ноябре 1926 г. в Нью-Йорке проводилось ежегодное собрание Американской ассоциации геологов-нефтяников (AAPG), и в связи с ним был организован международный симпозиум по материковому дрейфу. Труды этого симпозиума, опубликованные в марте 1928 г., определили развитие данной проблемы в последующие три десятилетия. Вегенер, сильно занятый тогда своими геодзическими работами в Гренландии, с помощью которых он надеялся доказать ее западный дрейф относительно Европы, не присутствовал, хотя и прислал две короткие статьи: одну — о геодзической программе, другую — о климате Северной Америки в каменноугольном периоде. В отсутствие Вегенера сообщение сделал В. А. Й. М. ван Ватерсхот ван дер Грахт — в то время вице-президент компании «Марланд ойл».

В результате этого симпозиума почти все американские геологи отвергли идею материкового дрейфа, но для меня, напротив, изучение трудов симпозиума, особенно статьи ван дер Грахта, убедительно показало, что теория Вегенера, вероятно, правильна. Против теории было выдвинуто много возражений, но

эта критика была в основном тривиальной и поверхностной, а там, где она была справедливой, острее было направлено против ее физического механизма. Большинство существенных аргументов в пользу дрейфа осталось непоколебленным.

## Дю Тойт

В ретроспективе можно пожалеть, что Александр Дю Тойт (1878—1948) не присутствовал на симпозиуме AAPG. После многолетних полевых работ в составе сотрудников Геологической службы Южной Африки, где он стал признанным авторитетом в вопросах региональной геологии, он получил субсидию от корпорации Карнеги, позволившую ему много путешествовать по Южной Америке и сравнивать геологическое строение по обе стороны Атлантики. Результатом этого стала его чрезвычайно важная статья «Геологическое сопоставление Южной Америки и Южной Африки» (1927 г.). Вот собственное его резюме, написанное десятилетием позже:

«[В статье] обращается внимание на целый ряд соответствий между обеими сторонами Южной Атлантики в конфигурации отложений девонской системы, каменноугольного оледенения, пермотриасовых пород и т. д., подчеркивается значение формационных изменений в направлении от соответствующих побережий. Отмечается, что мезозойская складчатость Капской провинции и Аргентины подходит под прямым углом к более древним структурам, ориентированным параллельно двум атлантическим берегам и, как однажды выразился Холмс, это *пересечение древних структур началось на одной материке и закончилось на другом*. Такие явления можно объяснить только признанием дрейфа... Совместные свидетельства указывают на то, что Фолклендские острова располагались раньше между Капской провинцией и Аргентиной, причем их стратиграфия и структура почти идентичны капским».

В 1938 г. Дю Тойт опубликовал свой великий труд «Наши блуждающие материка» — самый детальный и всеобъемлющий со времени Вегенера. Он уверенно высказался за материковый дрейф, но отошел от Вегенера в одном важном вопросе: если Вегенер реконструировал материка в единый суперконтинент Пангею, то у Дю Тойта были два отдельных циркумполярных континента — Лавразия в Северном полушарии и Гондвана в Южном; древний Тихий океан первоначально был экваториальным и разделял эти материка, а свою нынешнюю форму он приобрел тогда, когда Лавразия соединилась с Гондваной и образовался Альпийско-Гималайский складчатый пояс.

Гонды — это дравидийское племя негроидного типа, аборигены Центральной Индии. Кто-то недавно заметил, что английский термин «Gondwanaland» (Гондваналенд) — тавтология, потому что само слово «Гондвана» означает «земля гондов», но

исследования д-ра Фахруддина Ахмада (мирового авторитета в гондванских проблемах) раскрывают другое значение. Согласно «Махабхарате», примерно за 1500 лет до н. э. в Центральной Азии шла жестокая война между двумя ревнивыми братьями-ариями; побежденная группа ушла на юг, в Индию, и захватила земли более примитивных дравидийских племен, представителей которых они презрительно называли «говандавана» («люди с бычьими яйцами» — от «гов» — бычий, «анда» — яички, тестикулы, «вана» — принадлежащий), и название Гондвана сохранилось до наших дней. В геологии его впервые использовал Г. Б. Медликотт в рукописном докладе Геологической службе Индии, а затем оно было применено Отто Фейстмантелем для названия «гондванская флора» в «Ведомостях» этой службы, опубликованных в 1876 г. Сотрудник той же организации Уильям Блендфорд изобрел название «Гондваналенд» для группы материков, которые, как он считал, были частями единого массива суши с каменноугольного периода до юры. Это понятие было воспринято известным австрийским мастером обобщений Эдуардом Зюссом (1831—1914) и использовано в его четырехтомном труде «Лик Земли» для обозначения южных территорий, на которых присутствуют флора *Glossopteris*, следы позднепалеозойского оледенения и другие сингулярности.

Схема «Лавразия — Гондвана» Дю Тойта была одобрена Лестером Кингом, и в философском плане она действительно весьма привлекательна, так как ее симметричность соответствует представлению о глобальных конвективных потоках в недавно образовавшейся Земле. Эти потоки поднимались в экваториальном поясе, где температуры поверхности были наибольшими, и стягивали поверхностную «пенку» к полюсам, где и формировались первичные материки, а более холодный конвекционный поток поворачивал вниз. (Однако преимущество такой модели исчезает, если предположить, что Земля расширяется и первичная литосфера покрывала весь земной шар.) Дальнейшие исследования недвусмысленно подтвердили правильность вегнеровской идеи о Пангее.

Книга Дю Тойта вышла в свет, когда всеобщее отрицание материкового дрейфа достигло апогея. Однако он следующим образом суммировал то, с чем соглашалось меньшинство, разделявшее эту концепцию:

а) два крупнейших материнских массива на протяжении всего палеозоя — Лавразия и Гондвана,

б) раскол их, начавшийся в позднем мезозое и все еще продолжающийся,

в) расхождение разных частей праматериков друг от друга и в направлении экватора с некоторой тенденцией смещения на запад,

г) дрейф коры относительно полярной оси, вызывающий крупные климатические изменения.

д) некоторое искажение конфигурации массивов в ходе дрейфа,

е) перетекание части тихоокеанских вод в образующиеся при растяжении впадины — формирование новых океанов,

ж) понимание дрейфа как процесса, действовавшего на протяжении всего геологического времени,

з) причина или причины движений находятся не где-то во вне, а внутри самой Земли.

Большинство этих положений сохраняется и теперь, но вместо двух материнских массивов реконструирован один — Пангея, а пункт «в» изменился таким образом, что движение направлено не к экватору, а к северу при общем расхождении.

Главным вопросом исследований, начавшихся после появления работы Вегенера, был механизм, приводящий материка в движение. И тогда, и сегодня речь чаще всего идет о мантийной конвекции, и поэтому будет полезно несколько отклониться от нашего повествования и рассмотреть этот важный вопрос.

## Течение и конвекция в твердом веществе

Когда расплавленная лава, расплавленное железо или простая вода застывают, они кристаллизуются в твердые вещества, в которых зерна кристаллов, как правило, одинаковы во всех направлениях. Если железную болванку расплющить на прокатном стане, так что ее длина увеличится раз в пятьдесят и она превратится в длинный стержень или тонкий лист, то окажется, что кристаллы в железе, подвергающемся такой обработке, перестраиваются снова и снова в определенном направлении. Точно так же и лед после того, как ледник протечет несколько километров, приобретает прочные зерна и ориентацию кристаллов: в сущности это метаморфическая порода, испытывающая неоднократную перекристаллизацию в процессе течения. Давления в недрах Земли во много раз больше, чем в леднике или в прокатываемом металле, и если давление не одинаково во всех направлениях, то твердая порода течет до тех пор, пока давление не уравнивается, и это ее течение происходит путем повторяющейся перекристаллизации. Порода в этом случае приобретает ярко выраженную ориентировку зерен и называется гнейсом или кристаллическим сланцем; ее кливаж соответствует плоскостям наибольшего растяжения, и в ней возникает также линейность (ориентировка игольчатых кристаллов в направлении максимального удлинения). Поэтому наличие сланцев и гнейсов указывает на то, что порода испытала течение в твер-



дом состоянии — обычно на десятки километров или гораздо больше. Твердотельное течение играет важную роль в тектонических процессах, формирующих рельеф земной поверхности.

Вследствие того что в недрах Земли имеется небольшое количество радиоактивных веществ, там непрерывно генерируется тепло, и этот тепловой поток направляется к поверхности. Горные породы различаются по своей теплопроводности и по содержанию радиоактивных элементов, поэтому температуры в одних местах поднимаются выше, чем в других. Этот процесс повышения температуры влияет на свойства пород: более нагретые породы сильнее расширяются, становятся менее плотными и более плавучими, а одновременно и более мягкими, легче реагирующими на разность давлений. (Если вы хотите согнуть твердый материал, то для того, чтобы он не потрескался, вы его нагреваете.) В результате более горячие участки поднимаются и расширяются в стороны, а более холодные опускаются и подтекают под воздымающийся столб, создавая конвективную циркуляцию. Имеются веские доказательства того, что такая циркуляция непрерывно происходит в мантии Земли.

Предположения о конвективном течении вещества внутри Земли высказывали многие: в 1881 г. — Осмонд Фишер, в 1906 — Отто Амперер, в 1928 — Рудольф Штауб в Швейцарии, в 1935 — К. Л. Пекерис (позднее — в Вейцмановском институте в Израиле) и особенно уверенно — Артур Холмс (в Дареме и Эдинбурге), Феликс Венинг-Мейнес (в Нидерландах) и Дэйвид Григгс (в Гарвардском университете). Эти течения трактовались как главная движущая сила в геотектонике вообще, а в последнее время — в связи с материковым дрейфом. Кейт Ранкорн из Ньюкасла счел конвекцию главной причиной перемещения континентов, позднее к этому выводу присоединился и Гарри Хесс из Принстонского университета. Течение вещества происходит в твердом состоянии, когда его вязкость и жесткость во много раз больше, чем в движущемся леднике. Поэтому там, где конвекционный поток поднимается и поворачивает в сторону, он увлекает с собой вышележащую кору и образует на поверхности рифтовые структуры растяжения; там, где он направлен горизонтально, он должен переносить пассивную кору на себе, подобно тому как ледник несет на своей поверхности каменные глыбы. В тех местах, где поток поворачивает вниз, он вызывает в поверхностных породах сжатие, но может и увлечь вниз подкоровое вещество, тем самым приводя к «подрезанию» коры, т. е. к ее тектонической эрозии снизу.

Все опубликованные до сих пор теоретические модели конвективных ячеек чрезмерно упрощены. Не учитываются изменения вязкости, хотя нет сомнения в том, что значения вязкости в пределах слоя, где происходит циркуляция, меняются, воз-

можно, в сто тысяч раз. Это позволяет предполагать, что скорость течения под действием данной движущей силы также будет меняться соответствующим образом. Это не мешает конвекции, но конфигурация ячеек должна сильно отличаться от той, что показана в учебниках.

Другое осложнение состоит в том, что поток должен пересекать большое число границ фазовых переходов (где рост давления с глубиной приводит к перекристаллизации минералов и переходу их в более плотную фазу, и наоборот). Известно, что некоторые из этих фазовых превращений метастабильны, т. е. новые минералы остаются в уплотненном состоянии долгое время после того, как давление понизится (хорошо известные примеры — алмаз и гранаты). Если изменения плотности с температурой усиливают конвективную циркуляцию, то метастабильность должна ее задерживать.

Мои собственные выводы очень сильно уменьшают роль конвективной циркуляции. В расширяющейся Земле нисходящая ветвь конвективного потока определенно должна быть слабее и течение прекратится совсем, если скорость восходящего потока будет соответствовать скорости увеличения объема и площади поверхности.

## Десятилетия презрения

С 1930-х и до начала 1950-х годов идеи Вегенера в основном отвергались и считались фантазией — увлекательной, но ложной. «*Ein Märchen*, несбыточная мечта, прекрасная сказка», — победно твердил американский ученый хор. Статьи, где материковый дрейф отвергался, проходили через руки рецензентов без задержки: они считались правильными *a priori*, потому что все *знали*, что идея дрейфа неверна. Великие (во всех иных отношениях) ученые, такие, как Гарольд Джеффрис и Джордж Гейлорд Симпсон, отделялись абсурдными солецизмами, грубо ошибочными высказываниями, которые, однако, принимались на веру и считались убедительными доводами против дрейфа материков.

Симпсон, например, с презрением отметал данные о фаунистических связях между Африкой и Южной Америкой, ссылаясь на то, что триасовые рептилии имеют-де только отдаленное родство, соответствующее их современному отдельному обитанию по разные стороны широкого океана:

	A	B	C
Семейства	100	89	43
Роды	82	64	8
Виды	65	26	0

- А — процент современных млекопитающих шт. Огайо, которые обитают также в шт. Небраска, на расстоянии 500 миль;
- В — процент современных млекопитающих, живущих на территории Франции, которые обитают также в Северном Китае, на расстоянии 5000 миль;
- С — процент известных южноамериканских триасовых рептилий, найденных также в триасовых отложениях Южной Африки, в настоящее время — на расстоянии около 4750 миль.

Наивность такого довода бросается в глаза. Списки фауны современных млекопитающих можно считать практически полными. Вероятность обнаружения нового вида очень мала, еще меньше — нового рода или семейства. Что же касается триасовых рептилий, то, наоборот, иногда целый род известен лишь по одной ископаемой кости. В то время, когда писал Симпсон, во всем австрало-азиатском октанте земного шара от Малайзии до Новой Зеландии не было известно ни одной триасовой рептилии. С тех пор один почти полный скелет был найден в районе Хобарта, другие — в иных местах; найдено было также несколько окаменелостей земноводных. Было бы абсурдно считать списки триасовой фауны полными хотя бы на 1%. Если взять 1% случайно выбранных млекопитающих Огайо и Небраски, доля совпадений резко упадет. Кроме того, столбец С охватывает примерно 60 млн. лет, и, значит, чтобы правильно сопоставить его со столбцом А, надо бы взять случайный 1% от всех млекопитающих шт. Огайо, известных с эоценовой эпохи, и сравнивать его с таким же случайным числом для Небраски.

В 1929 г. вышла солидная монография Гарольда Джеффриса «Земля» — поистине самый авторитетный за все времена труд по физике Земли, продолжающий традицию Осмонда Фишера и Кельвина. Однако Джеффрис (1891—1989) полностью отвергал гипотезу Вегенера и писал по поводу предположений о соответствии выступа Южной Америки конфигурации гвинейского побережья Африки: «Если посмотреть на глобус, то можно увидеть несовпадение почти на 15°. Побережья заливов нельзя совместить друг с другом, не деформируя их, на сотни километров. Ширина мелководных окраин океанов не подтверждает идею о том, что конфигурация берегов сильно изменилась в результате денудации и осадконакопления».

Я много раз внимательно разглядывал глобус, стараясь разобраться в этом вопросе, и установил, что заявление Джеффриса неправильно. Думаю, что суть дела весьма тривиальна, что истинное положение можно было легко вообразить и эту критику вполне можно было опровергнуть. Но авторитет Джеффриса был так велик, что большинство исследователей принимало его суждение как окончательное. Джеффрис повторил это заявление во втором издании своей книги, вышедшем в 1952 г., и, под-

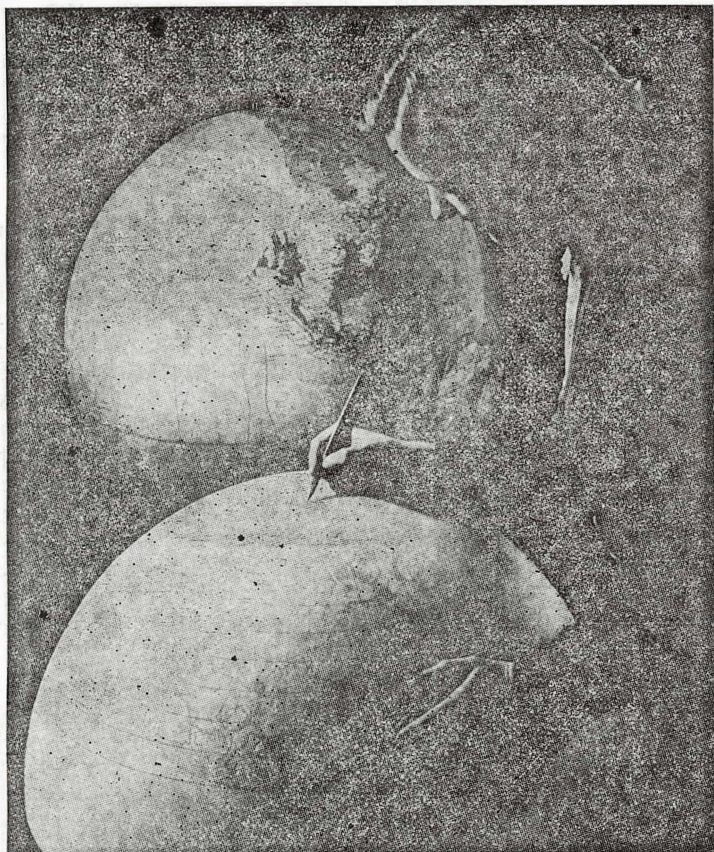


Рис. 11. Полусферический стол того же радиуса, что и стоящий за ним глобус, и изогнутая прозрачная фольга, используемые для точного сопоставления очертаний материков. Лист фольги слева вверху на глобусе настолько точно соответствует его форме, что его не надо закреплять. Через фольгу видна Северная Америка. На столе два листа фольги соединены и покрывают всю Арктику.

ливая масла в огонь, д-р Джордж Мартин Лис (мой бывший начальник в Англо-Иранской нефтяной компании) в своем президентском обращении 1953 г. к Геологическому обществу Лондона включил его в перечень трех важнейших доводов против гипотезы Вегенера. Поэтому я послал Лису свои стереографические проекции, построенные двумя десятилетиями раньше, вместе с сопоставлениями, которые я сделал на сферическом столе (рис. 11) и которые доказывали, что явление Джеффри-

са не соответствует действительности. Я добавил, что «независимо от того, верна гипотеза материкового дрейфа или нет, использовать этот аргумент против нее больше не следует». Я попросил Лиса организовать публикацию этого опровержения, что он и сделал.

Когда я приехал в Англию летом 1960 г. как делегат Тасмании на празднование 300-летия Королевского общества, Эдуард Буллард пригласил меня на обед, где обсуждалось подобие Атлантических побережий, которое он тогда еще раз доказал с помощью компьютера. Этот вариант стал с того времени известен как «реконструкция Булларда» и получил всеобщее признание.

Хотя любые сомнительные заявления, чернящие идею материкового дрейфа, в тот период легко проникали в печать, работы чудаков, которые осмеливались высказываться в ее пользу, отвергались рецензентами и редакторами с едкими комментариями. Так, в 1953 г. я послал в Американский геофизический союз статью, в которой описал самую первую физически возможную картину пассивного движения материка к глубоководному желобу, под которым подкорový субстрат постепенно стачивался погружающейся пластиной; статья была отвергнута как «наивная и непригодная к публикации». Через 20 лет, когда «появилась» тектоника плит, я сдул пыль со старой рукописи и подумал было, что теперь они могли бы опубликовать ее как исторический документ. Спустя шесть месяцев редактор ответил, что у них не принято публиковать отклоненную раньше статью, *какой бы хорошей она ни была!*

## 9

### Посев семян революции

В то время как идея о материковом дрейфе презиралась, совершенствование оборудования и методов наблюдений, накопление фактических данных и прогресс в теории неуклонно вели к признанию модели Вегенера. Эта и следующие главы посвящены описанию указанной тенденции.

С 1930 до 1937 г. я следовал в своей работе модели Вегенера (приводимой в действие мантийной конвекцией), затем вплоть до 1956 г. — модели Дю Тойта с древними пракоинтинентами-близнецами Лавразией и Гондваной, а после этого — модели

расширения, в которой материка расходились как части покрывавшей весь земной шар материковой коры, причем каждый материк оставался прикрепленным к своему участку подстилающей мантии. Следовательно, мое собственное видение периода между смертью Вегенера и признанием его правоты отличается от оценки, приведенной в учебниках, почти так же, как взгляд черного южноафриканца на современное общество отличается от представлений африканера. Такое различие в восприятии прошлого необходимо объяснить, хотя бы для того, чтобы история этого периода выглядела более сбалансированной.

Революция, упомянутая в названии этой главы, разбивается на три фазы. Первая — это мобилистская революция, в результате которой англоязычный научный мир признал относительное движение материков. За ней сразу же последовала затмившая ее плитотектоническая революция — примерно так же, как за меньшевиками в 1917 г. пришли большевики. Для сторонников тектоники плит это отделение одной фазы от другой может показаться педантизмом, но оно — и начало, и сердцевина моего несогласия с их точкой зрения, продолжающегося два десятилетия. Третьей фазой революции — по моему убеждению, скорой и неизбежной — будут признание расширения Земли и отход от идеи субдукции к той модели, которую я развиваю, как сказано выше, с 1956 г.

## Палеомагнетизм

В 1849 г. Акиль Делесс обнаружил, что некоторые современные лавы намагничиваются в направлении локального геомагнитного поля, а Мачедонио Меллони в 1853 г. подтвердил, что лавы Везувия намагничены параллельно окружающему полю. На рубеже веков Джузеппе Фольгерхайтер распространил этот вывод на кирпичи и глиняные черепки, показав, что при обжиге керамика намагничивается параллельно локальному полю и что эта намагниченность остается стабильной (поэтому она получила название остаточной намагниченности) даже в материале горшков, захороненных в случайном положении тысячи лет назад. Значит, изучая древние черепки, можно проследить современную историю наклонения геомагнитного поля.

На фоне брожения в науке в конце 1920-х годов Поль Меркантион доложил Французской академии, что с помощью магнитных исследований в распавшихся частях Пангеи можно осуществить объективную проверку теории Вегенера. Эту идею поддержал в 1940 г. Бено Гутенберг, который всегда относился к концепции материкового дрейфа с симпатией. Но из-за второй мировой войны только в конце 1940-х — начале 1950-х годов

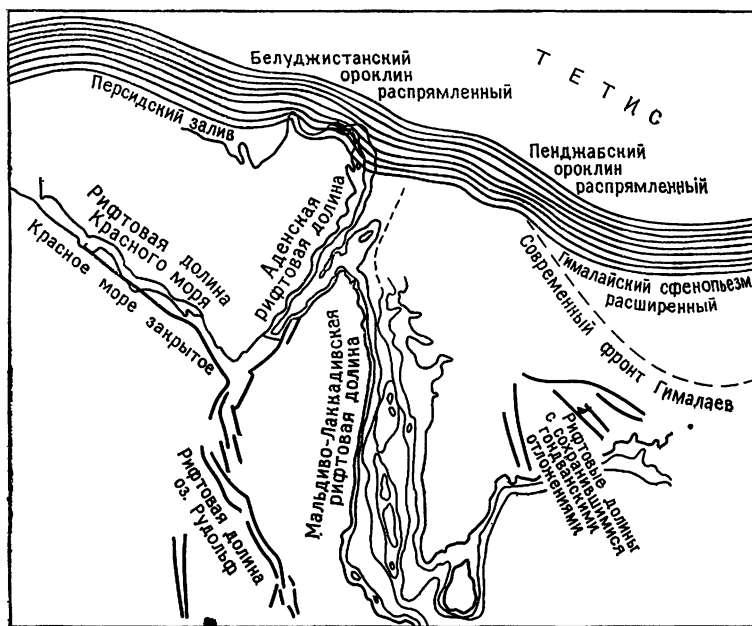
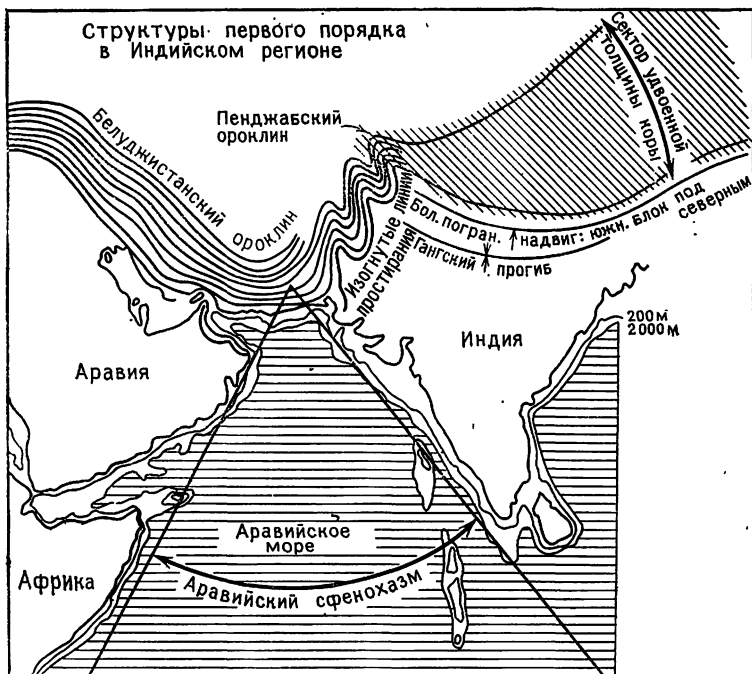
английские физики Патрик Блэкетт (который изобрел астатический магнитометр и тем самым существенно усовершенствовал измерения очень слабой намагниченности) и Кейт Ранкорн со своими учениками серьезно изучили это предложение. Стимулом для их работы послужило сообщение Джона Грэма (из Института Карнеги) о том, что по меньшей мере некоторые осадочные породы также сохраняют направление древнего намагничения на протяжении долгого геологического времени.

В это время Тасманская гидроэлектрическая комиссия (в которой я был консультантом) как раз закончила бурение 300-метровой вертикальной скважины через юрские долериты на восточном берегу озера Грейт-Лейк, и я послал Блэкетту авиапочтой образцы керна, отобранные через 30 м, с предсказанием, что во время образования долеритов они должны были находиться относительно близко к тогдашнему полюсу. Через некоторое время Блэкетт телеграфировал, что намагниченность керна близка к вертикальной, и это подтвердило мой тектонический прогноз. Эта работа, проведенная в сотрудничестве с профессорами Дж. Джейгером и К. Ранкорном, привела к приглашению Эдуарда Ирвинга, тогда студента-дипломника в Кембридже, заняться научными исследованиями в Австралийском национальном университете. Там он приступил к систематическому изучению остаточной намагниченности юрских долеритов Тасмании, образовавшихся, как он установил, у 80° ю. ш.

Тем временем один из моих коллег М. Р. Банкс, находясь в научной командировке в Массачусетсе, отобрал для меня ориентированные образцы рэтских долеритов с западного берега реки Гудзон, и я попросил д-ра Р. Маака (из Музея Куриатибы) отобрать образцы базальтов из бассейна Параны в Бразилии. Поскольку Д. Ян Гоф и Антон Хейлс изучали с 1950 г. палеомагнетизм долеритов Карру в Институте Бернарда Прайса в Йоханнесбурге, палеомагнитное подтверждение идеи о существовании Гондваны можно было представить на проведенном в 1956 г. в Хобарте симпозиуме по материковому дрейфу (см. ниже).

## Ороклины

В последние 100 млн. лет по периферии вегенеровской Пангеи существовали пояса активного горообразования; они пересекали и ее среднюю часть, переходя от Новой Гвинеи через Индонезию, Гималаи и Средиземноморье в Северо-Западную Африку и Карибский регион. Для этих поясов были характерны землетрясения, вулканы, большие мощности рыхлых осадочных пород; кора под ними была существенно горячее, чем в нор-





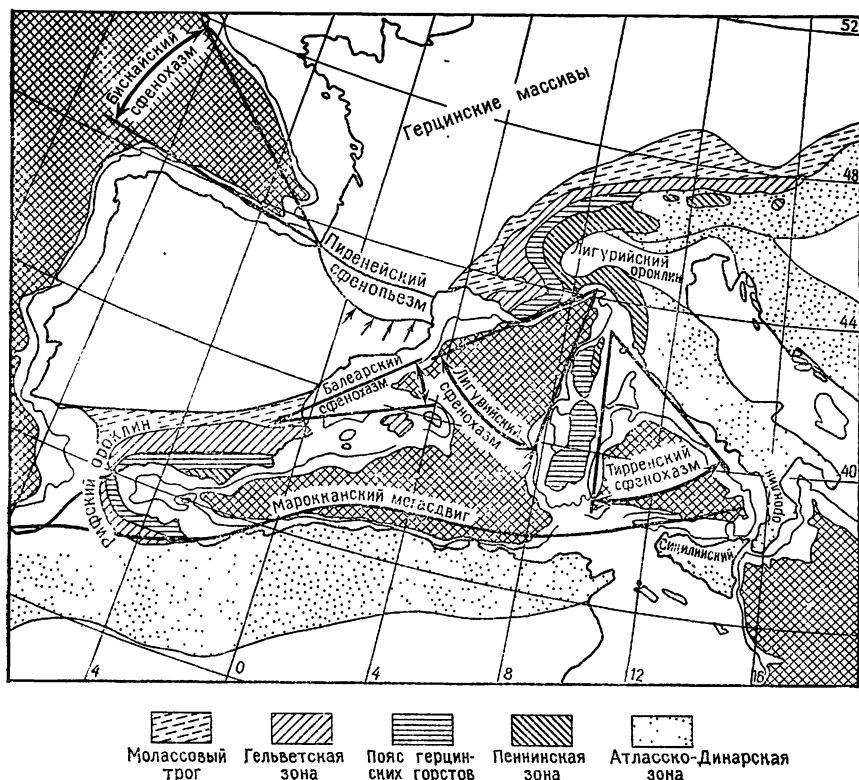


Рис. 13. Ороклины, сфенохазмы и мегасдвиги западного Средиземноморья, какими я представлял их себе в 1938 г. Перекрестной штриховкой показаны глубины более 2000 м. Линия между этой областью и сушей — изобата 1000 м.

мальных условиях; под действием напряжений она становилась податливой и в ней развивались сильные деформации, захватывающие обширные площади. Эти складчатые пояса выделялись на фоне огромных пространств материков, где за сотни миллионов лет деформация почти не происходила.

В 1930-х годах мне представлялось, что если бы материки перемещались, как считал Вегенер, на большие расстояния, то складчатые пояса между ними, которые были подвижными и

Рис. 12. Белуджистанский ороклин, каким он представлялся мне в 1938 г. (до того, как я пришел к идее о расширении Земли).

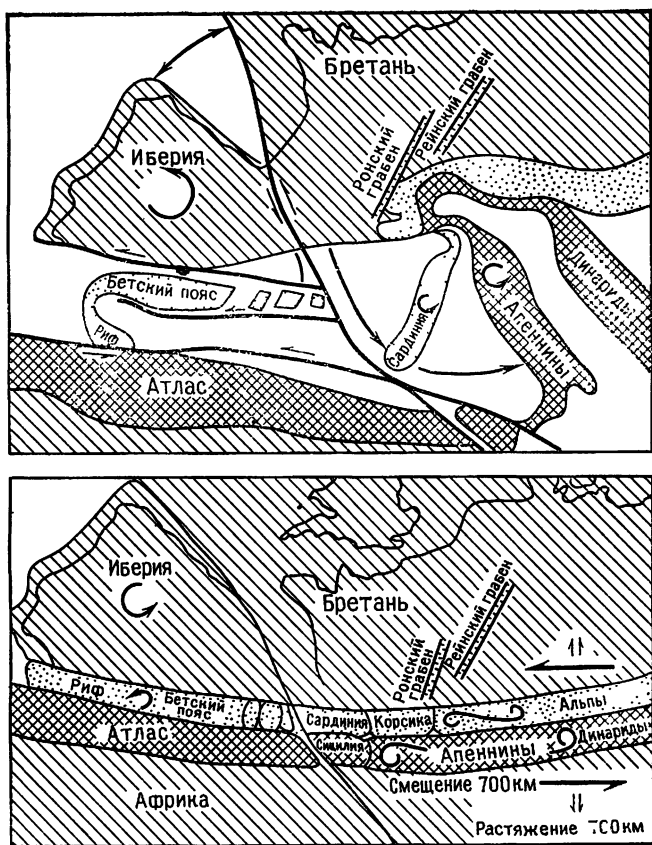


Рис. 14. Реконструкция раннемезозойской Западной Европы с учетом левосдвигового смещения на 700 км и расширения Средиземноморской впадины также на 700 км.

деформировались в соответствующее время, навсегда запечатлели бы в себе такие движения, и это должно ясно отразиться на форме их поверхности в плане. Даже самые примитивные физические карты земной поверхности подтверждали эти логические выводы. К 1938 г. я уже знал, что если распрямить явные изгибы складчатых (орогенических) поясов, которые я назвал ороклинами (от греческих слов *oros* — гора и *κλινω* — изгибать), то восстанавливаются очевидные простирания, исчезают видимые зияния и в результате только этого процесса реконструируются очертания Пангеи. Рисунки 12—18 иллюстрируют некоторые из таких построений. Большая часть того, что я

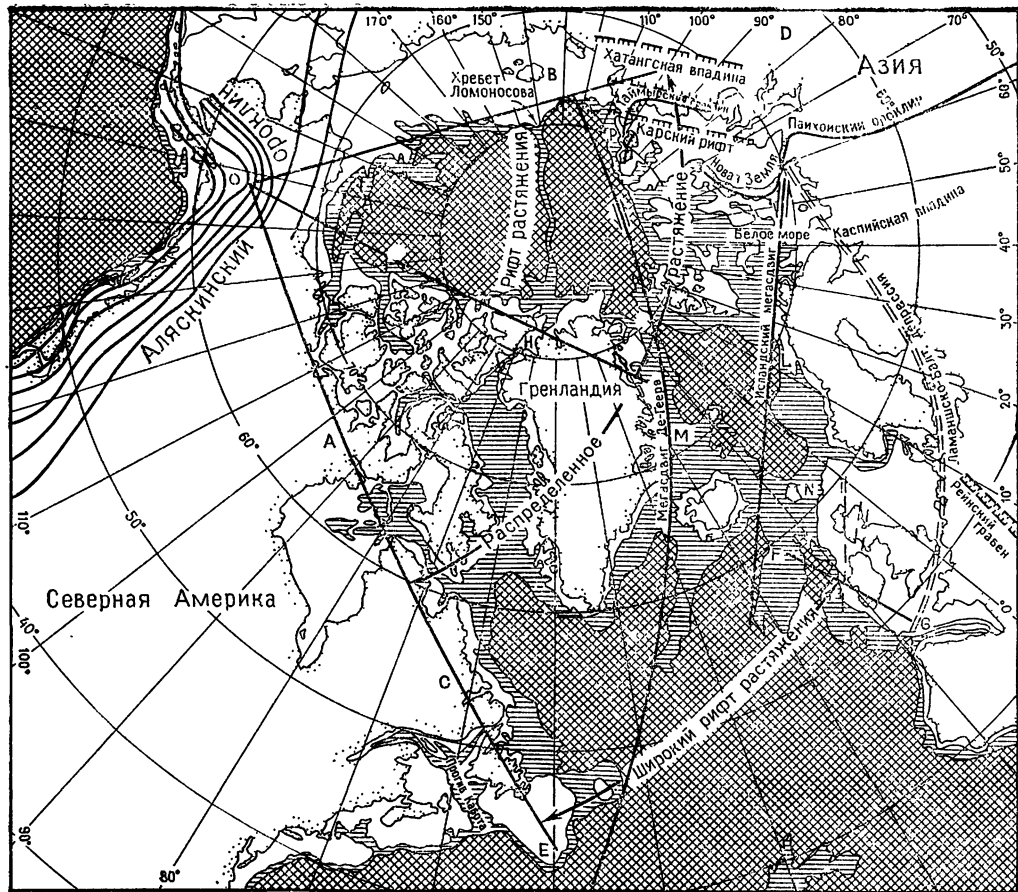


Рис. 15. Аляскинский орогенезис, как я представил его в 1956 г. на симпозиуме по материковому дрейфу.

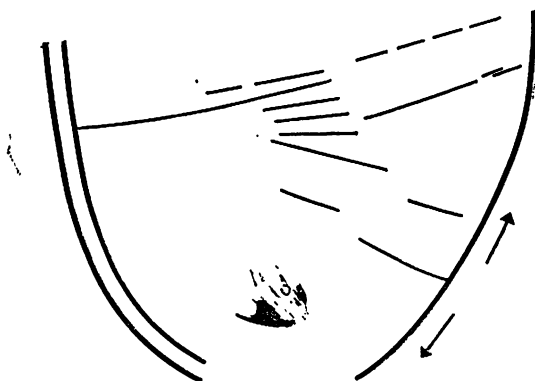


Схема главных разломов Северной Атлантики  
 Поперечные смещения не показаны



Рис. 16. Схема раскрытия Аляскинского ороклина. А — Аральская депрессия, Б — Беломорская депрессия, Х — рифтовая долина Хатанги, НЗ — Новоземельско-Пайхойский двойной ороклин, Ф — Земля Франца-Иосифа, Ш — Шпицберген, И — Исландия, Р — Рейкский грабен, Л — Лиссабонский уступ, Г — Гренландия, К — прогиб Кабота.

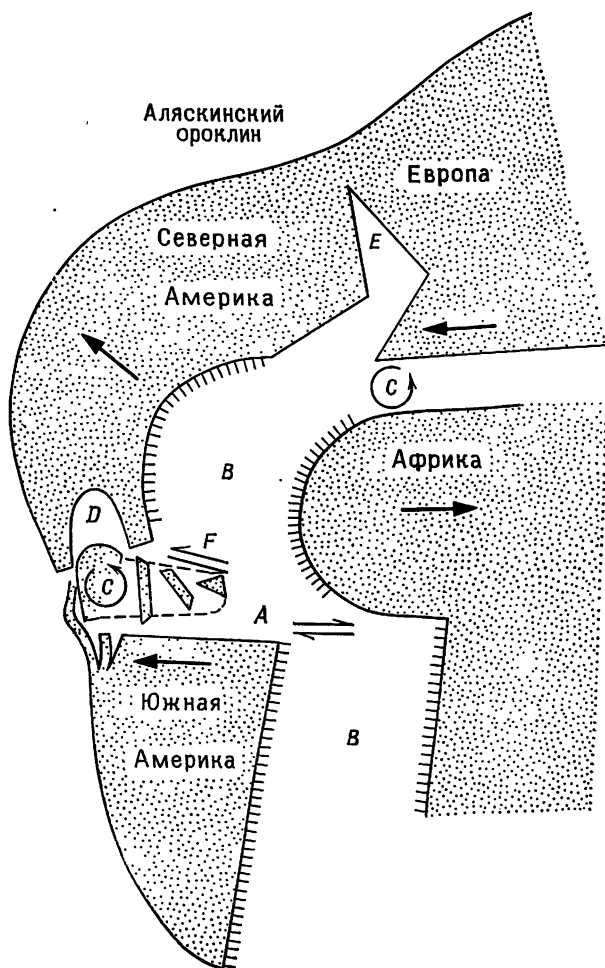


Рис. 17. Эту диаграмму я приготовил к симпозиуму по материковому дрейфу 1956 г. Она показывает соотношение Атлантического океана с Аляскинским ороклином. Американские материки качаются, как створки ворот, поворачиваясь вокруг Аляскинского ороглина и отходя от Европы и Африки. При этом Северная Америка и Европа смещаются к западу относительно Южной Америки и Африки в процессе кручения пояса Тетис (см. гл. 21). А — правый сдвиг между Венесуэлой и Золотым берегом Африки (Гана), В — Атлантический сфенохазм; С — Карибские острова и континентальные обломки в Средиземном море показывают левый поворот, вызванный кручением в зоне Тетис (см. табл. 2); D — Центрально-Американские блоки были отторгнуты от материка Америки, в результате чего образовался Мексиканский залив; E — Арктический сфенохазм; F — левый сдвиг при кручении Тетиса.



Рис. 18. Косая меркаторская проекция, показывающая соотношение между Атлантическим океаном и Аляскинским ороклином. Пары точек  $A-A'$ ,  $B-B'$ ,  $C-C'$  и  $D-D'$  отмечают места, ранее соединенные друг с другом.

Таблица 2. Предсказанные и измеренные повороты по данным об ороклинах

Повернутые блоки	Угол поворота, град	
	предсказанный по ороклинам	установленный по палеомагнитным данным
Северная Америка к Европе	30	30
Африка к Южной Америке	45	45
Ньюфаундленд	25	25
Испания	35	35
Италия	110	107
Корсика и Сардиния	90	50
Сицилия к Африке	0	0
Аравия к Африке	4	7
Новая Гвинея	35	40
Хонсю (Север и Юг)	40	58
Ороклин Мендосино	60	63
Пуэрто-Рико к Южной Америке	45	53
Ямайка к Южной Америке	42	50
Эспаньола (Гаити) к Южной Америке	39	40
Колумбия	Большой	80
Аппалачские дуги	20—40	29
Полуостров Малакка	Около 70	70
Серам (Индонезия, Молуккские о-ва)	Большой	98
Дуга Скоша	Большой	90
Индия	70	70

опубликовал в статье об ороклинах в 1954 г., уже присутствовала в предварительном варианте моей докторской диссертации в 1937 г., но накануне защиты я опустил рассуждения об ороклинах, так как сообразил, что они покажутся слишком радикальными и не будут приняты, а мне это будет стоить ученой степени.

Даже в 1954 г. рецензенты из Геологического общества Австралии отказались пропустить эту статью в печать. Однако она была опубликована в 1955 г. Королевским обществом Тасмании, а в 1963 г. получила «Золотую медаль Гондваны» как наиболее значительная работа за соответствующий трехлетний период. В табл. 2 перечислены отмеченные мной ороклинные повороты и показано, как они впоследствии были подтверждены палеомагнитными данными.

## Разрастание морского дна

Реконструкции ороклинов позволяют предполагать образование обширных областей новой океанической коры. Например, Белуджистанский ороклин формировался сопряженно с раскрытием Индийского океана (рис. 12), а Аляскинский (рис. 15—17) — с раскрытием Северного Ледовитого и Атлантического океанов. Для меня было также очевидно, что Африканские рифтовые долины, Красное море и Атлантический океан представляют собой последовательные стадии единого процесса разрастания. Механизм этого разрастания играл ключевую роль во всем процессе расхождения материков, что я и подчеркнул в дискуссии на симпозиуме по материковому дрейфу в Хобарте в 1956 г. Для точности объяснения процитирую отрывок из доклада на симпозиуме (рис. 19 в этой главе — модификация рис. 12 из упомянутого доклада).

«Трещины растяжения на малой глубине вертикальны и перпендикулярны к направлению действия напряжения (рис. 19, а). Однако с увеличением глубины быстро достигается условие, когда давление вышележащей толщи уже не позволяет возникать трещинам чистого растяжения, так как нагрузка превосходит сдвиговую прочность свободного сжатия, и главный эффект растяжения — образование разрывов чистого сдвига. Благодаря этому поверхностная вертикальная трещина растяжения на глубине оказывается отклоненной на угол около  $58^\circ$  ( $45^\circ$  плюс половина угла трения), как показано на рис. 19, б. Могут развиваться одна или обе из показанных возможных трещин. Геологическая нагрузка обычно появляется не мгновенно, а формируется на протяжении длительного времени. Поскольку скорость релаксации напряжений путем ползучести растет с температурой, должно развиться пластическое течение, дополняющее деформацию и усиливающееся с глубиной вплоть до того состояния, когда все напряжение релаксируется течением и не может достичь порога разрушения. Это определяет нижнюю границу возникновения землетрясений для данной скорости деформации. Следовательно, трещины крупного скола все больше и больше отклоняются течением, пока не рассеются в горизонтальном ламинарном течении (рис. 19, в). Таким образом, сверху вниз в коре, испытывающей растяжение, прослеживается такая последовательность: поверхностные вертикальные трещины растяжения, трещины крупного скола, падающие под углом около  $58^\circ$ , трещины вязкого скола со все более пологим падением и, в конце концов, горизонтальное ламинарное течение. В коре с заданными физическими свойствами и температурным градиентом уровень, на котором вязкий скол выполаживается до состояния ламинарного течения, зависит от степени растяжения. При слабом растяжении все напряжение будет релаксироваться ползучестью на сравнительно малой глубине. При большей степени растяжения в тех же породах напряжение будет возрастать до порога разрушения, и только потом релаксация посредством течения становится соответствующей растяжению.

Движение под действием растяжения дает картину, показанную на рис. 19, г, или ее половину. Образование вторичных разрывов неизбежно, так как в противном случае движение, направленное вдоль горизонтальной подошвы в правую или левую сторону, создаст зияние на наклонных поверхностях разрывов.

Однако рис. 19, г представляет весьма существенное нарушение изостазии благодаря дефициту массы за счет образования рифтовой долины: при шири-



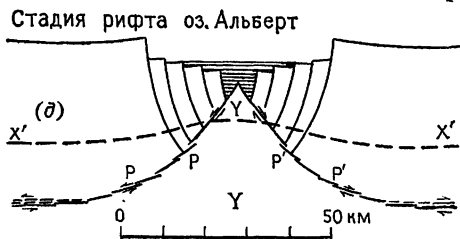


Рис. 19. Образование хребтов и парных ломтей разрастания: самые молодые находятся в срединном рифте (по материалам симпозиума 1956 г.).

не рифта 30 км и глубине 4 км это даст 300 млрд. т на 1 км длины. Земная кора определенно не выдержала бы дифференциальную нагрузку такого порядка. Поскольку компенсация в холодной верхней коре имеет региональный, а не узлокальный характер, вся площадь  $X-X$  (рис. 19, *г*) начинает изостатически подниматься — одновременно с объемным расширением (дилатацией) блока, но отставая от него. Возникает типичная рифтовая долина с приподнятыми, но все еще активно поднимающимися бортами, и создается отрицательная аномалия силы тяжести, обусловленная неполной еще компенсацией (рис. 19, *д*). Днище долины погружается или воздымается в зависимости от того, ускоряется или замедляется процесс прогибания, вызванного продолжающимся объемным расширением, относительно скорости изостатического поднятия...

Уже отмечалось, что изостазия приводит к изгибу линии  $X-X$  на рис. 19, *г* вверх — в положение  $X'-X'$ , показанное на рис. 19, *д*. Это означает, что на всех уровнях  $Y-Y$  вещество между разрывами и под ними оказывается более нагретым, чем то же вещество за пределами развития разрывов и над ними. Следовательно, материал в средней части более податлив по отношению к течению при том же напряжении и в то же время, чем материал над разрывами. Значит, если растяжение продолжается, то ослабленная подвижная зона протягивается внутрь под первоначальные разрывы, а сами эти разрывы, такие, как  $PP$  и  $P'P'$ , продолжают вверх до пересечения. Вещество же над ними отходит в стороны, что позволяет линии пересечения разрывов изостатически подниматься до поверхности. Таким образом, рифт становится шире благодаря течению на глубине и многократному образованию своего рода «ломтей» под более древними разрывами. Этот процесс может идти неопределенно долго и создавать все более расширяющийся океан (рис. 19, *е*). На всех стадиях этого непрерывного процесса берега на окраинах могут оставаться неактивными, но одновременно будет развиваться активная срединная зона разрывообразования и сейсмичности, следующая вдоль хребта, составленного из двух наклоненных бортов и узкого прогиба между ними на месте самого последнего растяжения. Этот прогиб создает дефицит масс и должен находиться в процессе изостатического поднятия. Приподнятые борта сохраняются благодаря тому, что региональная изостатическая компенсация достигается очень быстро, а локальная происходит гораздо медленнее и никогда не достигает полного равновесия. По мере того как локальная компенсация становится более полной, приподнятые края опускаются. В любом случае процесс должен прекратиться, когда последовательное объемное расширение приведет к появлению нового разрыва (такого, как  $PP$  на рис. 19, *д*), поскольку ранее приподнятый участок поверхности будет тогда в области оползневой просадки (как на рис. 19, *г*). Следовательно, в любой момент будет только одна пара приподнятых бортов даже у широкого рифта.

Механизм рифтообразования создает идентичные формы рельефа независимо от того, действует ли он в пределах континентальной коры или на дне океана. Эти характерные формы повторяются с точностью до мельчайших деталей на срединных хребтах Атлантического, Индийского и Южного океанов».

Там, где начальные условия симметричны, как в случае, когда рифт образуется внутри материка или в пределах существующего океана, структура развивается симметрично: по обе стороны срединной рифтовой долины поднимаются парные ломтеобразные куски ее бортов. Однако если начальные условия асимметричны, например когда рифт образуется на границе материка и океана, то эти «ломти» могут появиться только на одной стороне, так как различия в физических условиях распространяются на очень большую глубину.

Мне пришлось привести такую длинную цитату, чтобы показать, что тектоника плит предлагает отнюдь не первое и не единственно возможное объяснение механизма разрастания морского дна, удовлетворяющее имеющимся данным. Предложенный мною механизм сегодня так же работоспособен, как и 30 лет назад.

### Симпозиум в Хобарте

Как упоминалось раньше, в 1956 г. я провел Международный симпозиум по материковому дрейфу при Университете Тасмании в Хобарте. Вплоть до того времени я не сомневался в том, что диаметр Земли существенно не менялся с самого начала (этот вопрос никогда и не возникал), но во время дискуссий на симпозиуме все аномалии, которые так беспокоили меня, сошлись вместе и выкристаллизовались в идею о том, что реконструкция Пангеи требует меньшего размера Земли, и к концу симпозиума я сделал решительный шаг к идее о расширении Земли.

Среди участников симпозиума были проф. Л. Кинг из Дурбана, ставший проповедником идей Дю Тойта; д-р Дж. У. Эванс, с давних пор интересовавшийся материковым дрейфом с точки зрения распространения насекомых; д-р Р. Маак из Куритибы, ведущий авторитет по региональной геологии Бразилии; проф. К. Э. Кастер из Цинциннати, много лет изучавший палеозойскую стратиграфию Южной Америки и Африки; Э. Ирвинг, которого уже тогда считали ведущим специалистом по палеомагнетизму; проф. Дж. Ч. Джейгер, много сделавший для организации исследований в новых областях геофизики; д-р Р. О. Бруншвейлер из Цюриха, ставший мобилистом под влиянием Штауба; д-р Дж. М. Дикинз и д-р Дж. А. Томас, сопоставлявший пермские фаунистические комплексы Индии и северо-западной Австралии; проф. А. Г. Войзи, который раньше относился к материковому дрейфу с симпатией, но в период преподавания в Америке пропитался тамошним скептицизмом, и д-р А. А. Эпик, эстонец, известный во всем мире знаток раннепалеозойских трилобитов и противник материкового дрейфа.

Американские геологи почти единодушно отвергали идею материкового дрейфа, и поскольку сильнейшая оппозиция сосредоточилась в Йельском университете, где постоянство материков и океанов утвердил еще Дэна и твердо поддержал Ч. Шухерт, я пригласил в Хобарт в качестве главного гостя декана факультета геологии этого университета проф. Ч. Лонгвелла. Симпозиум произвел на Лонгвелла глубокое впечатление, в особенности успех метода ороклинов, новые свидетельства палеомагне-

тизма и данные о симметричном разрастании морского дна на срединных хребтах. В итоге по окончании симпозиума он предложил мне приехать в Йельский университет на год в качестве приглашенного профессора, чтобы «встряхнуть американское болото». Лонгвелл отличался более широкими взглядами, чем большинство его американских коллег. Однако служебные обязанности не позволили мне принять приглашение вплоть до 1959/60 учебного года.

Неожиданное одобрение работы симпозиума пришло также из другой части света. Профессор Э. Вегманн, преемник Э. Аргана в Невшателе, прислал мне оригиналы цветных иллюстраций из основополагающей работы Аргана «Тектоника Азии», представленной на Брюссельской сессии Международного геологического конгресса 1923 г., с припиской: «Вручаю Вам мантию Аргана».

### Апостол мобилизма в Америке

В Йельском университете (Нью-Хейвен, шт. Коннектикут) я прочитал полные курсы структурной геологии и глобальной тектоники. Но выступал с лекциями и во многих других американских университетах — в основном по международной программе обмена учеными под эгидой Американского геологического института: Брауновском (Провиденс, шт. Род-Айленд), Колумбийском (Нью-Йорк), Гарвардском (Кеймбридж, шт. Массачусетс), Уэслианском (Мидлтон, шт. Коннектикут), Лейхайском (Бетлехем, шт. Пенсильвания), Принстонском (Принстон, шт. Нью-Джерси), Дюковском (Дарэм, шт. Сев. Каролина), Университетах Северной Каролины (Чапел-Хилл), и Луизианы (Новый Орлеан), Сент-Луисском (шт. Миссури), Цинциннатском (Цинциннати, шт. Огайо), Университете Огайо (Атенс, шт. Огайо), а также в канадских университетах — в Торонто, Западном Онтарио, Мак-Гилле, Калгари и Британской Колумбии. Как в притче Иисуса о сеятеле (Матф., [13: 3—8]), некоторые брошенные семена упали на благодатную почву и пустили корни, но позднее были задушены буйно разросшимися сорняками субдукции.

Через четверть века Джон Роджерс, вспоминая вечные споры о природе орогенеза, писал:

«Мое собственное участие в разрешении этой дилеммы было отрицательным. Я покинул Северную Америку на год, чтобы изучать Альпы. В результате факультет геологии Йельского университета смог принять на этот год приглашенного профессора; мы выбрали Уоррена Кэри, и североамериканская геология уже больше не вернулась к своему прежнему состоянию. Он путешествовал по всему континенту, читал лекции в своем неподражаемом стиле

«теперь вам ясно, теперь — нет», беседовал с каждым, кто его хотел слушать, а когда он заканчивал объяснение, никто уже больше не смеялся над материковым дрейфом».

Профессор Уолтер Г. Бухер, патриарх американских тектонистов, уязвленный моими еретическими высказываниями, пригласил меня на открытый диспут в Колумбийский университет. Шермерхорн-театр был битком набит геологами и геофизиками, собравшимися издалека. Это был незабываемый вечер. Геологи и геофизики, ведомые призраком Кельвина, с порога отвергали такое резкое изменение в геологическом мировоззрении как нечто совершенно невозможное, но отступали, будучи не в состоянии опровергнуть мои аргументы.

Кроме Йельского университета много внимания требовал от меня Принстон, где я прочитал несколько лекций в конце 1959 — начале 1960 г. В этих лекциях говорилось об ороклинах, палеомагнитных свидетельствах больших межконтинентальных движений, данных о разрастании морского дна при неоднократных внедрениях парных «ломтей» мантийного материала в срединно-океанических хребтах, детально рассматривавшихся на симпозиуме в Хобарте (рис. 19). Между Гарри Хессом, главой Принстонской геологической школы, и мною завязалась теплая дружба, которая затем неуклонно углублялась вплоть до его преждевременной смерти.

Кампания достигла кульминации на специальной сессии по материковому дрейфу, организованной Обществом по прикладной палеонтологии и минералогии в связи с годовым собранием Американской ассоциации геологов-нефтяников в Атлантик-Сити 25 апреля 1960 г. Я был основным докладчиком, вместе со мной выступали Кейт Ранкорн, Кен Кастер и Уильям Гуссов. Зал был переполнен, люди заняли все проходы и стояли вдоль стен. После докладов и ответов на вопросы началась дискуссия, которая продлилась далеко за полночь, и едва ли кто-нибудь ушел, пока председатель не вынужден был закрыть собрание. Революция идей о расхождении материков началась!

## 10

## Куновская революция

Томас Кун в книге «Структура научных революций»\* (1962) постулировал, что

«в любой области науки бывают периоды сравнительного спокойствия, отделяемые один от другого революциями, в каждой из которых происходит сдвиг от почти всеобщего признания одной теории к почти полному признанию другой, несовместимой с первой. Каждый такой сдвиг характеризуется резкой сменой внешнего облика или формы (Gestalt), т. е. происходит коренное изменение в том, как воспринимается данная область знания *в целом*. Каждый промежуточный период «нормальной науки» характеризуется широкой поддержкой существующей в это время теории и участием почти всех ученых в разработке и формулировании самой этой теории и ее ответвлений».

Во время куновских «периодов спокойствия» отдельные еретические высказывания, в том числе предвещающие будущую революцию, отвергаются и осмеиваются.

Действительно, новые пути редко прокладываются в больших академиях. Тесные рамки общепринятой догмы оказывают слишком сильное давление. Чтобы оригинально мыслить, надо найти спокойное место, вроде того как Мендель скрылся в монастырь в Брно, Геттон — на свою ферму в Шотландии, Дарвин провел годы, плавая на «Бигле», Коперник — в уединении во Фромборке. Ньютон открыл свой закон тяготения во время долгого пребывания в деревне из-за большой эпидемии чумы 1666 г., в течение всей своей жизни, он был интеллектуалом-одиночкой и не беспокоился о публикациях. Гарри Хесс говорил мне, что лучшие мысли приходят к нему в море, а в Принстоне он только их дорабатывает. Уильям Лоутиан Грин, живший столетие назад в Гонолулу, предвосхитил все наши идеи, но он был забыт. Мне же посчастливилось провести шесть лет в первобытной Новой Гвинее. Без журналов и без давления авторитетов — я мог думать! Мне нравится теперь иногда приезжать в Америку или Европу и погружаться вместе со всеми в кипящую пену научных дискуссий, но чтобы думать, я возвращаюсь на Тасманию. Никто не едет на Тасманию, чтобы попасть оттуда куда-нибудь еще, потому что дальше нет ничего такого, куда надо было бы двигаться через Тасманию.

Американцы часто высказывают мнение, что мерцающий огонек материкового дрейфа не угасал в некоторых отдаленных местах Южного полушария, поскольку гондванская стратигра-

\* Русский перевод: Т. Кун. Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1977, 300 с. — *Прим. перев.*

фия помогала найти более наглядные связи между распавшимися материками. Сейчас можно считать, что верно и обратное: расхождение частей Лавразии было не столь большим, и ороклины, в частности, здесь выделяются более уверенно. Зюсс, например, был поражен удивительным сходством палеозойской стратиграфии и тектоники Европы и Северной Америки. Дю Тойт мыслил независимо (поскольку находился в далеком Йоханнесбурге) и прокладывал длинные маршруты через Южную Африку и Южную Америку. Будь он главным геологом съёмочной партии в США или Англии, а не в Южной Африке, ему бы никогда не освободиться от догмы. То же самое относится к Рейнгарду Мааку в Бразилии, к М. С. Кришнану в Индии и ко мне — жителю Австралии.

К началу 1960-х годов постепенное созревание сразу нескольких семян мобилизма сделало рождение «новой глобальной тектоники» неизбежным и неотвратимым.

1. Накопились свидетельства — из работ Дю Тойта, Маака и других — в поддержку утверждения Вегенера, что сближение материков подобно соединению кусков порванной газеты, позволяющему читать разорванные строки.

2. Поразительные результаты, как я доказал (рис. 12—18), давала реконструкция путем распрямления ороклинов.

3. Выяснилось, что мезозойские палеомагнитные полюсы, определенные на разных материках, далеко отстоят один от другого и сходятся только при реконструкции Пангеи; самые первые работы по этому вопросу принадлежали англичанам Ранкорну, Блэккетту, Булларду и Ирвингу.

4. Выкристаллизовалось представление о глобальной системе срединно-океанических хребтов длиной 70 тыс. км с рифтовыми долинами вдоль их осей. Разработкой этой темы руководил Брюс Хейзен из Ламонтской геофизической обсерватории в Нью-Джерси (рис. 20).

5. Подтвердилось и стало более явным различие земной коры материков и океанов, уже известное благодаря сейсмическим и гравиметрическим наблюдениям. Если бы океаны были первозданными, на их дне лежали бы древние осадки, но драгирование, а затем и бурение до фундамента показали, что осадки с возрастом более 100 млн. лет встречаются редко, а с возрастом 200 млн. лет полностью отсутствуют.

6. Реже упоминаемое, но важнейшее из всех обстоятельств — то, что ушло в прошлое поколение консервативных геологов. Как писал в своей автобиографии Макс Планк, «новая научная истина побеждает не потому, что ей удается убедить оппонентов и раскрыть им глаза, а скорее потому, что оппоненты в конце концов умирают и вырастает новое поколение, знакомое с новыми идеями». Самому Вегенеру познание истины досталось

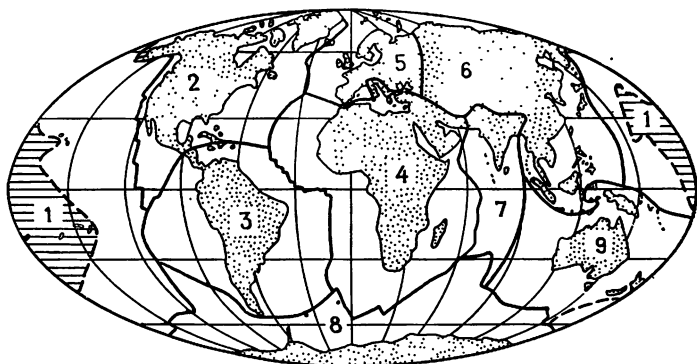


Рис. 20. Окружающая континенты система рифтов растяжения, разработанная Б. Хейзенем и др. в конце 1950-х годов. Цифрами обозначены девять крупнейших блоков литосферы.

дорогой ценой. В письме к своему тестю (проф. Кеппену) в 1911 г. он писал: «Ich glaube nicht dass die alten Vorstellungen noch zehn Jahre zu leben haben» [Я не думаю, что старые представления продержатся больше десяти лет], но через десятилетие он должен был написать ему: «Halten sie die Verschiebungstheorie schon auf der Schule gelernt, so würden sie sie mit derselben Unverstand in allen, auch den unrichtigen Einzelheiten ihr ganzes Leben hindurch vertreten, wie jetzt das Absinken von Kontinenten» [Да если бы они еще в школе узнали теорию перемещения, они защищали бы ее всю жизнь с тем же непониманием в целом и с такими же ошибками в деталях, как сейчас они поддерживают теорию погружения материков].

Все катаклизмы — будь то начало войны, экономические бедствия, политические революции, коренной перелом в научных представлениях или, скажем, сердечный приступ — имеют главную причину и непосредственный повод. Таким поводом, толчком для поворота от общего отрицания к общему признанию расхождения материков явились палеомагнитные данные.

### Инверсии палеомагнитной полярности

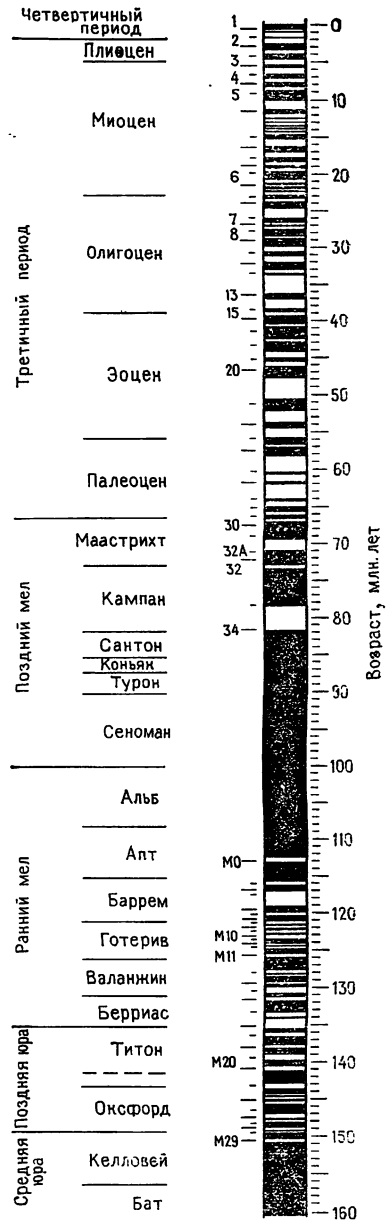
С накоплением палеомагнитных данных стало очевидно, что некоторые горные породы разного возраста, залегающие в разных странах, намагничены в противоположном относительно ожидаемого направлении: Северный и Южный полюсы поменялись местами. Этот эффект обнаружили в начале века Пьер Дави и Бернар Брюнес. Много споров было о том, как надо



**Рис. 21.** Хронологическая шкала геомагнитной полярности. В периоды, показанные черным цветом, Северный магнитный полюс находился в современном Северном полушарии. В периоды, показанные белым, Северный магнитный полюс был на юге.

толковать данное явление: превращалось ли много раз в прошлом магнитное поле Земли или же намагниченность горных пород менялась на обратную во время их остывания. Действительно, было определенно установлено, что в некоторых породах происходит именно последнее. Но оказалось, что такие самообращающиеся породы встречаются редко и что земное магнитное поле в самом деле многократно обращалось. Доктор Ян Хосперс, нидерландский ученый, работавший в Кембридже, сообщил в 1950 г., что отдельные лавы в Исландии систематически оказываются намагниченными либо нормально, либо обратно, но что магнитная полярность менялась за последние 60 млн. лет по меньшей мере дважды.

Когда точность калий-аргонового метода измерений возраста горных пород была существенно улучшена, выяснилось, что в течение интервалов между инверсиями датированным лавам свойственно устойчивое направление намагниченности во всем мире, поэтому стало возможным установить в хронологической шкале определенные эпохи «нормальной» (такой, как теперь) и обратной полярности (рис. 21). Затем такая же хронология магнитных эпох была изучена по керну скважин, пробуренных через осадки морского дна.



Картирование дна северо-восточной части Тихого океана, проведенное Виктором Ваке из Института океанографии Скриппса и Артуром Раффом и Роналдом Мейсоном из того же института, показало, что намагниченность подстилающих пород образует удивительную и неожиданную картину полос приблизительно меридионального направления. Каждая полоса шириной в несколько десятков километров имеет характерный поперечный профиль. Благодаря этому последовательность нескольких таких полос можно опознать, когда они смещены на расстояние многих десятков или даже сотен километров вдоль крупных зон разломов, предварительно выявленных по их уступам и особому рельефу. Оказалось, что характерные полосовые магнитные аномалии типичны для раздвигающихся хребтов (пример см. на рис. 63 в гл. 18).

Фредерик Вайн из Кембриджа и его научный руководитель Драммонд Мэтьюс, а также Лоренс Морли из Геологической службы Канады независимо друг от друга высказали предположение, что эти полосы отражают инверсии намагниченности горных пород, поочередно усиливающие или ослабляющие измеряемое геомагнитное поле. Когда базальт, только что проникший в осевую рифтовую зону раздвигающегося океанического хребта, остывая, проходит через точку Кюри, он намагничивается в преобладающем внешнем магнитном поле. В эпоху нормальной полярности новые базальты намагничиваются в прямом направлении, а когда полярность в определенное время меняется на противоположную, следующие более свежие базальты будут намагничиваться в обратном направлении, пока полярность снова не перескочит на нормальную — возможно, через миллион лет или спустя какое-то другое время. При постепенном расширении рифта новые базальты, прокладывая себе путь вверх там, где они встречают наименьшее сопротивление, раскалывают предыдущие порции базальтов. Поэтому раздвигающиеся таким образом полосы по обе стороны рифта должны как бы зеркально отражать друг друга. Вайн показал, что это действительно так, причем это было самое изящное геологическое доказательство, какое я когда-либо видел (рис. 22). Последовательность событий, которая привела к этому потрясающему открытию, составляет увлекательную повесть, хорошо изложенную Уильямом Гленом в его книге «The Road to Jaramillo» («Дорога к Харамилью»).

Эти результаты в корне изменили геофизические представления. Не только были преодолены все разумные сомнения в том, что дно океанов раздвигается, но и возраст любого участка дна можно было теперь определить, сопоставив его магнитный профиль с хронологией палеомагнитных инверсий, точно так же как на срезе старого дерева устанавливают хронологию годовых

Рис. 22. Ф. Вайн потряс в 1966 г. ортодоксально мыслящих геофизиков сравнением наблюдаемых значений магнитного поля по профилю, проходящему через раздвигающийся хребет, с тем же профилем, построенным в обратном направлении. Приведенные на рисунке кривые дают напряженность магнитного поля (в гаммах) относительно произвольно выбранного нулевого уровня.



колец. Полученные результаты позволили определить скорость расширения океана не только для современной эпохи, но и для всей его истории! Оказалось, что скорость разрастания составляет несколько сантиметров в год, и это означало, что все дно современных океанов образовалось за последние 100 млн. лет, что подтверждается возрастом древнейших из известных океанических осадков.

Когда я впервые увидел карту полосовых магнитных аномалий, составленную Вакье, я тотчас же заметил, что она очень хорошо совпадает со схемой размещения «ломтей роста», предсказанной мною за десятилетие до этого (рис. 19, е). И мне сразу же стало ясно, что эти ломти намагничены по-разному, хотя мои соображения о причинах такого различия были иными, нежели соображения Вайна. В модели Вайна базальт поступает из мантии более или менее непрерывно и магнитные изменения происходят каждый раз, когда меняется полярность геомагнитного поля. В моей модели каждый ломоть, как показано на рис. 19, начинает свое путешествие кверху с глубины более 100 км, где температура превышает точку Кюри, а по мере подъема, оставаясь в твердом состоянии, он остывает, проходя

через точку Кюри, и намагничивается в соответствии с существующим магнитным полем; таким образом, каждый ломоть намагничивается совершенно по-разному, но это не связано так уж точно с последовательностью инверсий полярности, как в модели Вайна.

Я тогда не опубликовал свой вывод: я редко публикую что-либо, не продумав над этим несколько лет. Я с презрением отношусь к борьбе за приоритет публикации, к той бешеной не на жизнь, а на смерть гонке за публикациями, которая царит в американской науке, и к патологической страсти засекречивать идеи, чтобы их не украли. Какое имеет значение, принадлежит ли Вайну приоритет перед Морли, или наоборот, или даже мне? Точно так же мне смешны амбициозные потуги «пролезть» в важные международные журналы. Моя статья об ороклинах была опубликована Королевским обществом Тасмании, статья об асимметрии Земли — умирающим австралийским журналом «*Journal of Science*», статья о реологии — в первом номере только что появившегося журнала Геологического общества Австралии, статья о масштабах тектонических процессов — в первом номере новорожденного журнала Геологического общества Индии, мой тектонический подход к материковому дрейфу — в трудах симпозиума в Хобарте, статья об изостратах — в трудах хобартского симпозиума по долеритам, а статья о «нулевой Вселенной» — снова Королевским обществом Тасмании. (Все они перечислены в предисловии.) В каждой из этих работ ясно сформулированы новые геологические принципы, получившие затем подтверждение.

### Тектоника плит: скоропалительный союз

Последовательное разрастание океанического дна у срединных хребтов, ныне твердо установленное, повергло в шок ученый мир. К сожалению, этот процесс был сразу же обручен с другой совершенно независимой концепцией — об одновременно идущем компенсирующем поглощении (субдукции) океанической коры, в основном в глубоководных желобах, окаймляющих с запада Тихий океан (рис. 23 и 24). От этого скоропалительного союза и родилась «новая глобальная тектоника».

Легко понять, почему это произошло. Англоязычные геологи до сих пор почти единодушно привержены к аксиоме, что образование складок и надвигов вызвано сокращением коры, несмотря даже на то, что теория контракции, связанной с остыванием, быстро утратила былую поддержку. (Еще в 1963 г. темой президентского обращения Джорджа Лиса к лондонскому Геологическому обществу была «эволюция сжимающейся Зем-

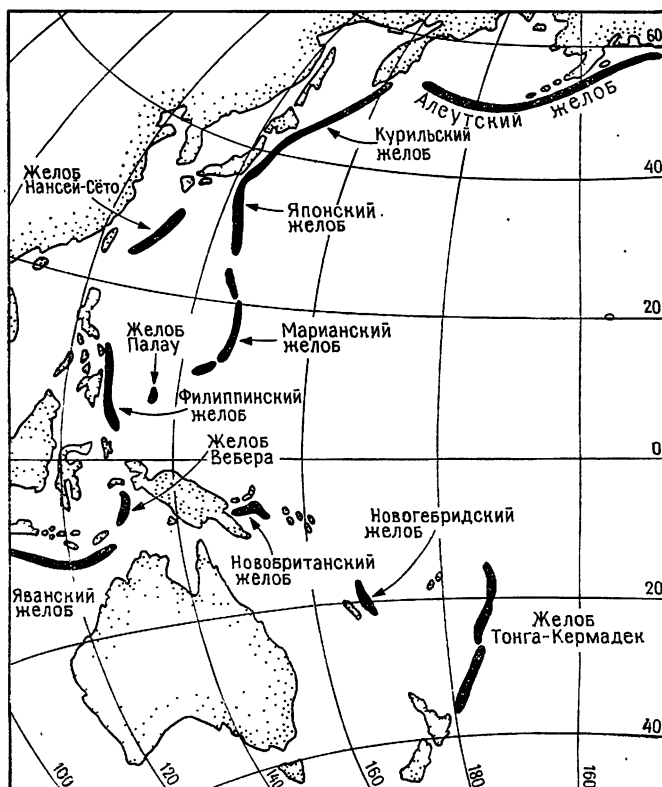


Рис. 23. Глубоководные желоба в западной части Тихого океана.

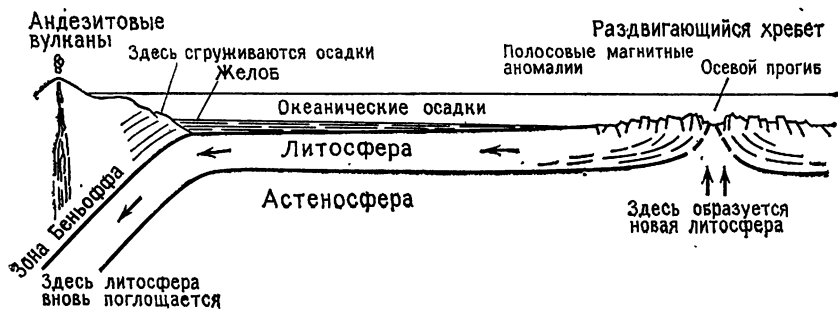


Рис. 24. «Конвейерная» модель разрастания океанического дна и одновременной субдукции в желобах. Литосферный материал образует «плиты» тектониче-ски плит.

ли».) Считалось также несомненной аксиомой, что радиус и масса Земли существенно не менялись, кроме как вследствие упомянутого остывания; отсюда следовало, что ввиду быстрого роста площади океана у раздвигающихся хребтов этот процесс должен компенсироваться где-то в других местах. Очевидными (и единственными) кандидатами на эти места могли быть желоба, с которыми ассоциируются вулканы, нарушения гравитационного равновесия, глубокие геосинклинальные прогибы, быстро заполняющиеся осадками, мощные процессы складко- и надвигообразования, — и все это проявляется в них с наивысшей по сравнению с другими зонами интенсивностью.

Вплоть до начала 1950-х годов, до того, как я понял, что общее расширение Земли неизбежно, я думал точно так же, как и все, и по тем же причинам. Однако меня не покидали сомнения относительно такого большого сокращения в желобах, которые, как я подозревал, в действительности представляют собой структуры растяжения. Любой из моих учеников старшего поколения подтвердит, что то, чему я учил их до середины 1950-х годов, мало отличалось от того, что принесла с собой эта куновская революция. В «новой» глобальной тектонике они нашли мало нового.

Оглядываясь назад, можно только пожалеть, что наглядное подтверждение роста океанического дна было получено в Англии и Америке (что стало возможным благодаря замечательным достижениям американской техники морских измерений). В СССР крупная школа тектонистов, возглавляемая В. В. Белоусовым, учила, что орогенез — это процесс гравитационного (диапирового) воздымания, который не требует укорочения коры и может даже привести к некоторому ее растяжению. Эти представления имели глубокие корни и вызвали интерес в нескольких европейских школах (например, среди последователей ван Беммелена в Нидерландах и Рамберга в Швеции). Кроме того, еще несколько человек в разных частях Европы уже раньше поняли, что расхождение материков, описанное Вегенером, можно столь же легко объяснить расширением Земли. Таким образом, революционный поворот к «новой» глобальной тектонике был важным делом в том смысле, что сломал противодействие идее расхождения материков. Но научная мысль снова оказалась в оковах, поскольку — будучи с самого зарождения и оставаясь до сих пор для англоязычных ученых непререкаемой догмой — тектоника плит приняла миф о субдукции и отвергла представления гравитационной тектоники, упустив, таким образом, возможность сделать следующий важный шаг, а именно шаг к идее расширения Земли. Я еще много чего скажу о субдукции в гл. 13.

Разрастание морского дна исследовано теперь во всех океа-

нах, и хотя требуется провести еще много съемочных работ, особенно в Индийском океане, но общая картина едва ли сильно изменится. Расположение полосовых магнитных аномалий, как правило, подтверждает модель Вайна — Мэтьюза, хотя не всегда эти полосы строго симметричны. И в самом деле, было бы в высшей степени странно найти здесь всеобщую симметрию, потому что это означало бы симметрию условий. Рифтообразование, возникающее во внутренних районах материка (пример — африканские рифтовые долины) или посреди океана, развивается почти симметрично, но если оно начинается вдоль границы материка и океана, надо ожидать асимметричного развития, и позднее будет показано, что так оно и происходит.

Обнаружено, что возле срединных хребтов океанические осадки имеют очень малую толщину и небольшой возраст, но с удалением от хребтов мощность их постепенно возрастает, а возраст самого нижнего слоя осадков становится все большим. Дж. Т. Уилсон из Торонто установил, что и возраст вулканов меньше всего вблизи раздвигающихся хребтов и постепенно увеличивается с расстоянием, при этом более значительными становятся следы их эрозии и в конце концов из них образуются плосковерхие подводные горы (гайоты), многие из которых были открыты Хессом в его океанографических рейсах.

Глубина океанического дна в общем постепенно возрастает с удалением от раздвигающихся хребтов: примерно от 2000 до 5000 м. Это происходит потому, что вблизи хребтов только что поднявшиеся из недр породы еще сравнительно горячие, температурный градиент там велик и на сравнительно малых глубинах достигаются очень высокие температуры, так что базальт (или его более крупнокристаллический аналог — габбро) остается стабильным до весьма значительной глубины. Но по мере падения температуры габбро переходит в более плотную форму — эклогит, который имеет тот же состав, но полевой шпат и авгит замещены в нем более плотными минералами — гранатом и жадеитом. Вес коры не меняется, но ее поверхность понижается.

## Трансформные разломы

Чтобы объяснить на первый взгляд аномальное направление смещения маркирующих полосовых аномалий в тех местах, где раздвигающийся хребет нарушен поперечными разрывами, Тузо Уилсон ввел важное понятие трансформных разломов.

Общее простираение раздвигающегося хребта может определяться направлением рифта, разделяющего континентальные блоки в том месте, где началось разрастание, но это направле-

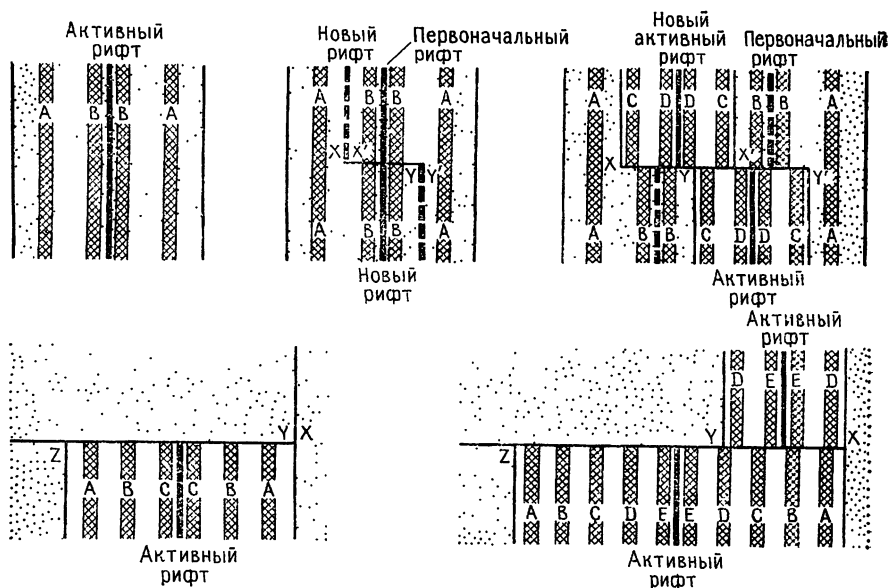


Рис. 25. Представление Дж. Т. Уилсона о характере движений по трансформному разлому (объяснение см. в тексте).

ние может и не совпадать с направлением растяжения, вызывающего общее современное движение. Поэтому раздвигающиеся хребты, как оказалось, «отскакивают» в сторону, а между конечными точками разорванных отрезков проходит линейная зона разлома; таким образом, локальные движения контролируются местным направлением растяжения, но общее простиранье хребтов сохраняется.

В верхней части рис. 25 слева показан активный раздвигающийся хребет, в котором процесс разрастания протекает нормально. Две полосы, обозначенные буквами *C* (внизу слева), представляют собой недавно сформировавшиеся участки новой океанической коры, а пары *B* и *A* относятся соответственно к более древним полосам. По причинам, которые только что упоминались, раздвигающийся хребет иногда «отскакивает» в сторону (в верхней части рис. 25, в центре), так что расстояние между смежными точками *X* и *Y* может составить десятки километров, и эти точки соединяются зоной разлома. Допустим, что *X*, *X'*, *Y* и *Y'* — помеченные точки коры, по которым можно определить смещение. Справа сверху показано, что продолжающееся разрастание приводит к образованию парных полос *D* вдоль обоих отрезков испытавшей смещение зоны разрастания,



а продолжение этого процесса вызывает появление пары *E*, показанной на последнем чертеже. Результаты развития этой системы следующие.

Во-первых, смещение зоны раздвигающегося рифта не влияет на общую величину разрастания океанического дна. Пара внешних полос *A* движется (вверху справа) в разные стороны, как будто ничего не изменилось. Во-вторых, раздвигающийся рифт при начальном скачке сместился по типу левого сдвига, но при последующем разрастании величина этого смещения остается постоянной, не увеличивается. В-третьих, поперечные смещения активно развиваются только на отрезке между раздвигающимися рифтами и продолжаются там, пока идет разрастание. Но тип смещения в этой зоне — правый сдвиг в противоположность левосдвиговому смещению хребта. Это подтверждается изучением землетрясений, которые возникают только на отрезке, где смещения в очагах имеют левосдвиговой характер, и по осям разрастания.

Эти кажущиеся аномальными смещения привели Уилсона к определению понятия трансформного разлома, которое в своей первоначальной формулировке было правильным. Объяснение передачи движения от одного отрезка раздвигающегося хребта к другому было затем перенесено на смещение соседних отрезков желобов и на смещение хребта относительно желоба. Однако понятие трансформного разлома было чересчур расширено — вплоть до того, что каждый крупный поперечный сдвиг (т. е. разрыв, смещение по которому происходит в горизонтальном направлении вдоль линии этого разрыва; если смещение велико, такой разрыв называют мегасдвигом) стали считать трансформным разломом, даже если о передаче движения ничего не известно.

Так, словарь терминов\*, выпущенный Американским геологическим институтом, дает два толкования: первое по существу повторяет первоначальное ограниченное определение, предложенное Уилсоном, а второе — со ссылкой на Джона Денниса и Таню Атуотер — трактует его как любую границу плиты, по которой проявляется смещение типа чистого сдвига. В каком-то смысле такое или даже еще более широкое определение также можно считать правильным, так как все поперечные нарушения или мегасдвиги, если они не обходят вокруг всего земного шара и не образуют окружность какого-то малого круга, должны за-

---

\* Словарь «Glossary of geology» (Washington, D. C.: American Geological Institute, 1972) переведен на русский язык под названием «Толковый словарь английских геологических терминов» (М.: Мир, 1977—1979). Термин «трансформный разлом» (том 3, с. 347) толкуется в переводном издании упрощенно: «характерный для всех срединно-океанических хребтов сдвиг, вдоль которого происходит их смещение». — *Прим. перев.*

канчиваться некоторой компенсирующей структурой, перпендикулярной к данному разрыву. Такие структуры могут быть трех типов: 1) зона растяжения на одном конце и зона сжатия перед другим концом сдвига — обе на одной и той же стороне от поперечного нарушения, 2) зоны растяжения у обоих концов на противоположных сторонах поперечного нарушения (на рис. 25 показана именно эта ситуация) и 3) зоны сжатия перед обоими концами на противоположных сторонах поперечного нарушения.

Реальное различие между поперечным сдвигом и трансформным разломом состоит в том, что в первом случае мы видим смещение между породами на противоположных сторонах разрыва, но нас не интересуют или нам неизвестны структуры на концах этого разрыва, тогда как в случае трансформного разлома мы заранее знаем о раздвигающемся хребте или о других структурах и видим, что они смещены по некоей зоне разлома, передающей движение данной структуры латерально к некоторой точке, от которой продолжается первоначальное простиранье и развитие этой структуры. Поэтому я думаю, что нам следовало бы, используя термин «трансформный», очень строго придерживаться первоначального определения, данного Уилсоном, и употреблять его только в этом последнем смысле.

Могут встретиться и более сложные ситуации. Назовем три из них. Первая возникает там, где система обычных поперечных сдвигов, завершающая глобальную круговую систему (такие системы будут рассмотрены в гл. 21), пересекает раздвигающийся хребет, нарушенный трансформным разломом, так что в основной зоне разлома оба вида смещения складываются или вычитаются. Позднее я выскажу предположение, что некоторые крупные зоны разломов в северо-восточной части Тихого океана (Клиппертон, Мендосино и др.) относятся к этому типу. Вторая ситуация: большинство приверженцев тектоники плит считают, что раздвигающиеся хребты растут обязательно симметрично или почти симметрично путем добавления парных гряд на обеих сторонах, я же позднее докажу, что в северной части Тихого океана новые гряды добавляются в основном только на западной стороне раздвигающегося хребта. Третья ситуация показана в нижней части рис. 25 на двух диаграммах, где первоначальное разрастание ограничено участком  $XYZ$ , участок слева от  $Z$  — это просто поперечный сдвиг, отрезок  $YZ$  — частично поперечный и частично трансформный разлом, а блок, на котором находится точка  $X$  (это может быть материк), вовсе не нарушен разрывами. Если растяжение продолжается, раздвигание может начаться и вдоль края блока  $X$ , и по мере того, как новая рифтовая зона будет мигрировать все дальше влево, образуются новые парные гряды  $DD$  и  $EE$ . Отрезок  $XY$  представляет собой трансформный разлом, отрезок  $YZ$  характеризуется чертами как

трансформного, так и поперечного разлома, а участок слева от  $Z$  — поперечный сдвиг.

Идея о зиянии, вызванном растяжением и дополняющем и замыкающем поперечные сдвиги на том или другом конце, не нова. Она полностью развита в теориях ромбоазмов и сфеноазмов, опубликованных мною в 1955 г. и еще раз — в трудах хобартского симпозиума 1956 г., а также в связи с моим толкованием «перескоков» поперечного сдвига, нарушающего ров Скалистых гор, к группе разломов Сан-Андреас. Фактически незаштрихованные участки в нижней части рис. 25 в точности соответствуют моим определениям и описаниям ромбоазмов.

### Революция, ведущая к концу революций

Революции, издревле происходившие в догмах о Земле, включали следующие повороты: от плоской Земли — к шарообразной (около 300 г. до н. э.); от центральной Земли — к центральному Солнцу (около 1550 г.), признание того, что окаменелости — это остатки прежней жизни (около 1800 г.), переход от базальта осадочного к базальту магматического происхождения (примерно в 1815 г.), признание реальности оледенения (около 1830 г.), увеличение возраста Земли от 6 тыс. до 4 млрд. лет (примерно в 1905 г.); революция признания подвижности материков произошла примерно в 1966 г., а «плитотектоническая» революция ведет, по убеждению ее приверженцев, к полному окончанию всех революций!

В ретроспективе кажется поразительным, насколько недавно специалисты договорились по многим самым фундаментальным вопросам о Земле. Это означает, что эпоха просвещения здесь только начинается и предстоит еще большой путь. Правильно наблюдались и описаны главным образом геологические и астрономические процессы, но связанные с ними проблемы физики и химии еще не решены, а в результате возникли неверные компромиссы и умозрительные суждения. Слишком часто геологи робели перед представителями «точных наук», тогда как им давно следовало бы понять, что только они (геологи) в состоянии получать достоверные данные, которые могут и должны породить новые открытия в физике.

Не раз обаяние сильной личности и престиж великих современных корифеев тормозили прогресс и заставляли отвергать важнейшие новые идеи. Так, Тихо Браге был безусловно великим астрономом, но он с презрением отверг идеи Коперника. Ньютон — возможно, самый выдающийся ученый всех времен — убрал портрет Гука со стены в здании Королевского общества и игнорировал его далеко идущие идеи в области геологии. Вер-

нер был поистине величайшим в свое время преподавателем геологии, но его влияние на толпы сбегавшихся на его лекции студентов сдерживало развитие основных вопросов геологии в течение нескольких десятилетий после его смерти. Фон Бух — вероятно, самый опытный геолог-полевик своего поколения — заморозил признание в Германии материкового оледенения на все то время, пока был жив. Антуан Лавуазье, ведущий французский минералог и химик своей эпохи, отвергал свидетельства крестьян, приносивших ему метеориты, которые, как они видели, падают с неба и светятся в полете: «Камни не могут падать с неба, там нет ничего такого!». Барон Кювье, величайший из всех специалистов по сравнительной анатомии, не мог постичь того, что современные медленные процессы приводят к тем огромным изменениям, какие он наблюдал в слоях горных пород. Лорд Кельвин, виднейший физик XIX века, на десятилетия закрыл путь признанию огромной длительности геологического времени. Благодаря работам Бейли Уиллиса громадный скачок вперед сделала структурная геология, но он осыпал насмешками и издевками идею дрейфа материков и в большой степени ответствен за слепоту целого поколения геологов. Джордж Гейлорд Симпсон стоит высоко среди современных биологов, однако его аргументы, шельмующие материковый дрейф, были надуманными.

Революция «новой глобальной тектоники» 1960-х годов была огромным скачком для консервативных американских геологов. Но она прошла только полпути. Полная революция — к признанию расширения Земли — слишком большой прыжок, который оказался не по силам ни альпийскому барсу, ни быстрому скакуну, обитателю прерий, но вполне по силам австралийскому кенгуру! Нам предстоит вторая половина тектонической революции. Так давайте обратимся теперь к парии наших дней — идее о расширении Земли и к концепции нулевого состояния Вселенной.

# РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ЗЕМЛЯ

## 11

### Развитие концепции расширяющейся Земли

Первые полвека вызревания теории расширения Земли были временем замедленного развития — не только из-за равнодушия других ученых, но и из-за языковых барьеров. Вплоть до русской революции 1917 г. существовали довольно тесные взаимосвязи и обмен информацией между русской и немецкой наукой, но в англоязычном научном мире статьи, написанные в этой области по-русски и по-немецки, до самого последнего времени игнорировались или были неизвестны. Первые переводы большинства таких работ сделаны мною спустя десятилетия после их появления.

Насколько мне известно, первым, кто предположил, исходя из космологических соображений, что Земля расширяется, был И. О. Янковский. Его книга «Всемирное тяготение как следствие образования вещества внутри небесных тел» была опубликована в Москве в 1899 г. и в Санкт-Петербурге в 1912 г. Он полагал, что существует переход от невесомого вещества (эфира) к реальной материи и что он ведет к появлению планет и звезд. Через несколько десятилетий это представление было в СССР развито с геологических позиций — небольшая группа авторов выпустила об этом несколько статей и книг, среди них выделяются И. Б. Кириллов, В. Б. Нейман и А. И. Летавин из Москвы и В. Ф. Блинов из Киева. Самое значительное выступление этой группы состоялось в Москве в ноябре 1981 г. на конференции по расширению и пульсациям Земли. Конференция была организована проф. Е. Е. Милановским из Московского государственного университета и Московским обществом испытателей природы. Участвовали более 700 специалистов из Москвы и других районов СССР, было представлено 20 докладов, в которых поддерживались либо расширение, либо пульсации, т. е. чередование расширения и сжатия.

По иронии судьбы неизвестная советским специалистам работа, в которой приводились твердые доводы в пользу расширения Земли, была опубликована гораздо раньше в Лондоне. Капитан (позднее генерал-майор) Альфред Уилкс Дрейсон, служивший в британской королевской артиллерии, в 1859 г. выпустил книгу «Земля, на которой мы живем: ее прошлое, настоящее и будущее», где он делал вывод, что Земля расширяется с большой скоростью. Он привел материалы множества геодезических наблюдений, когда расстояние между закрепленными точками при последующих наблюдениях оказывалось больше, чем раньше, и другие данные об увеличении длины градуса. Дрейсон безоговорочно верил библейским писаниям, в том числе и о том, что Сотворение мира произошло примерно 6000 лет назад. Он постулировал, что диаметр Земли за это время удвоился, а вместе с тем возросло число ее оборотов вокруг оси (суток) за одно обращение по орбите (за год). Получалось, что 930 «лет» жизни Адама содержали только 34 000 дней, или примерно 93 наших современных года, и в таком же духе кажущееся долголетие других патриархов вполне уместилось в привычную продолжительность человеческой жизни.

Для подтверждения своего вывода капитан Дрейсон выполнил поистине впечатляющие серии измерений. Одна такая серия была основана на весьма наивном заблуждении о природе прецессии и о широтах тропиков, которые также привлекались для объяснения упомянутого выше соотношения между числом оборотов Земли вокруг оси и вокруг Солнца. Другая серия наблюдений была основана на данных об изменении длины градуса, которые, как говорилось в гл. 2, очень волновали Кассини и Буге. Случаи обрыва трансатлантических телеграфных кабелей интерпретировались им как эффект импульсивного расширения океанического дна — сейчас мы объясняем это подводными оползнями, вызванными землетрясениями. Но при всем том остается перечень его точных измерений базисных линий, постоянно указывавших на то, что ранее измеренные расстояния короче более поздних. Если бы не его пристрастное отношение к идее расширения Земли, заставлявшее подбирать нужные примеры, эти данные казались бы удивительными. Он задел в моей душе струны сочувствия, написав: «Самые большие знания в наши дни бывают иногда ложными, потому что те, кто смеялись над чудесами нашего Спасителя, были самые образованные люди. Именно ученые насмехались над идеями о спутниках Юпитера, об Американском материке, о сферичности Земли, о паре и о многих других вещах, хранящихся в нашей памяти».

Примерно в то же время другой замечательный человек — Уильям Лоутиан Грин, работавший в одиночку на Гавайях,

в удалении от догматических оков ортодоксальной общности, — постиг не только идею о расширении Земли, но и относительно кручении на границе полушарий, при котором южные материка сместились на восток и отделились от северных зонами глубинных нарушений коры. Последняя идея получила общее признание лишь недавно (см. гл. 21), а первая стала серьезно обсуждаться только сейчас, на пороге новой революции.

В 1909 г. Мантовани предложил объяснить расширением Земли сходство противоположащих берегов Атлантики, как об этом сказано в гл. 8. В 1920 г. Хайрам Хиксон, американец, автор «Популярной астрономии», пришел к выводу, что теория контракции не способна объяснить происхождение таких геологических структур, как Африканская рифтовая система, Большой Бассейн Невады, плато Колорадо, и главенствующую роль сбросов в тектоническом развитии. Как и представления Лоутиана Грина, хиксоновские мысли о Земле далеко опережали свое время. Он считал, что как эпейрогенез, так и орогенез (т. е. образование огромных плато и складчатых гор соответственно) — диапировые процессы, приводимые в действие силой тяжести и связанные с дегазацией расширяющейся Земли. Он понимал, что твердые горные породы обладают текучестью при температурах ниже точки плавления и что расширение Земли должно приводить к замедлению вращения Земли вокруг оси и удлинению суток.

Михаил Боголепов из Москвы опубликовал на русском языке три статьи в 1922, 1925 и 1928 гг., а затем в 1930 г. на немецком — под названием «Die Dehnung der Lithosphäre» («Растяжение литосферы») в журнале «Zeitschrift der geologischen Gesellschaft». Боголепов предложил идею вековых зональных движений в мантии — вихреобразного процесса, создающего тягу снизу, направленного по часовой стрелке в Южном полушарии и против часовой стрелки в Северном и возбуждаемого радиоактивным нагревом.

Буря, разразившаяся с выходом книги Вегенера о дрейфе материков, привела к альтернативному объяснению данных Боголепова расширением Земли, но эта идея развивалась в статьях, публикуемых на немецком языке, не переводившихся на английский и не интересовавших англоязычную ученую публику. В 1927 г. Б. Линдемани из Геттингена, вдохновленный идеями Вегенера и, вероятно, незнакомый с более ранними работами на русском языке, опубликовал статью «Kettengebirge, kontinentale Zerspaltung und Erdexpansion» («Горные цепи, раскол материков и расширение Земли»), в которой заявил, что преобладающие на земной поверхности явления — это рифтообразование и растяжение, причем горные цепи соответствуют

местам выхода внутреннего расширяющегося вещества, разогретого радиоактивностью. В его анализе изрядную роль играли подсознательное восприятие и интуиция, которые давали для его выводов больше, чем фактические данные, — такова была цена его отказа от ортодоксального мышления.

Как часто бывает с независимыми исследователями, Отто Хильгенберг из Шарлоттенбурга (Берлин) вынужден был в 1933 г. опубликовать за свой счет книгу «*Vom wachsenden Erdball*» («О растущем земном шаре»). Он посвятил ее Вегенеру, но не упомянул более ранние статьи Боголепова (они были на русском, а по-русски Хильгенберг не читал, статья же, написанная Боголеповым по-немецки, появилась как раз тогда, когда он закончил свою книгу). Хильгенберг собрал все материалы на глобусе из папье-маше размером с баскетбольный мяч, который мне посчастливилось держать в руках, когда я посетил ученого в 1964 г. Все океаны на этом глобусе исчезли, а континентальная кора плотно облегла весь «земной шар», диаметр которого равнялся примерно двум третям его современного значения.

Хильгенберг был первым в длинной цепочке таких изготовителей глобусов. За ним последовали Людвиг Бресске из Дюссельдорфа (1962), Сирил Барнетт из Лондона (1962), Кеннет Крир (тогда, в 1965 г., был в Ньюкасле), Ралф Гровз из Калифорнии (1976), Клаус Фогель из Вердау, ГДР (1977), о котором я скажу подробнее позже. Все они делали глобусы диаметром несколько большим половины современного значения, так что вся его поверхность была занята собранными вместе материками (современных размеров. — *Ред.*). Главное различие между этими глобусами состояло в том, как размещались материки, окружающие ныне Тихий океан. Подобно русским исследователям, Хильгенберг полагал, что масса Земли, так же как и ее объем, со временем возрастает, и объяснял это воздействием эфира; он считал, что энергия эфирного потока непрерывно поглощается «стоками» эфира и превращается там в материю.

Дж. К. Э. Холм в своей президентской речи 1935 г. в Астрономическом обществе Южной Африки («Астрономический аспект эволюции Земли») отрицал справедливость аксиомы, что остывающая Земля должна сокращаться в объеме. Приводя доводы из теоретического анализа эффективного размера атомов, он доказывал, что, напротив, радиус Земли увеличился примерно на 1000 км. Независимо от обоснованности его модели дальнейшие его исследования показали, что расширение дает гораздо более правдоподобное объяснение тем данным, которые представил Вегенер. Как и в модели Линдемманна, модель Холма предполагала постоянство массы, и он не обсуждал предположение Хильгенберга, что существующая сиалическая (матери-



ковая) кора первоначально окружала всю Землю, — по всей вероятности, он не знал о немецких и русских работах. Холм принимал вегенеровскую Пангею и объяснял раскрытие океанов в рамках собственной теории с привлечением данных о других общих геологических явлениях. Он основывался на своем предположении о постепенном всплывании материков в процессе растекания океанов по увеличивающейся площади поверхности, не учитывая углубления дна в раскрывающихся океанских впадинах; к этому вопросу мы еще вернемся. Холм трактовал Красное море как эмбриональный океанский рифт, Средиземное море считал результатом растяжения, а Гондурасский залив сравнивал с раскрытым ртом: «Челюсти смыкаются у шеи, занятой в настоящее время Мексикой».

Йозеф Кейндль работал в Вене в 1930-х годах, но его книга «*Dehnt sich die Erde aus?*» («Расширяется ли Земля?») вышла только в 1940 г. Он был знаком с немецкой литературой, но не читал ни по-русски, ни по-английски. Как и Хильгенберг, Кейндль считал, что раньше сиаль покрывал всю Землю, а впоследствии кора раскололась и появились расширяющиеся океанические бассейны. Причину раскола и всего орогенеза надо было искать глубоко в земных недрах. Кейндль приводил доводы в основном из геоморфологии. Он делал вывод, что вся Вселенная и все ее содержимое находятся в состоянии растяжения: например, нормальные звезды отличаются от белых карликов тем, что у последних светящаяся газовая оболочка сорвана со сверхплотных ядер. В отличие от Хильгенберга и русских приверженцев идеи расширения Кейндль принимал массу постоянной и постулировал наличие в Земле небольшого сверхплотного метастабильного ядра.

### Гравитационная постоянная

Английский физик Поль Дирак указал в 1937 г., что произвольную комбинацию физических констант можно выразить безразмерным числом: либо числом 1, либо 1 с 20, 40 или 80 нулями. (Если разделить силу на силу, или расстояние на расстояние, или время на время, то в результате получится безразмерное число.) Интервалы между этими группами так огромны (100 миллиардов миллиардов миллиардов...), что, по мнению Дирака, эти безразмерные числа должны иметь важное самостоятельное значение. Одна такая комбинация включает гравитационную постоянную  $G$ , умноженную на возраст Вселенной. Следовательно, если исходя из общих представлений надо, чтобы величина этого произведения оставалась неизменной, постоянная  $G$  должна меняться с возрастом Вселенной и поэтому

должна со временем убывать. Это значит, что все в мире должно со временем весить меньше, а из этого в свою очередь следовало бы, что Земля должна с течением времени расширяться благодаря релаксации упругого сжатия и переходу минералов в менее плотные разновидности во всем объеме планеты. Выйдя в отставку и поселившись во Флориде, Дирак в 1974 г. вернулся к своей философии «больших чисел».

Тем временем идея Дирака увлекла других ученых. Проф. Роберт Дикке из Принстонской школы физики и его коллега проф. К. Бранс развили эту концепцию в серии статей, опубликованных между 1957 и 1966 гг., и также пришли к уменьшению  $G$  в соответствии с принципом Маха (инертная масса тела возрастает с увеличением массы Вселенной). По предложению Хесса Дикке приехал в 1959 г. в Йельский университет и обсуждал со мной геологические свидетельства расширения Земли, но величина расширения, связанного с уменьшением  $G$ , была меньше, чем оценивал эту величину я, и ход ее во времени был иным.

Проф. П. Йордан, гамбургский физик, также последовал за Дираком в своей книге 1964 г. «Die Expansion der Erde» («Расширение Земли»), английский перевод которой опубликован в 1966 г. Он пытался превзойти Вегенера в соединении различных научных дисциплин, но без большого успеха. Йордан переписывался со мной по вопросу о возможных причинах расширения.

В 1971 г. Фред Хойл и Дж. Нарликар пришли к выводу, что  $G$  уменьшается, так как число случаев аномального красного смещения, наблюдаемых в спектрах шаровых звездных скоплений, возросло, далеко превзойдя вероятность их случайного появления на самых разных расстояниях вдоль одного и того же луча зрения.

В середине 1970-х годов Т. К. ван Фландерн из Морской обсерватории США обнаружил, что ускорение Луны, определенное путем сравнения моментов покрытия звезд Луной с показаниями атомных часов, невозможно объяснить одними только приливными влияниями, что означает либо увеличение массы Солнца на неприемлемо большую величину, либо уменьшение значения  $G$ .

Эти независимые подходы к проблеме уменьшения  $G$  приводят к значению скорости этого изменения в одну десятиллиардную ( $10^{-10}$ ) в год, что примерно совпадает с верхним пределом, который можно получить при анализе орбиты Меркурия.

## Свидетельства из практической геологии

В 1954 г. два американских геолога-разведчика братья Р. Т. и У. Дж. Уокеры из шт. Колорадо также должны были выпустить книгу «Происхождение и история Земли» за свой счет, так как их выводы были неортодоксальными. Они писали:

«[Авторы], обладая опытом, который в совокупности превышает 50 лет поверхностных и подземных геологических наблюдений, и сталкиваясь со все возрастающим числом геологических фактов, которые нельзя примирить с контракционной гипотезой, медленно и верно вынуждены были склониться к противоположному выводу о том, что Земля увеличивается в объеме и что причина этого явления должна состоять в некотором расширении материала в центре Земли. Если принять эту идею, то явления вулканизма и орогении, до сих пор объяснявшиеся неадекватно, находят себе место как составные части общей картины».

Уокеры пришли к этому выводу, как мне кажется, совершенно независимо от более ранних авторов, писавших о расширении Земли. Ни книга Вегенера, ни общие представления тектоники, ни морфология земного шара не играли в их концепции никакой роли. Главные аргументы были взяты ими из обычной минералогии с ее малыми размерами объектов изучения, из петрологии и анализа геологических структур.

## Объем морской воды

Профессор Ласло Эдьед, позднее принимавший меня в Университете им. Этвеша в Будапеште, в 1956 г. сделал вывод, что хотя полный объем океанской воды увеличился за геологическое время более чем на 4%, палеогеографические карты суши и моря для отдельных эпох начиная с докембрия, составленные проф. Анри Термье и его женой Женевьевой в Париже и опубликованные в их работе 1952 г. «Histoire géologique de la Biosphère» («Геологическая история биосферы») и совершенно независимо — Н. М. Страховым в Москве в книге «Основы исторической геологии», указывают на постепенное уменьшение доли погруженных в воду частей материков — как каждого в отдельности, так и в совокупности. Это означает, что площадь поверхности Земли возросла и что отношение океанских впадин к материковым платформам также неуклонно растет.

Эдьед подсчитал, что среднее увеличение земного радиуса составляет 0,5 мм/год, и принимал это значение как постоянную величину, хотя Родс Фэрбридж позднее высказал предположение, что такое расширение вполне могло ускориться после мезозоя, и это подтверждается многими другими данными. Сделанная Эдьедом оценка увеличения объема морской воды, несом-

ненно, чересчур занижена, так как он не знал о громадных объемах воды, высвобождающейся при подводных излияниях лав в процессе разрастания океанического дна. Эта дополнительная вода подкрепила бы его аргументы. С другой стороны, тот факт, что интервалы, покрываемые последовательными палеогеографическими картами, удлиняются для более древних периодов, оказывает противоположное влияние.

Значительно позже проф. Уве Вальцер из Йены (ГДР) подтвердил выводы Эдьеда, показав, что если 23 палеогеографические карты Евразии, опубликованные в 1962 г. в Москве В. М. Синицыным, измерить планиметром на равноплощадной проекции, получается такой же результат, как у Эдьеда по картам мира, построенным Термье и Страховым.

### Мой переход к идее расширения

На хобартском симпозиуме по материковому дрейфу в марте 1956 г. я впервые осознал, что на Земле современного размера невозможно реконструировать Пангею без неприемлемых аномалий, в частности неизбежно зияние между Австралией и Восточной Азией (см. гл. 12). С тех пор я посвятил себя изучению расширения Земли и связанных с ним процессов. Я охотился за немецкими и русскими изданиями (которых не было в Австралии) и переводил их. Сначала меня заинтересовала проблема силы тяжести на поверхности Земли, имеющей такую же, как сейчас, массу, а диаметр немногим больше половины теперешнего. Прошло несколько лет, прежде чем я понял, что та же проблема относится ко всей Вселенной, и с тех пор у меня забрезжила мысль о нулевой Вселенной (см. гл. 23).

### Хейзен и Уилсон

Брюс Хейзен из Ламонтской геофизической обсерватории сильно увлекался мировой системой срединно-океанических рифтов (рис. 20) и отдал много сил ее исследованию. На международном коллоквиуме французского Национального центра научных исследований (CNRS) в мае 1958 г. в Ницце — Вильфранше он говорил:

«Перемещения континентов могут происходить двумя путями. Обычно рассматривается один из них — континентальный дрейф. При дрейфе блоки материков плавают, перемещаясь латерально по верхней части мантии. Континентальные смещения могут происходить также при расширении внутренних областей Земли. В этом случае первичная твердая и недифференцирован-

ная кора раскалывается и отдельные ее фрагменты в конце концов оказываются на большом расстоянии друг от друга. При континентальном дрейфе можно обнаружить сжатие у одного края континента и растяжение у противоположного его края. В случае же смещения посредством расширения земных недр во всех зонах океана будет наблюдаться растяжение.

Кажется почти невозможным увязать данные о подводном рельефе со смещением континентов путем латерального дрейфа. Те же особенности дна можно очень просто объяснить, если использовать гипотезу континентального смещения в результате внутреннего расширения».

В то время Хейзен склонялся к модели расширения, но через несколько лет он отошел от нее и присоединился к дружной компании приверженцев тектоники плит.

Проф. Дж. Т. Уилсон из Торонто в конце 1940-х годов яростно отстаивал концепцию сокращения коры в результате остывания Земли. После того как он выступил на эту тему перед Королевским обществом Тасмании, я потратил несколько дней, пытаюсь убедить его в справедливости идеи материкового дрейфа, но он твердо стоял на своем. Однако я, вероятно, в чем-то поколебал его убеждения, потому что когда я в 1959 г. приехал в Йельский университет, он прислал мне приглашение посетить Торонто и показал черновик статьи, опубликованной потом (в 1960 г.) в «Nature», где он присоединялся к идеям о расширении Земли. Его подтолкнуло то, что Дикке поддержал предположение Дирака об убывании  $G$  со временем, из чего следовало некоторое расширение коры. Хотя он отвергал мнение о том, что существующая континентальная кора покрывала первичную Землю полностью, что означало бы последующее удвоение ее радиуса, он принимал, что идущие посередине океанов рифты, а также то, что тепловой поток через океаническое дно имеет примерно ту же величину, что и на материках, и некоторые другие факты согласуются с более ограниченным расширением.

Через несколько лет Уилсон тоже присоединился к плито-тектоническому буму и предложил концепцию, ставшую известной как «цикл Уилсона». В рамках этой парадигмы история Атлантического океана реконструируется, по его мнению, следующим образом. К моменту 600 млн. лет назад Атлантический океан имел примерно ту же ширину, что и нынешний. В следующие 200 млн. лет он практически исчез в результате субдукции его дна, что привело к появлению Каледонской и Аппалачской горных систем. Около 200 млн. лет назад предвестники современного Атлантического океана возникли в виде рифтовых долин, прорезавших кору залива Фанди, территорию штатов Мэн, Массачусетс, Пенсильвания, Северная и Южная Каролина и быстро заполнившихся песком, гравием и базальтами. К моменту 100 млн. лет назад новый Атлантический рифтовый океан находился в состоянии быстрого раскрытия, но не совсем в том

месте, где был его предшественник, часть которого осталась в Мавритании — на африканской стороне. В настоящее время новый Атлантический океан достиг такой же ширины, как и его предшественник, и таким образом цикл Уилсона замкнулся.

### Пульсирующая Земля

А. Я. Шнейдеров в работах 1943, 1944 и 1961 гг. развил теорию пульсирующей Земли, в которой катаклизмы расширения приводят к появлению океанов, а более медленные эпизоды сжатия вызывают орогенез. Сама по себе идея пульсации пережила до этого в Европе длительную историю. Согласно Шнейдерову, каждое сжатие было слабее предшествующего расширения, что в итоге вело к необратимому расширению. Шнейдеров считал, что Земля имеет ядро из плотной горячей плазмы, возбуждаемое потоком космических субатомных частиц («радионон»), интенсивность которого меняется в зависимости от положения Земли относительно Солнца, Луны и планет.

Некоторые советские ученые до сих пор придерживаются пульсационной модели. П. Н. Кропоткин и Ю. А. Трапезников высказали предположение о кратковременных флуктуациях  $G$  (годовых, нерегулярных) и о более длительных циклах пульсации продолжительностью вплоть до величины возраста Земли. Наблюдаемые инверсии магнитного поля (рис. 21) приписываются влиянию таких флуктуаций. Упомянутые авторы считают вариации силы тяжести главным двигателем геотектоники, так как эта сила дает единственный источник энергии, затрачиваемой на тектонические процессы и оцениваемой ими в  $10^{15}$  МВт. Профессора Е. Е. Милановский и В. Е. Хаин из МГУ и А. И. Летавин также разработали свои модели пульсации. Дж. Стайнер из Университета Альберты считает множество крупномасштабных геологических явлений непосредственным следствием векового уменьшения величины  $G$  по Дираку — Йордану и пульсаций, вызванных вращением Галактики с периодом около 200 млн. лет.

### Возрождение в 1960-е годы

В конце 1950-х гг. среди неортодоксов во многих странах стал расти интерес к расширению Земли. Бразильский геолог-нефтяник П. Грубер в статье «La Dilatación de la Tierra» («Расширение Земли») сделал вывод, что за последние 250 млн. лет площадь земной поверхности увеличилась на 27%. В 1962 г. Людвиг Брёске из Дюссельдорфа написал статью: «Wächst die

Erde mit Naturkatastrophen? Die «Expansions-Theorie» («Растет ли Земля в природных катастрофах? «Теория расширения»»). В том же году проф. Сирил Барнетт из Лондона реконструировал материки на глобусе, соответствующем по размерам 2/3 современной Земли. Как он заметил, «трудно поверить, что только случайностью объясняется такое совпадение континентальных окраин». Позднее он уподобил южные материки лепесткам цветка:

«Подобную картину легко получить, покрывая резиновую футбольную камеру [т. е. сферу] сплошной «корой» из влажной бумаги и затем надувая ее. Образуются линейные разрывы, служащие границами трех или более кусков «коры» в форме лепестков, верхушки которых «смотрят» на точку начального разрыва. По мере того как рвущаяся бумажная кора раскрывается подобно бутону цветка, каждая первоначальная трещина удлиняется и делится по периферии на вторичные трещины, образуя меньшие, но все еще заостренной формы обрывки, которые в конце концов полностью разделяются на крупные бумажные «острова».

Эта аналогия с бутоном и лепестками играет полезную роль, выражая гемиздрическую асимметрию Земли, антиподальное расположение материков и океанов, большие расстояния между южными материками и кажущееся перемещение материков на север по сравнению со смещенными на юг параллелями — как будто Южное полушарие (открывающаяся чашечка цветка) раскрылось шире, чем Северное (рис. 26).

Проф. Родс Фэрбридж из Колумбийского университета дал в 1964 г. полный обзор литературы и имеющихся данных о расширении Земли. Он указал, что все океанические бассейны молоды и что теоретическое рассмотрение гравитационной постоянной эволюции мантии и ядра, а также геодезические последствия перемещения масс, движения полюсов и палеогеографического развития — все это сходится, указывая на расширение земного шара в недавнее время. Как отметил Фэрбридж в следующем обзоре (1965 г.), он не смог найти свидетельств в пользу утверждения, что океанические желоба — это проявления сжатия, а складчатые пояса обусловлены первичным сжатием коры. Наоборот, он интерпретировал глубоководные желоба как современные прототипы эвгеосинклиналией (см. гл. 18), как «дыры» в коре, вызванные растяжением и постоянно расходящиеся с возрастающей скоростью.

В 1965 г. проф. Кеннет Крир, работавший тогда в Ньюкасле, также соединил все материки на глобусе меньшего размера и, подобно своим предшественникам, решил, что материки соединяются между собой чересчур хорошо, чтобы это было простым совпадением, и что данный факт требует объяснения. Крир, глубоко захваченный современной палеомагнитной догмой, отрицающей позднее расширение Земли, посчитал, что расширение

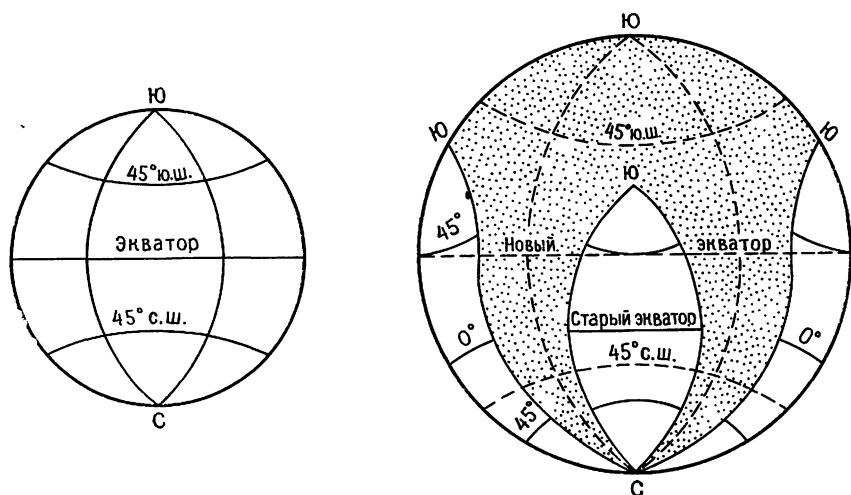


Рис. 26. Аналогия с «раскрывшимся бутонем». На чертеже Южный полюс показан вверху. Большее расширение и большая часть нового океана приходится на Южное полушарие. Обратите внимание на то, что параллели, проходящие через сушу, кажутся сдвинутыми к югу. Это создает впечатление, что континентальные массивы движутся на север. На самом деле они остаются на той же самой мантии, а между ними вклинивается новый материал, образующий океаны.

должно было произойти на очень раннем этапе истории Земли и было вызвано какой-то космической причиной.

В том же году проф. Артур Холмс, находясь в Эдинбурге, дал обзор развития концепции расширяющейся Земли. Он высказался в пользу идеи об уменьшении гравитационной постоянной и связанных с ним фазовых изменениях (о превращении минералов при пониженном давлении в менее плотные формы) во всем внутреннем объеме Земли как главных причинах расширения, причем вероятным его механизмом была конвективная циркуляция в мантии.

Также в 1965 г. д-р Г. К. Йокш установил, что, как показывает статистический анализ высотных отметок во всех частях земной поверхности, наиболее часто встречаются значения 0,5 и 0,2 км над уровнем моря, а в океанах 4,5 км ниже уровня моря. Он высказал предположение, что более легкий материал — *сиаль* (от слов *силиций*, т. е. кремний, и *алюминий* — именно эти элементы образуют легкие минералы) — выделился из внутренних областей Земли, как сливки из молока, и что те области, высота которых сейчас близка к уровню  $\pm 0,5$  км, раньше составляли всю оболочку первоначальной Земли. Она разорвалась на куски, ставшие первичными «материками», а промежутки за-



полнились материалом, слагающим теперь области с высотами около  $+0,2$  км. Выплавление силала из недр и «прилипание» его к низам коры продолжалось вплоть до главной фазы расширения, когда кора разорвалась снова и современные материки оказались разделенными современными океанами — областями с характерным уровнем дна  $-4,5$  км.

Сэм Элтон, геофизик из Лос-Анджелеса, подвергавшийся насмешкам за свои неортодоксальные сочинения, писал в 1966 г.:

«Вместо того чтобы привлекать теорию континентального дрейфа, мы склоняемся к предположению, что материки отходят один от другого благодаря однородному расширению Земли... Материки не дрейфуют, а скорее растаскиваются в стороны при общем расширении нашей планеты. Очень легко проследить эту картину, двигаясь во времени вспять: стягивая все материки друг к другу и сокращая площадь океанов, до тех пор пока у Земли останется только четверть ее поверхности, т. е. площадь, равная современным континентам».

Раймонд Дернли из Британского института геологических наук в середине 1960-х годов опубликовал три статьи, в которых вывел модель расширяющейся Земли из реконструкции древних (докембрийских) складчатых поясов, которые он считал поверхностным выражением конвективных ячеек в мантии. Он предполагал, что 2750 млн. лет назад радиус Земли равнялся 4400 км, а 650 млн. лет назад — 6000 км (сегодня — 6378 км). Это означает, что скорость расширения постепенно убывает, тогда как я утверждаю, что она возрастает по экспоненте.

В 1967 г. проф. Брюс Уотерхаус, работавший в Торонто, отдал предпочтение модели Земли, испытавшей в последние 200 млн. лет «взрывное» увеличение размеров. При этом континентальная кора никогда существенно не отделялась от подстилающей мантии, но разошлась в стороны при внедрении нового материала из мантии и разрастании этих новообразованных областей, что сопровождалось значительными поперечными сдвигами. Его взгляды имеют много общего с представлениями Хейзена и Фэрбриджа; мощную поддержку они получили в более поздних исследованиях, о которых говорится в гл. 22.

Р. Мезерви из Массачусетского технологического института в 1969 г. показал, что движения окружающих Тихий океан материков, постулировавшиеся во всех моделях материкового дрейфа или тектоники плит, топографически невозможны, если не считать, что Земля расширялась. К этому выводу я пришел уже на хобартском симпозиуме. Мезерви указывал, что хотя периметр Тихого океана меньше, чем граница полушария, все окружающие его материки отодвигались *друг от друга*, в результате чего площадь внутри периметра этого океана должна была сильно увеличиться, если радиус Земли не изменялся. Но со-

гласно моделям тектоники плит, эта площадь сильно уменьшилась. Мезерви подчеркнул, что преобразовать любую конфигурацию, предложенную для раннего мезозоя, в современную, учитывая при этом рост морского дна, о котором свидетельствуют палеомагнитные данные, невозможно без значительного расширения Земли.

В 1970—1980-е годы теория расширения Земли была значительно усовершенствована. Важнейшие из выполненных работ — «Атлас перемещения материков за время от 200 млн. лет назад до современной эпохи», выпущенный д-ром Хью Оуэном из Британского музея; доклад на Международном симпозиуме по расширению Земли, который я проводил в Сиднейском университете в феврале 1981 г. (где авторы из 17 стран представили 51 доклад); специальная конференция по расширению и пульсации Земли, организованная проф. Милановским в МГУ в ноябре 1981 г.; начало выполнения американской программы (НАСА) измерения расстояний между материками с точностью до сантиметров. В течение следующего десятилетия эта программа должна подтвердить правильность идеи расширения Земли.

## 12

### Земля расширяется

Так что же свидетельствует о расширении? Если воспринимать факты должным образом, то такие свидетельства оказываются весьма значительными и их можно найти в нескольких областях нашего опыта. Уместно начать с ископаемых, найденных в горных породах.

#### Арктический парадокс

Важные сведения о том, как располагались климатические зоны на материках в прошлые времена, дают нам ископаемые сообщества древних организмов. Эта палеогеографическая информация получает независимое подтверждение со стороны палеомагнетизма. Когда расплавленная лава затвердевает, ее температура понижается, проходя через «точку Кюри», при которой минералы намагничиваются в направлении окружаю-

щего геомагнитного поля. Температура, соответствующая точке Кюри, варьирует для разных минералов от пары сотен градусов до более чем 700 °С. Если остывающая лава находилась на магнитном экваторе, направление ее намагничения будет горизонтальным, но если она изливалась у магнитного полюса, то она намагнитится вертикально. Следовательно, если нам удастся «стереть» последующие изменения намагниченности и внести поправки, учитывающие все наклоны, которые порода претерпела после остывания, то такая лава укажет нам широту, где она затвердела, и направление на то место, где тогда располагался полюс. Там, где намагничивание пород происходило в течение нескольких тысяч лет, группа таких измерений статистически компенсирует движения магнитного полюса относительно полюса вращения и средний результат даст древнее направление на истинный север, а также широту, на которой образовалась исследованная порода.

Находки тропических окаменелостей (разнообразных брахиопод, кораллов и фузулинид) в совокупности с совершенно независимыми палеомагнитными данными показывают, что в пермское время (примерно 245—280 млн. лет назад) экватор проходил в Северной Америке через штаты Техас и Нью-Йорк. Современный экватор проходит через Бразилию. Значит, сейчас Северная Америка находится примерно на 35° ближе к Северному полюсу, чем это было в перми. Точно так же европейские окаменелости и палеомагнитные данные свидетельствуют о том, что пермский экватор проходил всего на несколько градусов южнее Франции. Современный экватор пересекает Центральную Африку. Значит, и Европа сейчас примерно на 40° ближе к Северному полюсу, чем в перми. Подобным же образом оказывается, что Средняя Сибирь в настоящее время приблизительно на 20° ближе к Северному полюсу, чем была в перми. Итак, за время, прошедшее с пермского периода, материки приблизились друг к другу в районе Арктики, которая соответственно должна была подвергнуться сжатию примерно на 5000 км. Но было ли это? Как раз наоборот: все это время Арктика была районом *растяжения*, в результате которого раскрылся Северный Ледовитый океан. Это невозможно объяснить, если считать, что Земля не испытала расширения.

Палеонтологические и палеомагнитные данные для триаса (200—245 млн. лет назад), юры (145—200 млн. лет назад) и мела (66—144 млн. лет назад) независимо друг от друга выявляют тот же парадокс: материки сближались в Арктике после каждого из этих периодов, но все в меньшей степени в каждый последующий период. Все группы данных доказывают, что постепенно и неуклонно происходило крупномасштабное расширение Земли.

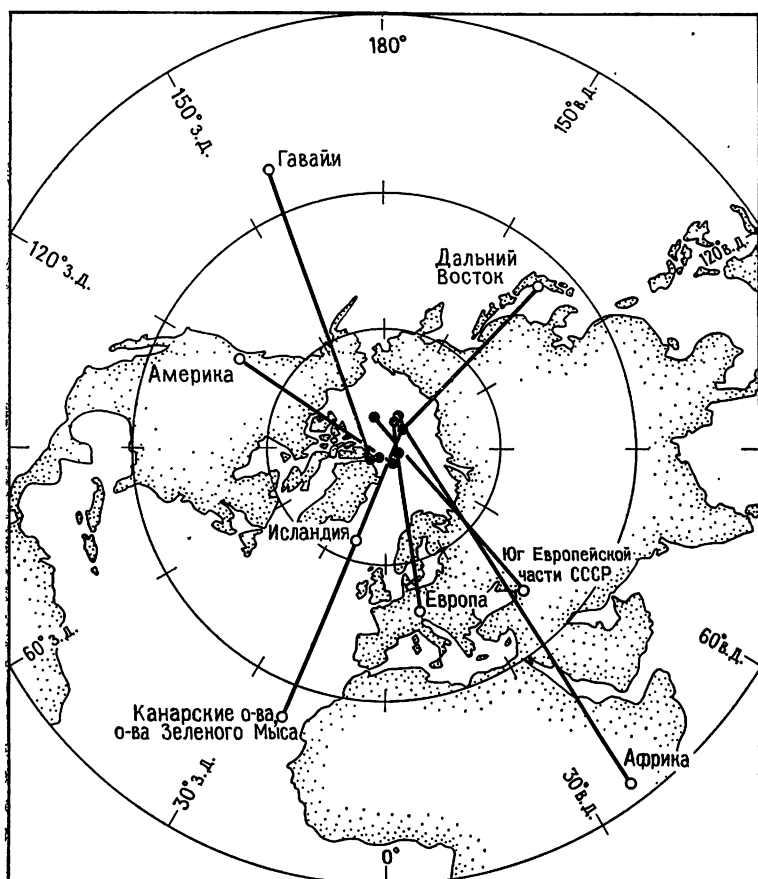
## Парадокс положений палеополюсов

Значения палеомагнитного наклона, осредненные за тысячи лет, статистически воспроизводят положения полюса вращения Земли в соответствующие периоды времени. Обычно это положение указывается как широта и долгота в пределах небольшого овала — порядка нескольких градусов в диаметре, — выражающего 95%-ную статистическую вероятность того, что древний полюс лежал внутри этого овала.

В начале 1970-х годов специалисты по палеомагнетизму сообщили, что если все положения магнитного полюса, найденные по намагниченности горных пород за последние 2 млн. лет, свести воедино статистически по всему миру, то они укажут положение оси вращения Земли — палеополюс — в небольшом овале, включающем современный полюс вращения. Но палеополюс, определенный этим способом по данным из любого *одного* района, всегда находится несколько дальше от современного, чем средний палеополюс по данным из всех районов (рис. 27). Именно это и предсказывает теория расширения Земли, так как угловые расстояния на земной поверхности, служащие объектом палеомагнитных измерений, становятся все длиннее в километрах по мере увеличения радиуса Земли. Например, длина одного градуса на земной поверхности чуть больше 110 км, тогда как на Луне длина одного градуса всего лишь 30 км. Палеомагнитные измерения указывают число градусов до полюса, и если положения полюсов наносить на карту, предположив при этом, что радиус Земли постоянен, а длина градуса на поверхности равна ее современной величине, то при условии, что со времени намагничения произошло расширение Земли, с увеличением возраста каждое последующее положение полюса будет отличаться на все большее расстояние от современного.

Этот результат более отчетливо виден, если региональные лучи, показанные на рис. 27, спроецировать на один меридиан. Среднестатистический палеополюс для последних 2 млн. лет находится в нижнем из трех овалов на рис. 28; средний овал указывает положение статистического полюса, нанесенное по всем определениям в породах с возрастом между 2 и 7 млн. лет, а верхний — палеополюс для интервала 7—25 млн. лет. Эти овалы, по определению, должны попадать в центр диаграммы, но меткого попадания не происходит, каждый раз получается некоторый «перелет», потому что при каждом построении использовался современный радиус Земли. Все это означает, что если двигаться во времени назад, то длина градуса постепенно уменьшается, по меньшей мере для последних 25 млн. лет.

Палеомагнитологи, преданные вере в постоянство радиуса Земли, пытаются объяснить эти аномалии различными откло-



**Рис. 27.** Как обнаружил Р. Л. Уилсон из Ливерпуля, полюсы четвертичного периода, определенные по палеомагнитным данным для любого одного района, всегда оказываются расположенными на некотором расстоянии от современного полюса вращения. Светлые кружки — центры районов отбора образцов, черные кружки — вычисленные по ним полюсы.

нениями земного магнетизма от теоретического поля центрального диполя, но эти отклонения просто служат проявлениями Арктического парадокса, уже обсуждавшегося применительно к пермско-мезозойскому времени, непосредственно в современную эпоху. Исходя из имеющихся данных отклонение положения полюса составляет около  $25^\circ$  для перми,  $20^\circ$  для триаса,  $16^\circ$  для юры,  $12^\circ$  для мела,  $6^\circ$  для миоцена,  $3\frac{1}{2}^\circ$  для плиоцена и  $1\frac{1}{2}^\circ$  для плейстоцена. Отсюда следует, что расширение Земли раз-

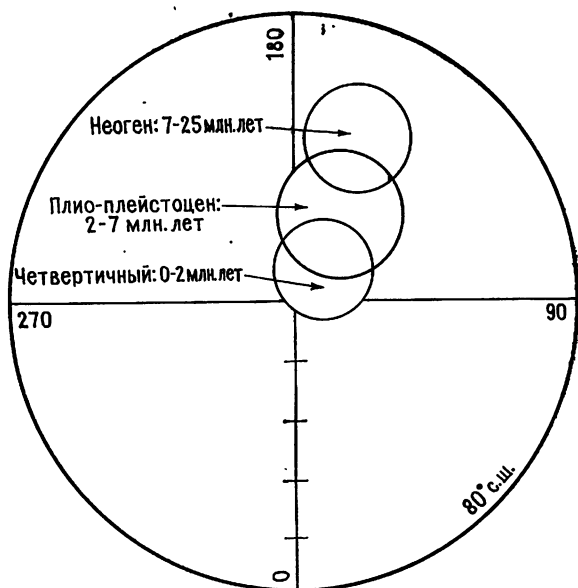


Рис. 28. Р. Уилсон и М. Макелини установили, что отклонение положения полюсов от современного увеличивается с возрастом пород. Каждый круг очерчивает площадь 95%-ной вероятности положения полюса для данного периода.

вивалось последовательно на протяжении последних 200 млн. лет, но эти значения не позволяют надежно оценить скорость расширения. Для этого потребовалось бы иметь образцы пород из гораздо большего числа мест по каждому интервалу времени при равномерном распределении их по широтам.

### Тихоокеанский парадокс

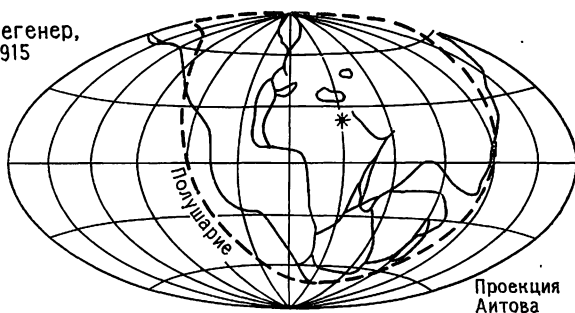
На рис. 29 представлены три варианта реконструкции Пангеи, предложенные для начала мезозоя (200 млн. лет назад): вегенеровская (1915 г.), моя (1945 г.) и двух приверженцев тектоники плит — Р. С. Дитца и Дж. С. Холдена (1970 г.). Все они основаны на предположении, что радиус Земли оставался постоянным. На каждой схеме жирной штриховой линией показан контур полушария. Довольно сильные искажения формы полушария в модели Вегенера и несколько меньшие в модели Дитца и Холдена связаны с особенностями построения проекции, о чем я скажу немного позже. Проекция Аитова, использованная Вегенером и Дитцем — Холденом, показывает весь

земной шар, как будто вы разрезали его сзади и разгладили его поверхность так, что около краев с обеих сторон оказались участки, прилегающие к линии разреза. Стереографическая проекция, которой пользовался я (средняя часть рис. 29), показывает только одно полушарие. Во всех реконструкциях имеется пустой сектор шириной около  $50^\circ$  между Австралией и Китаем. Это неизбежно, если пытаться реконструировать Пангею, сохраняя радиус Земли постоянным. В варианте Дитца и Холдена этот зияющий сектор выглядит более широким, но они сделали примечание, что Новая Гвинея, Новая Зеландия и Юго-Восточная Азия не показаны «для удобства картографического изображения». В реконструкции Вегенера зияние выглядит уже благодаря тому, что он растянул Южную Азию, чтобы компенсировать то, что он называл «лемурским сжатием», при котором, по его мнению, произошло сокращение поверхности этого региона.

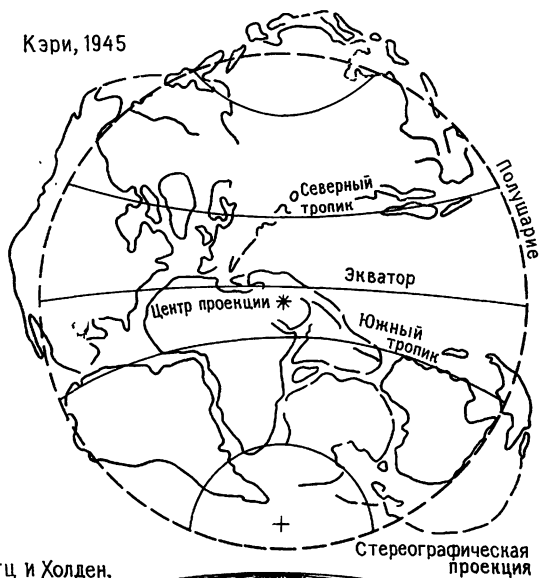
Общий план Пангеи мало изменился со времени первых построений Вегенера и до того, как концепция Пангеи была принята тектоникой плит. Во всех вариантах Пангея (включая неизбежный зияющий сектор) немного выходит за пределы одного полушария. В реконструкции Вегенера на рис. 29 часть океана, попадающая в виде полумесяца на левую сторону полушария, примерно равна по площади той части Пангеи, которая выходит за пределы полушария с правой стороны. Остальная часть земной поверхности занята древним предком Тихого океана, который в случае постоянства земного радиуса также должен был по площади занимать примерно полушарие. С тех пор площадь «Пангеи» почти удвоилась в результате появления между ее частями Северного Ледовитого, Атлантического, Индийского и Южного океанов, а также раскрытия Тасманова моря и всех малых морей Восточной Азии. Это означает, что Тихий океан должен был бы сильно сократиться по площади — не совсем до нуля, но до такой величины, которая получилась бы, если из площади, равной полушарию, вычешь ту, на которую увеличивалась Пангея, т. е. сумму площадей других океанов! Ясно, что в действительности это не так.

Этот парадокс не облегчается предположением о субдукции, происходившей внутри Тихоокеанской области или по ее окраинам. Нельзя избежать парадокса и в том случае, если включить в нее упомянутый выше зияющий сектор и заявить, что он закрылся в результате субдукции, так как на современной Земле расстояние между Австралией и частью материка, занятой Китаем, до сих пор составляет  $47^\circ$ , т. е. почти столько же, как на реконструкциях Пангеи. Значительное увеличение площади Пангеи не было компенсировано сокращением Тихого океана, и его можно объяснить только расширением Земли.

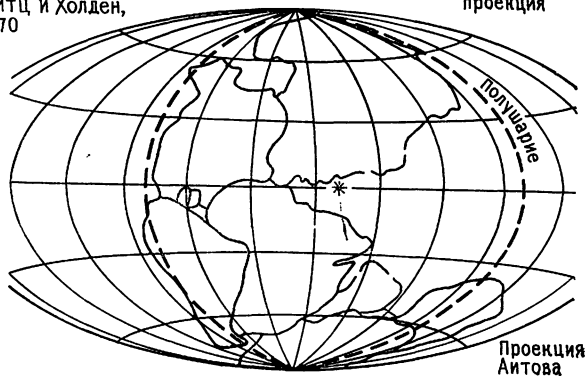
Вегенер,  
1915



Кэри, 1945



Дитц и Холден,  
1970





## Парадокс периметра Тихого океана

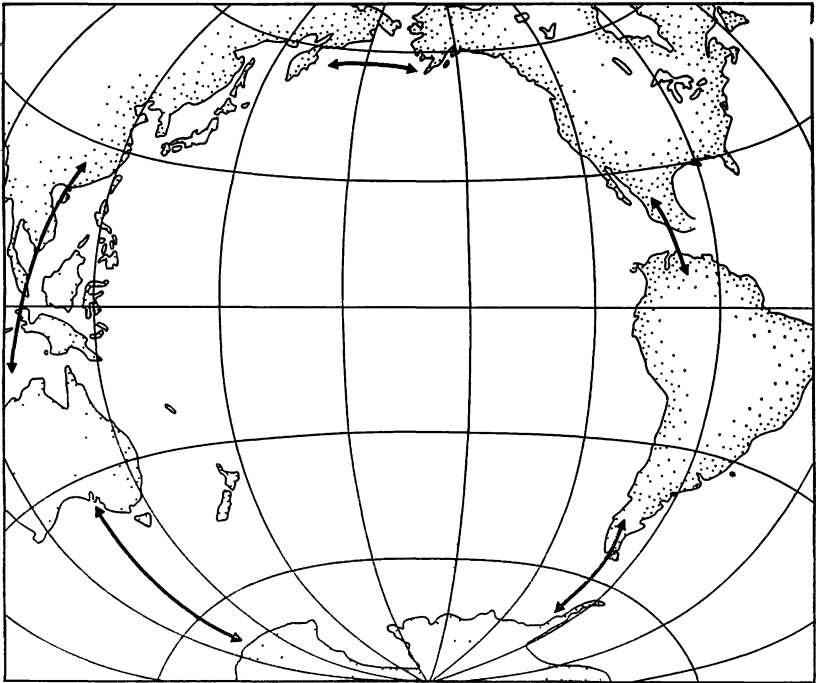
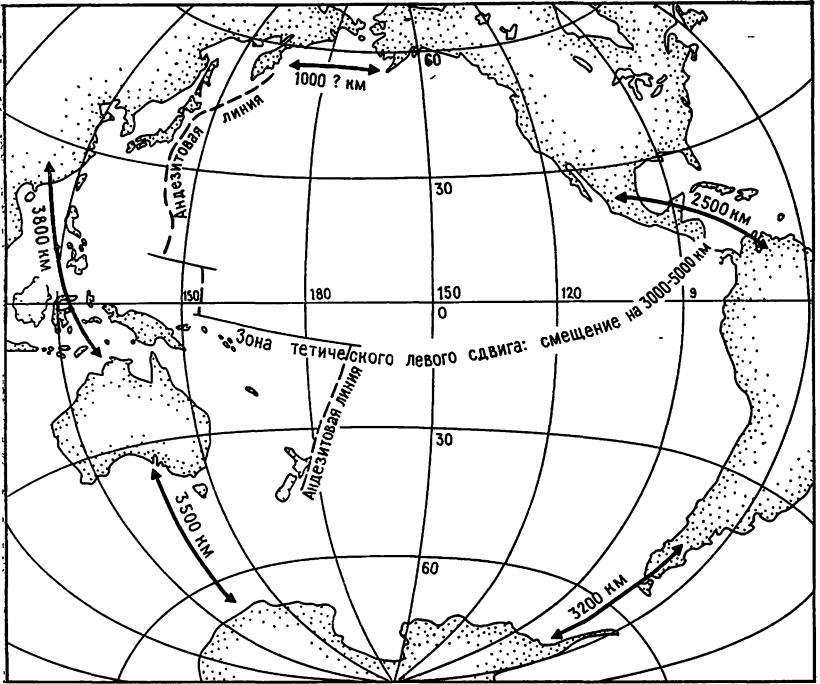
Тихий океан имеет грубо округлую форму, но она как бы несколько перекошена: северные материки смещены относительно южных на запад в результате экваториального кручения, которое мы подробно рассмотрим в гл. 21. Если убрать это смещение, то Тихий океан станет еще более округлым (рис. 30).

Обрамление Тихого океана образовано материками Азией, Северной Америкой, Южной Америкой, Антарктидой и Австралией. Если сравнить промежутки, разделяющие материки этого кольца, с расстояниями между ними в составе Пангеи, то становится очевидным, что между любыми двумя соседними материками эти расстояния увеличились. Относительное расположение Северной и Южной Америки в составе Пангеи определено по результатам их подгонки к побережью Африки, опубликованным мной 30 лет назад и подтвержденным впоследствии несколькими исследователями с помощью компьютерных расчетов. Все согласны с тем, что центральная часть Мексики упиралась тогда в северо-западную Венесуэлу, но при расколе Пангеи и расхождении ее частей расстояние между этими территориями увеличилось до 2500 км, в результате чего периметр Тихого океана удлинился на эту же величину. Будучи частью Пангеи, Антарктида огибала Африку и прижимала к ней Мадагаскар, и последующее перемещение ее к современному положению удлинит периметр Тихого океана на 3200 км. В составе Пангеи часть Антарктиды располагалась в Большом Австралийском заливе; при расхождении частей Пангеи в этом районе длина тихоокеанского периметра возросла еще на 3500 км. На следующих страницах будет показано, что зияющий сектор в Пангее — между Австралией и Юго-Восточной Азией — это искусственное построение, исключение которого означало бы, что при расколе Пангеи расстояние между Австралией и Китаем в действительности увеличилось примерно на 3800 км. Некоторое растяжение произошло и между Сибирью и Аляской, но его количественный вклад в увеличение периметра Тихого океана трудно оценить.

Приведенные числа показывают, что длина Тихоокеанского кольца увеличилась не менее чем на 13 тыс. км. Это значение несколько завышено, так как перекося, вызванный упомянутым выше экваториальным кручением, добавился к удлинению рас-

---

Рис. 29. Пангея в реконструкциях Вегенера (1915), Кэри (1945) и Дитца и Холдена (1970), построенных в предположении неизменности земного радиуса. На всех реконструкциях жирной прерывистой линией показана граница полушария, центр которого отмечен звездочкой.



стоящий в районах Ост- и Вест-Индии. Но даже учитывая это, надо признать, что при распаде Пангеи периметр Тихого океана увеличился по меньшей мере на 10 тыс. км.

Здесь заключен парадокс. После учета экваториального кручения форма Тихого океана оказывается почти округлой как в начале, так и в конце распада Пангеи. Однако его периметр увеличился примерно на треть, а площадь, заключенная внутри него, должна была более чем на треть уменьшиться. Этот абсурдный вывод возникает при допущении, что радиус Земли оставался постоянным. Изложенные факты можно привести в соответствие только при значительном увеличении земного радиуса в процессе распада Пангеи.

### Искусственность идеи о зияющем клине

В предыдущих разделах упоминалась зияющая пустота между Австралией и Юго-Восточной Азией. Когда я более 30 лет назад пытался как можно точнее реконструировать Пангею, у меня был стол с выпуклостью в форме полусферы того же размера, как и мой 30-дюймовый глобус; была и литейная форма, в которой я мог отливать большие прозрачные пластмассовые листы, точно соответствующие по форме частям глобуса (рис. 11). С помощью этих приспособлений мне удавалось точно переносить на карту и сопоставлять разные части поверхности глобуса, например я мог закрыть Атлантический океан, придвинув обе Америки к Африке. В ходе такой «сборки» Пангеи обнаружился нежелательный промежуток между группой материков Индия — Антарктида — Австралия и Азией, расходящийся в виде клина от Средиземного моря (где он сокращается до нуля) до 50°-ного расстояния между Новой Гвинеей и Индонезией (рис. 29, в середине).

Я знал, что этой пустоты быть не должно, потому что от самых ранних ископаемых форм с возрастом 600 млн. лет и вплоть до распада Пангеи фаунистические комплексы Восточ-

---

Рис. 30. Парадокс периметра Тихого океана. На верхнем чертеже показано современное расстояние между отдельными частями единой прежде Пангеи. На нижнем чертеже устранен перекоп, вызванный кручением в зоне Тетис (см. гл. 21). Правостороннее кручение в зоне, окружающей Тихий океан (о котором также говорится в гл. 21) удлинит участок периметра Тихого океана между Китаем и Австралией на 3800 км. Всего же периметр Тихого океана *увеличился* немногим более чем на треть, тогда как, согласно теории тектоники плит, площадь Тихого океана должна была *уменьшиться* на величину, равную сумме площадей Северного Ледовитого, Атлантического, Индийского и Южного океанов.

ной Азии были связаны с близкими им родственными комплексами в Австралазии. Это подтверждается раннекембрийскими археоциатидами; среднекембрийскими трилобитами семейства *Redlichia*; ордовикскими трилобитами-калименидами, ордовикскими фаунами цефалопод, гастропод, конодонтов и строматопороидей, а также фауной *Selenopetis* (северокитайские и австралийские фаунистические комплексы имели более тесное сходство между собой, чем с европейскими); лландоверскими кораллами; девонскими брахиоподами; каменноугольными фораминаферами; пермскими бластоидеями; флористическими комплексами *Glossopteris* и «катайским»\*, которые смешаны между собой на Новой Гвинее, Суматре, в Таиланде, Китае и Турции. Наконец, перед самым распадом Пангеи поздне триасовые моллюски-монотиды прочно связывали Тасманскую провинцию с Китайской и Восточно-Сибирской. По мере развития исследований обнаруживаются новые связи. Например, С. Р. Джонстон посчитал необходимым перегонять остров Тимор вперед-назад, как паром, через это фиктивное зияние, чтобы дать какое-то объяснение признакам его попеременной близости то к Азии, то к Австралии; Н. У. Арчболд и его сотрудники вынуждены были делать то же самое с Новой Гвинеей, объясняя сходство ее пермских брахиопод с индонезийскими. Б. А. Стейт и К. Ф. Барретт обнаружили, что ордовикские головоногие из гор Шань в Таиланде, из Бирмы и Малайзии указывают на тесную близость с Северо-Западной Австралией, а по данным Пхан Чана, о такой же непрерывности свидетельствуют раннесилурийские рыбы.

Убедившись, что идея зияния является ложной, я начал реконструкцию Пангеи без какого-либо промежутка между Австралией и Индонезией, но как только я пытался соединять другие материки, снова появлялось клиновидное, расширяющееся до 50° зияние, но теперь уже между Южной и Северной Америкой, которое также было ложным. Как бы я ни пробовал соединять материки, всякий раз дело кончалось зияющей дырой, начинающейся где-то в середине собранного массива и расходящейся до 50°-ного промежутка на его периферии — напротив того места, где я начинал соединять материки. В конце концов после многих месяцев разочарований и отчаяния, я понял, чем вызывались мои неудачи. Я пытался собрать Пангею на полусфере того же радиуса, что и мой глобус, тогда как мне надо было использовать стол меньшего радиуса, так как со времен Пангеи земной шар значительно увеличился в объеме. Я пытался застегнуть пояс на распухшем брюхе! Любая портниха

---

\* Китайская флора (от тюркского слова «Катай», т. е. Китай) — позднепалеозойская флора северного Китая. — *Прим. перев.*

знает, как вставить клин в ставшую узкой юбку. Я целую четверть века трудился над материковым дрейфом, считая бесспорным, что радиус Земли постоянен.

### Загадка Индии

Согласно реконструкциям, принятым во всех моделях тектоники плит, предполагается, что в течение всей палеозойской эры, от 600 до 200 млн. лет назад, тупой угол Бенгальского залива от Шри-Ланки через Мадрас до Калькутты охватывал Землю Эндерби — выступ побережья Антарктиды, — а западный берег Индии примыкал к восточному побережью Африки. Однако Индия имеет тесные фаунистические и палеогеографические связи не только с Антарктидой, Мадагаскаром и Африкой, но и с Китаем, Тибетом и Казахстаном (от которых она была отделена, по этим моделям, тысячами километров океана), с Афганистаном и Ираном (которым тоже полагалось находиться на большом удалении от нее), а также с Австралией.

Множество убедительных данных указывает, однако, что упомянутый тупой угол с вершиной близ Мадраса в действительности должен был охватывать северо-западный выступ Австралии, а не Землю Эндерби. Р. Г. Маркл и Р. Л. Ларсон независимо друг от друга обнаружили, что об этом свидетельствуют полосовые магнитные аномалии дна в северо-восточной части Индийского океана. Несколько исследователей сопоставили древние породы фундамента Индии и северо-западной Австралии по их петрологии, геохимии, присутствующим в них железным рудам, алмазам и по тектонической структуре. Д-р Курт Тейхерт, не поддерживавший тогда идею материкового дрейфа, был удивлен, обнаружив близкое сходство меловых фаун Тричинополи в Индии и реки Манилья в Западной Австралии, находившихся по соседству, когда мадрасский угол был прижат к северо-западной Австралии.

Тридцать лет назад два австралийских палеонтолога Дж. А. Томас и Дж. М. Дикинз изучали раннепермскую фауну из конгломератов Лайонс (как эту толщу тогда называли) северо-западной Австралии. Пермские отложения Индостана накапливались почти исключительно в пресных водах, но в одной железнодорожной выемке вблизи Умарии был обнаружен тонкий слой пород морского происхождения, который должен был отложиться очень близко от конгломератов Лайонс, если бы Индия находилась в то время вблизи северо-западной Австралии.

Поэтому я поехал в Умарию, собрал коллекцию ископаемой фауны и привез ее Томасу и Дикинзу для сопоставления с их

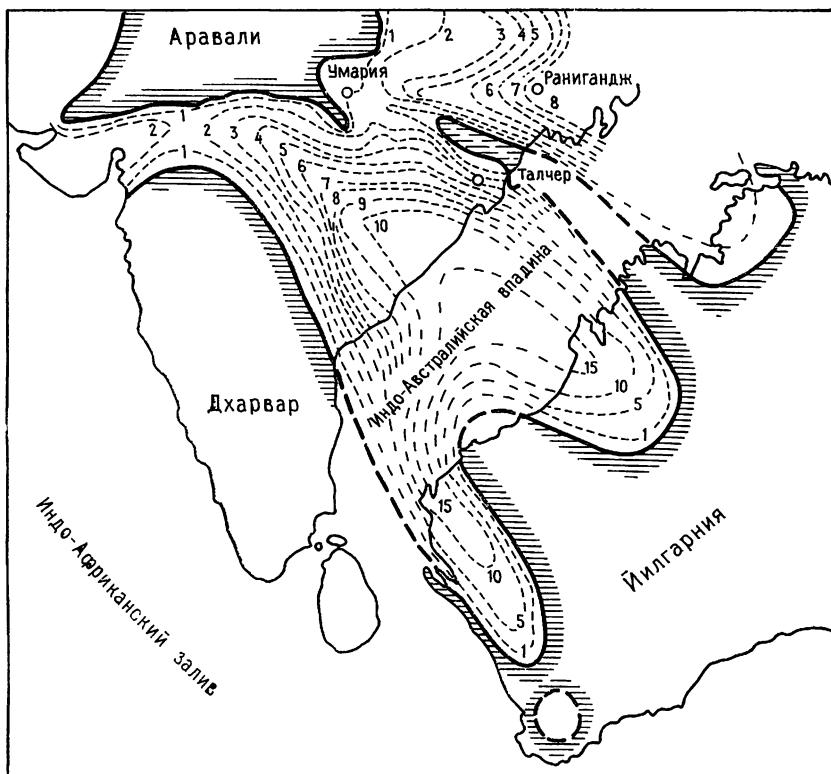


Рис. 31. Выполненная проф. Ахмадом реконструкция палеогеографии Индо-Австралийской зоны для пермского периода. Цифры на изолиниях указывают мощность накопившихся отложений (в тысячах футов). Бассейн осадконакопления все время был неглубоким и неморским, но его днище постоянно погружалось, до 3 км в его центральной части, что привело к пяти эпизодам временного вторжения моря.

образцами. Моя коллекция оказалась идентичной фауне морского горизонта в комплексе Лайонс не только по видовому составу, но и по характерным особенностям. В обоих наборах имелись пластинки необычных криноидей рода *Calceolispongia* (которые раньше принимали за зубы акул!), и даже детали скульптуры раковин гастропод были одинаковыми. Проф. Фахруддин Ахмад из Университета Алигарх реконструировал палеогеографию Индии и Австралии для пермского периода (рис. 31). Данные об их относительном положении в Пангее убедительны, но приверженцы тектоники плит все еще не отказываются от «антарктического варианта» по той веской (для

них) причине, что при таком расположении Индии и Австралии не удастся добиться связности Пангеи. Я неоднократно пытался сделать это на своем полусферическом столе. Но ошибка крылась не в сопоставлении положений Индии и Австралии, а в том, что радиус Земли во времена Пангеи принимался таким же, как и в настоящее время. Проведенная д-ром Кеннетом Перри с помощью компьютера реконструкция с уменьшением земного радиуса до 76% его нынешней величины (см. гл. 20) также приводит Мадрасское побережье Индии в соприкосновение с северо-западным шельфом Австралии.

Та же самая проблема всплывает, если обратиться к связям Индии с другими территориями. В плитотектонической реконструкции Индия располагается в тысячах километров от Афганистана и Ирана. Но, как отметили Артур Мейерхофф и Курт Тейхерт, Индию и Иран объединяет несколько особенностей геологического строения:

«Детальное картирование района между центральной частью Индийского щита и юго-восточным Афганистаном и Ираном показывает, что некоторые формации и фаунистические зоны протягиваются от центрального Ирана и Афганистана до Индостанского щита (Мадхья-Прадеш). Эти стратиграфические подразделения и палеонтологические опорные горизонты, прослеживающиеся без перерывов, включают соляную толщу Гормуз протерозойско-кембрийского возраста, два пласта с фауной *Productus*, аптско-альбскую зону *Orbitolina* и связанные с ней мелководные карбонатные отложения».

Эти данные не согласуются с моделью тектоники плит.

Точно так же необходимость сохранять постоянным земной радиус заставляет разделять Индию и Китай тысячами километров открытого океана, однако *Lystrosaurus* — рептилия, по размерам, форме и местообитанию напоминающая бегемота, — путешествовала из Индии в Китай и обратно вместе с многими спутниками, насекомыми и растениями. Китайские геологи обнаружили теперь, что «гондванские» фаунистические комплексы и ассоциации горных пород, характерные для Индии и ее южных соседей, распространяются через линию Инд — Цангпо (объявленную плитотектонистами швом на том месте, где тысячи километров древнего океана были поглощены субдукцией) далеко в пределы Тибета и Китая. Говард Мейерхофф и Артур Мейерхофф (отец и сын) утверждают, что «начиная с протерозоя или еще более раннего времени Индия была частью Азии; это геологический факт, и ничто не может его изменить».

Проблемы Индии связаны со всей областью, вовлеченной в реконструкцию Пангеи в этой ее части. Если использовать данные о близости Индии к северо-западной Австралии, то появляется неприемлемый зазор между Индией и Афганистаном — Тибетом. Если же не разрывать связь Индии с последними, то возникают промежутки во всем гондванском ансамбле, связ-

ность которого признают все. Лестер Кинг пытался решить эту проблему, отрывая Иран и Афганистан от Лавразии и замыкая таким образом зазор, возникающий при соединении Индии с Австралией, но, конечно, близость между Индией, Афганистаном, Ираном и остальной Азией не должна быть нарушена. А. Р. Кроуфорд попробовал разрешить загадку, сохраняя связи Индии, Аравии и Африки и отрывая Тибет и Южный Китай от Лавразии, чтобы заполнить брешь между Индией и Австралией. Тибет и Южный Китай безусловно имеют тесные связи с Австралией, что я уже подчеркивал, говоря об искусственном клиновидном зиянии, но реконструкция Кроуфорда рвет связи внутри Китая, которые также представляются вполне реальными.

Отсюда следует простой вывод. Пока реконструкции строятся на Земле современного радиуса, невозможно согласовать настоятельное требование близости к Индии какого-либо одного из ее соседей без появления обширных пустых пространств, отделяющих ее от других бывших ее соседей, чьи претензии на собственное близкое к Индии положение в равной степени обоснованны. Если же провести реконструкцию на должным образом уменьшенной Земле, вся эта загадка исчезает. Когда Майкл Макелинни и его соавторы вывели из своих палеомагнитных измерений, что перед расколом Пангеи Малайзия находилась на несколько градусов севернее экватора, они заявили, что поэтому Малайзия не могла быть частью Гондваны, располагавшейся гораздо дальше к югу. Вместо этого им следовало бы сказать, что Малайзия не могла быть частью Гондваны в том случае, если допускать, что радиус Земли тогда был таким же, как сейчас.

### «Исчезновение» архейской коры

Эндрю Гликсон (из Австралийского бюро минеральных ресурсов) детально изучил петрологию и геохимию древнейших пород фундамента платформ возрастом более 2 млрд. лет, на котором покоятся более молодые отложения. Эти древнейшие породы составляют около 80% современного основания материков и образуют примерно четверть поверхности земной коры. Гликсон спрашивает: какова была природа коры, занимавшей остальные три четверти земной поверхности 2 млрд. лет назад? Он рассматривает четыре возможных ответа.

Первый: неизвестные три четверти были в основном такими же, как известная четверть. Это предположение отвергается, потому что указанные три четверти должны были быть поглощены мантией, что неприемлемо с точки зрения геохимии, а с



точки зрения физики невероятно из-за более низкой плотности и соответственно большей плавучести такой коры.

Второй вариант: известная четверть первоначально распространялась на всю поверхность Земли, а мощность такой коры составляла четверть нынешней; но постепенно она утолщалась и сокращалась по площади в результате ряда эпизодов складчатости в обстановке сжатия. По ряду соображений Гликсон отверг и это предположение. Учитывая те сочетания давления и температуры, при которых отдельные минералы кристаллизуются или превращаются в другие минералы, он нашел, что древняя материковая кора не могла быть существенно тоньше, чем сейчас. Повсеместно распространенные явления растяжения делают маловероятным сокращение в результате сжатия; кроме того, сохранилась, как правило, первоначальная геометрическая форма даек, других интрузивных тел и весьма обширного чехла осадочных пород, покрывающих древнее основание. Наконец, палеомагнитные измерения образцов древних пород фундамента не позволяют считать, что кора испытала существенное сжатие, вытекающее из такого предположения; наоборот, они показывают, что угловые размеры исследованных блоков в основании материков обычно сохранялись неизменными достаточно долго.

Третий возможный ответ: известная сегодня четверть коры существовала тогда, как и сейчас, в виде отдельных плит, двигавшихся относительно друг друга, причем в одних местах неоднократно происходило разрастание океанической коры, которое в других местах компенсировалось субдукцией этой коры и ее возвращением в мантию. Гликсон указал, что такое предположение порождает серьезные геохимические противоречия и также находится в конфликте с многими палеомагнитными данными.

Четвертая из перечисленных Гликсоном гипотез состояла в том, что все основания современных материков были объединены 2 млрд. лет назад в единый суперконтинент, а остальную часть поверхности Земли занимал океан. Эта модель противоречит по меньшей мере палеомагнитным и палеогеографическим данным, полученным при изучении позднепротерозойских пород. Противоречит она и плитотектонической теории. Гликсон отверг ее, так как если считать, что на полушарии, занятом океаном, действовали процессы спрединга и субдукции, то, по самым скромным оценкам, около 500 млн. км<sup>3</sup> горных пород должны были прирасти — в ходе аккреции — к материку. Примерно столько же, согласно тектонике плит, составляют в настоящее время аккреционные комплексы и островные дуги. Однако нам неизвестны столь обширные площади, сложенные породами островных дуг протерозойского возраста; соображения объема также не позволяют считать, что такие огромные массы погреб-

бены под отложениями возникших впоследствии геосинклинальных прогибов.

В итоге Гликсон сделал вывод, что наиболее вероятное решение загадки «исчезнувшей» древней коры состоит просто в том, что она никуда не исчезала, так как никогда не существовала. Напротив, известные нам древние породы полностью покрывали тогда поверхность Земли гораздо меньшего, чем теперь, размера, а затем разделились на части и разошлись в процессе роста океанической коры между ними.

### Отсутствие офиолитов и флиша в протерозое

К сходному заключению пришел и д-р Кейт Крук (из Австралийского национального университета) на основании данных совершенно другого рода, а именно сведений об очевидных изменениях распространенности офиолитов и флишевых отложений во времени. Офиолиты — это группа изверженных пород мантийного происхождения, вышедших на поверхность на ранних стадиях развития интенсивно погружавшихся прогибов (геосинклиналей), впоследствии превратившихся в горно-складчатые системы (орогены). Флиш — своеобразная ассоциация осадков, быстро накапливавшихся в течение активных стадий развития геосинклиналей и орогенов. Крук пишет:

«Офиолиты и флиш, две ассоциации пород подвижных поясов, характерные для океанской области земной коры, хорошо представлены в разрезах горных пород последнего миллиарда лет. Их распространенность, выраженная площадью их выходов, деленной на возрастной интервал (в миллионах лет), уменьшается экспоненциально с увеличением возраста в указанном интервале, что соответствует прогнозам, основанным на вероятности их сохранения. Однако хотя офиолиты с возрастом от 1 до 2,5 млрд. лет практически неизвестны, их возможные архейские аналоги — зеленокаменные пояса — представлены во всем разрезе пород древнее 2,5 млрд. лет. Точно так же редко отмечается флиш в разрезах пород с возрастом от 1 до 2 млрд. лет, но они встречаются отнюдь не редко в массивах более древних, чем 2 млрд. лет. Такой характер изменений распространенности офиолитов и флиша во времени столь сильно отклоняется от прогноза, основанного на их потенциальной сохранности, что это требует какого-то объяснения. Среди нескольких возможных объяснений особый интерес представляют два. Первое предполагает, что разрезы океанических формаций для интервала времени 1—2 млрд. лет назад неизвестны в результате сочетания эффекта интенсивного метаморфизма и в большей мере — их захоронения под позднекембрийскими, палеозойскими и, возможно, мезозойскими подвижными поясами. Это объясняет фундаментальные различия между послепалеозойскими и послепалеозойско-домезозойскими окраинами океанов. Второе объяснение состоит в отсутствии разрезов океанических образований, отвечающих интервалу времени от 1 до 2 млрд. лет, вследствие постулируемого действительного отсутствия океанов в ту эпоху истории Земли. Это предполагает глобальное развитие материковой коры и общее расширение Земли в течение последнего миллиарда лет».

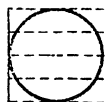
## Точность картографических изображений

За два века до нашей эры Эратосфен уже знал, что изображение любой части сферической Земли в виде плоской карты неизбежно создает искажения, и поэтому он изобрел такие проекции, которые правильно показывали бы древний мир от Испании до Индии. Спустя столетие Птолемей разработал несколько способов точного изображения данных о земном шаре на плоских поверхностях. В самом деле, мы можем выбрать способ построения такой карты, которая сохраняет интересующие нас особенности реальных объектов (рис. 32). Ортографическая проекция дает вид Земли, который открылся бы наблюдателю с Луны. Эта проекция показывает только одно полушарие; углы, измеряемые из точки в центре, верны, но все другие углы искажены; площадка вблизи края карты соответствует гораздо большей площади поверхности сферического тела, чем такая же площадка у центра; контуры картируемых объектов к периферии карты сильно сближены, так как те же радиальные расстояния представлены здесь более короткими отрезками, и у края карты контуры почти совсем сливаются. Имеется много систем проекций, в которых равные площади на карте соответствуют равным площадям на сфере, но эти проекции сильно искажают форму контуров (например, синусоидальная проекция или проекция Мольвейде — см. рис. 32).

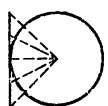
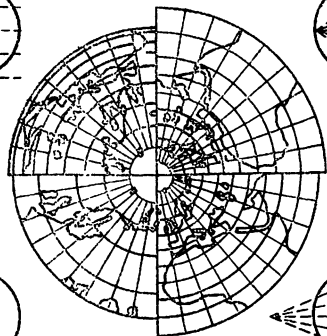
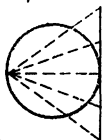
Меркаторская, стереографическая и некоторые другие проекции относятся к категории равноугольных: они не искажают форму контуров, потому что углы и масштаб правильно передаются в любой точке, но в меркаторской проекции масштаб возрастает с удалением от базовой линии (обычно от экватора), а в стереографической — с удалением от средней точки. Любая окружность на сфере — какой бы большой или малой она ни была — на карте, построенной в стереографической проекции, остается окружностью; в любой другой проекции это не так. На нормальной меркаторской проекции прямая линия между любыми двумя точками пересекает меридианы под одним и тем же углом, так что нужный курс можно взять в любой точке на этой прямой (свойство, важное для мореплавателей); но эта локсодромия (румбовая линия) — не кратчайшее расстояние, которое необходимо прокладывать по большому кругу. На карте в гномонической проекции линии большого круга являются прямыми, что делает такие карты полезными для штурманов-авиаторов.

Гномоническая, стереографическая, ортографическая и некоторые другие проекции представляют собой азимутальные проекции, т. е. углы из центра на них не искажены. Азимутальная проекция может быть также равновеликой, но в этом случае

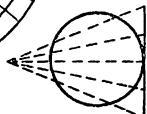
Ортографическая



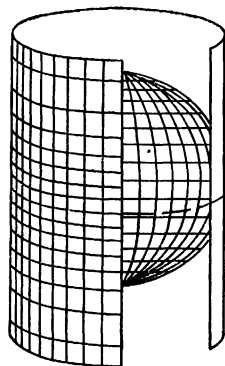
Стереографическая



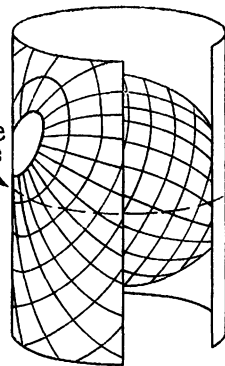
Гномоническая



Равновеликая

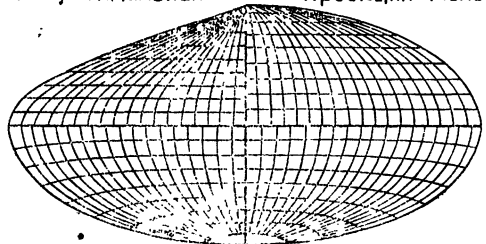


Меркаторская



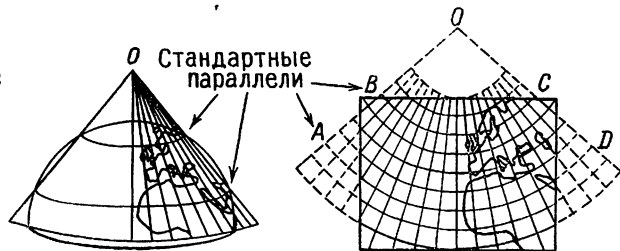
Косая меркаторская

Синусоидальная



Проекция Мольвейде

Проекция Аитова



Коническая с двумя  
стандартными параллелями

Рис. 32. Различные картографические проекции. В конической проекции конус сечет шар по двум параллелям; расстояния по кривым  $BC$  и  $AD$  соответствуют истинным расстояниям на шаре.

она не ортографическая. Вся земную поверхность можно показать на цилиндрических проекциях (в том числе на меркаторской) и на целом ряде овальных проекций, которые правильно отображают площадь, но искажают углы, расстояния и форму контуров. Имеются также конические и поликонические проекции; некоторые из них часто используются для многих обычных построений, потому что их легко вычертить без применения компьютеров. Хотя они искажают форму, но не очень сильно, площади на карте и глобусе не в точности равны, но различаются мало, углы и расстояния не верны, но достаточно близки — так что эти проекции обеспечивают удачный компромисс, если не требуется проводить точных измерений или анализировать явления, захватывающие весь земной шар.

При наивном или бездумном использовании таких проекций многие выводы, базирующиеся на картографическом изображении и относящиеся к материковому дрейфу и тектонике плит, оказывались неточными или неверными. Иногда это не имеет особого значения, и грубая схема или диаграмма может передать смысл какой-либо концепции лучше, чем это возможно объяснить словами. Но делались и совершенно неправильные выводы. Наряду с этим точное картографическое изображение иногда выявляет неожиданные, но важные расхождения, что можно продемонстрировать на нескольких примерах.

Более чем полвека назад во всех своих исследованиях материкового дрейфа я, как правило, использовал косые стереографические проекции. Точные построения позволили мне решительно утверждать, что Гарольд Джеффрис был не прав, когда считал нелепой мысль о совпадении берегов Африки и Южной Америки и заявлял, что это видно «при беглом взгляде на глобус» (см. гл. 8).

В течение нескольких лет д-р Хью Оуэн из Британского музея естественной истории проводил точный геометрический анализ картины разрастания океанического дна в последние 200 млн. лет. Он построил собственные косые проекции и исключил все искажения, возникающие в результате обработки данных. Помимо публикации важных статей Оуэн составил обширный атлас, в котором показал предполагаемое размещение материков на протяжении различных интервалов времени. Оуэн пришел к выводу, что если радиус Земли считать постоянным, то

«появляются аномальные области океанической коры и несоответствия в очертаниях смежных материков, образующих Пангею. Последовательное появление этих аномальных участков континентальной коры, обусловленных сферической геометрией реконструкций при отсутствии следов их прежнего существования в картине разрастания океанов с пассивными окраинами, наводит на мысль о постепенном увеличении кривизны поверхности, если двигаться вспять во времени».

Д-р Кеннет Перри из Боулдера (шт. Вайоминг) составил компьютерную программу, воссоздающую образование Срединно-Атлантического хребта при последовательном разрастании океанического дна. Он начал с «реконструкции Булларда» и реконструкции Пангеи, выполненной Дитцем и Холденом (рис. 29), а затем проверил другие новейшие реконструкции. Он установил, что при использовании любой из моделей Пангеи — независимо от ее географического положения и путей расхождения отдельных плит после ее распада, а также независимо от временных рамок — невозможно образовать такие структуры океанического дна, которые имели бы конфигурацию существующего Срединно-Атлантического хребта, при движении плит по поверхности *Земли неизменного радиуса*. Чтобы наблюдаемый хребет мог возникнуть после распада Пангеи, необходимо допустить, что радиус Земли постепенно увеличивался. (Реконструкция Перри воспроизводится на рис. 76 в гл. 20.) Работы Оуэна и Перри иллюстрируют те внутренние противоречия в теории тектоники плит, которые выявляются с помощью точных картографических построений.

Недавно д-р Фахруддин Ахмад (член Индийской академии наук) измерил длину дуги между пермским Северным полюсом, находившимся в Восточной Сибири, и пермским Южным полюсом, который располагался к юго-востоку от Дурбана в ЮАР. Он сделал это на реконструкции Пангеи, на которой было закрыто искусственное клиновидное зияние, обсуждавшееся ранее, и пришел к выводу, что с учетом длины измеренной дуги пермский радиус составлял около 55% от современного, т. е. имел примерно такую же величину, какая была найдена Фогелем и Перри совершенно другим путем.

## Геодезические измерения НАСА

В работе, написанной в 1972 г., вскоре после того, как экипаж космического корабля «Апполон-15» установил уголковые отражатели на поверхности Луны, я призвал к безотлагательному проведению измерений расстояний между материками с помощью лазерной интерферометрии. Эти измерения могли бы за десятилетие доказать расширение Земли.

Американское Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) вот уже несколько лет проводит измерение расстояний между материками, используя для этого три независимых метода: лунные лазерные измерения, сходную процедуру с использованием искусственных спутников Земли и интерферометрию со сверхдлинной базой (ИСДБ); ошибки этих измерений составляют всего несколько

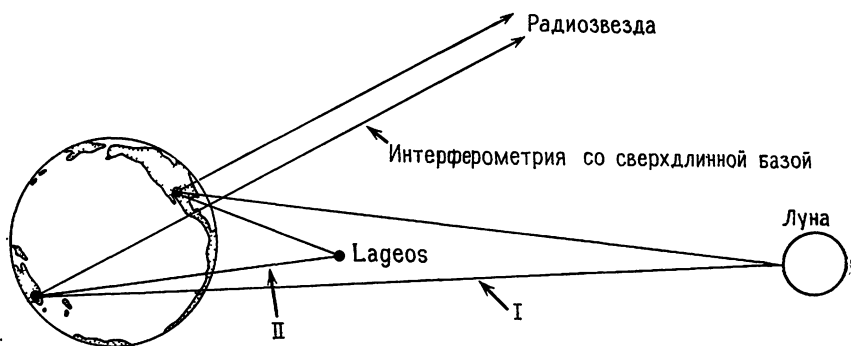


Рис. 33. Спутниковая геодезическая система НАСА. I — определение расстояний с помощью лазерной локации Луны, II — определение расстояний с помощью лазерной локации искусственного спутника.

сантиметров (рис. 33). Этой точности достаточно (при повторных измерениях в течение ряда лет), чтобы заметить относительные смещения такой величины, какая предсказывается теориями тектоники плит и расширения Земли, и установить правоту одной из них. Четвертый метод, использующий глобальную систему навигационных спутников, обещает такую же точность с меньшими затратами труда. При лазерных измерениях возвращающиеся от угольковых отражателей импульсы принимаются телескопами. Отражатели заранее размещены на спутниках и на Луне. Расстояние от отражателя до телескопа определяется по времени между посылкой импульса и его возвращением; скорость света известна. При работах по методу ИСДБ сигналы от внегалактических радиоисточников фиксируются сразу двумя станциями (или больше), а разность времен прихода отдельных волновых фронтов позволяет определить расстояние между этими станциями.

Первые результаты появились совсем недавно (в 1986 г.), и с каждым годом они должны становиться все более определенными. Важнейшее значение имеет измерение расстояния от острова Пасхи до Панамериканской обсерватории на севере Перу, но этот пункт вошел в программу работ довольно поздно, так что от определенных результатов нас отделяет еще несколько лет. Согласно тектонике плит, это расстояние должно уменьшаться на 10 см в год, тогда как по теории расширения Земли оно должно увеличиваться.

Предварительные сведения, поступающие от НАСА, указывают на то, что длина хорды между Европой и Северной Америкой увеличивается на  $1,5 \pm 0,5$  см в год, между Северной Америкой и Гавайями — на  $4 \pm 1$ , между Гавайями и Южной

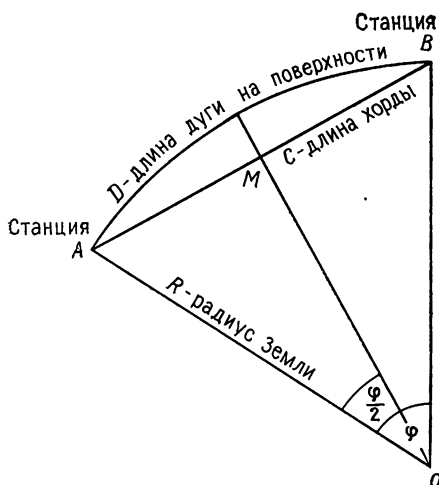


Рис. 34. Геометрия измерений межконтинентальных расстояний, проведенных НАСА. Исходя из треугольника АМО имеем  $C = 2R \sin(\varphi/2)$ . Дифференцируя по времени, получаем  $\frac{dC}{dt} = 2 \frac{dR}{dt} \sin \frac{\varphi}{2} + \frac{dD}{dt} \cos \frac{\varphi}{2}$ , где  $dR/dt$  — скорость расширения Земли.

Америкой — на  $5 \pm 3$ , между Южной Америкой и Австралией — на  $6 \pm 3$ , а расстояние между Гавайями и Австралией уменьшается на  $7 \pm 1$  см в год. Другие найденные до настоящего времени смещения не столь велики, чтобы придавать им значение. Эти результаты подтверждают предположение о расширении Земли и противоречат плитотектонической теории, отрицающей увеличение земного радиуса, которое вытекает из полученных данных. Расширение Атлантического океана предсказывается в равной мере обеими теориями.

Д-р У. Д. Паркинсон обратил мое внимание на тот факт, что те расстояния и их приращения, о которых сообщает НАСА, — это хорды, а не расстояния, пролегающие вдоль земной поверхности. На рис. 34 показано соотношение между дугой  $D$ , хордой  $C$ , земным радиусом  $R$  и углом  $\varphi$  между радиусами, проведенными из центра Земли ( $O$ ) к двум станциям —  $A$  и  $B$ . В треугольнике АМО половина хорды  $C/2 = R \sin(\varphi/2)$ . Дифференцирование по времени дает

$$\frac{dC}{dT} = 2 \frac{dR}{dt} \sin \frac{\varphi}{2} + \frac{dD}{dt} \cos \frac{\varphi}{2},$$

где производные от  $C$ ,  $R$ ,  $D$  и  $\varphi$  — скорости изменения этих величин. Если на большом круге имеются три станции и измеряются скорости изменения длин хорд для каждой пары станций, то мы получаем систему из трех уравнений для *одного и того же интервала* времени. Из решения этой системы можно определить скорость изменения радиуса Земли. Если теория тектоники плит верна, то это изменение должно быть равно нулю. Но оно нулю не равно.



Паркинсон решил эту систему уравнений для трех станций, расположенных в Аризоне, на Гавайях и в Канберре. Дуги между парами станций пересекаются на Гавайях под углом  $159^\circ$ . Отличие этого угла от  $180^\circ$  не столь велико, чтобы серьезно повлиять на результат. По сообщению Паркинсона, данные НАСА указывают на то, что в течение периода наблюдений радиус Земли увеличивался на  $2,8 \pm 0,8$  см в год.

Расчеты Паркинсона — чистая геометрия, совершенно независимая от наличия или отсутствия каких бы то ни было раздвигающихся хребтов или зон субдукции, от теории расширения или чего-то еще. Они просто позволяют определить скорость изменения радиуса, неявно заключенную в изменениях длины хорд. Если бы мы использовали три независимые пары станций, записываемые уравнения не относились бы *к одному и тому же интервалу времени* и результаты их решения свидетельствовали бы об изменениях в пределах этих дуг, не позволяя однозначно определить скорость изменения земного радиуса.

Эти расчеты делались с использованием опорных данных, сообщаемых НАСА. Если результаты расчета меняются при использовании в каждом случае предельных значений, свидетельствующих в пользу изменения радиуса Земли, то постоянство радиуса еще можно связать с ошибкой вычислений, которую удастся исключить при большем числе наблюдений. Сравните это с рис. 28, где расхождение в длине градуса можно не заметить в данных за последние 7 млн. лет, но оно явно возрастает, если брать больший временной интервал.

Хотя и нельзя сказать, что расширение Земли происходит равномерно, особенно для коротких периодов порядка первых десятков лет, тем не менее этот предварительный результат измерений — возрастание радиуса на  $2,8 \pm 0,8$  см в год — дает правильный порядок величины. Длина окружности земного шара увеличивается при этом в среднем на  $17,6$  см в год, а следовательно, начиная с середины мелового периода она возросла на  $12\,600$ — $22\,600$  км. Это вполне согласуется со скоростью изменения длины градуса, определяемой по отклонению палеополуса в последние 25 млн. лет, а также со скоростью сближения Америки и Европы в Арктике начиная с пермского времени.

Такая скорость увеличения земной окружности прекрасно объясняет появление нового океанического дна с середины мела *без всякой субдукции*. Добавление экваториального раскрытия Тихого океана (приблизительно на  $120^\circ$ ) к раскрытию Атлантики (приблизительно на  $45^\circ$ ) дает увеличение тетического экватора на  $18\,300$  км, т. е. на величину, лежащую посередине ожидаемого интервала. Южный океан между Австралией и Антарктидой расширился с мелового периода примерно на  $3\,300$  км, что вполне согласуется с данной выше оценкой скоро-

сти расширения Земли, так как пара Австралия — Антарктида занимает около одной шестой большого круга и, если расширение распределялось равномерно по всему большому кругу, ожидаемое увеличение должно составлять 2300—3800 км. Подобным же образом пара Индия — Антарктида занимает около 0,4 длины большого круга, так что следует ожидать растяжения ее на 5—9 тыс. км. Сейчас расстояние между ними составляет немногим больше 7 тыс. км.

Необходима осторожность в интерпретации изменения длины хорды между Австралией и Южной Америкой: оба материка сместились в северном направлении, и происшедшее при этом увеличение расстояния между ними по широте не связано с изменением радиуса.

Правильной интерпретации данных НАСА в отношении изменения земного радиуса мешает еще одно обстоятельство. При добавлении в любом раздвигающемся океаническом хребте полосы новой коры шириной 100 км угол, построенный раньше из центра Земли и стягиваемый дугой в  $1^\circ$  по большому кругу, уменьшается на 9 угловых секунд — благодаря добавлению этого нового сегмента. Поскольку все проводимые НАСА измерения хорды в конечном счете проводятся на основе измерений углов (с вершиной в центре Земли), опирающихся на эти хорды, то любой континентальный блок или устойчивый участок океанической коры будет *казаться* короче, если предполагать, что земной радиус остается неизменным.

Рассмотрим большой круг, проходящий через Токио, Гавайи и Панамериканскую обсерваторию в Перу. Почти 8 тыс. км новой коры сформировалось в сегменте Перу — Гавайи за последние 100 млн. лет, и Восточно-Тихоокеанское поднятие до сих пор находится в стадии разрастания, тогда как между Гонолулу и Токио никакой новой коры за это время не возникло. В соответствии с упомянутой скоростью расширения Земли длина большого круга увеличилась на  $17\,600 \pm 5000$  км, а отрезок Гонолулу — Токио не изменился, что означает уменьшение угла, стягиваемого этой дугой, почти наполовину. Следовательно, если при анализе данных измерений НАСА считать радиус Земли неизменным, то будет *казаться*, что расстояние между Гавайями и Токио уменьшается примерно на 6 см в год, хотя фактически это расстояние не изменялось.

Точно так же длина хорды Гавайи — Австралия должна *казаться* убывающей с несколько большей скоростью, тогда как истинная длина этой хорды оставалась неизменной. Здесь вступает в действие еще один фактор. Гавайи и Северная Америка располагаются к северу от Тетической зоны кручения, рассматриваемой в гл. 21, а Австралия и Южная Америка — к югу от нее. Западная граница Тихого океана сместилась в результате

этого сдвига на 5500 км (см. рис. 80 в гл. 21), что означает перемещение Гавайских островов относительно Австралии на расстояние такого же порядка; следовательно, учитывая угловое расхождение, укорочение хорды между Гавайями и Австралией, вызванное этим фактором, может превышать 3 см/год. Протяженность хорды Гавайи — Перу должна увеличиться при этом на близкую величину.

Подобно хордам Гавайи — Япония и Гавайи — Австралия, ширина стабильных материков, таких, как Северная Америка и Австралия, также должна казаться уменьшающейся, чего на самом деле нет. И действительно, предварительные результаты, опубликованные в 1985 г. Д. Христодулидисом и его коллегами по НАСА в «Journal of Geophysical Research», указывают именно на это, входя в противоречие с постулатами тектоники плит. Согласно среднему значению, вычисленному из девяти измерений четырех хорд, стабильная Северная Америка (т. е. к востоку от фронта Скалистых гор) *кажется* сокращающейся в поперечнике на 1,2 см в год, а исходя из среднего значения по четырем измерениям одной хорды *кажется*, что стабильная Австралия сокращается со скоростью 2,4 см/год. Хотя для того, чтобы надежно установить, что эти данные о сокращении размеров выходят за пределы возможных ошибок, необходимо продолжать измерения, общая тенденция их на сегодняшний день определенно свидетельствует в пользу расширения Земли, а не постоянства ее радиуса.

## Земля расширилась

Арктический парадокс, отклонение палеополюсов, невозможность за счет Тихого океана компенсировать расширение Северного Ледовитого, Атлантического, Индийского и Южного океанов, значительное увеличение периметра Тихого океана параллельно с постулируемым заметным сокращением его площади, искусственность зияющего клина, проблема прежних соседей Индии, данные о тепловом потоке, свидетельствующие, что материки не перемещались относительно подстилающей их мантии, обнаруженное Гликсом частичное отсутствие архейской коры, установленное Круком отсутствие протерозойских офиолитов и флиша, «исчезновение» ряда участков молодой океанической коры, продемонстрированное Оуэном с помощью точного построения на карте, выводы Фогеля и Перри, получивших современное расположение материков в результате радиального центробежного движения, проведенная Перри реконструкция формирования Срединно-Атлантического хребта — все эти многочисленные и совершенно независимые друг от друга резуль-

таты разного рода исследований свидетельствуют в пользу расширения Земли.

Однако, несмотря на всю убедительность доказательств, столь еретическая концепция неизбежно вызывает презрительное отношение и насмешки со стороны ученой братии, как было и раньше, когда предпринимался любой крупный шаг в сторону от традиционной догмы. Так, когда в январе 1979 г. я был приглашен выступить на собрании Геологического общества Лондона с докладом о концепции расширения (приглашение было направлено группой ученых, уверенных в том, что они смогут ее опровергнуть), один из старейших британских геологов демонстративно покинул зал, как только было объявлено мое выступление. Роберт Мьюир Вуд так писал об этом собрании в журнале «New Scientist»:

«Как известно, чтобы не заснуть, надо позвать фокусников и клоунов. Имея это в виду, Геологическое общество провело недавно обсуждение «теории расширения Земли». Изложить ее было предложено одному напыщенному тасманскому профессору геологии (Уоррену Кэри) и менее экзотичному английскому геофизику (д-ру Хью Оуэну). Во время своего театрального представления они отстаивали идею, что за последние 200 млн. лет Земля распухла примерно на 20 процентов».

После серии подобных заявлений, обращенных «к разуму и к чувствам» читателей, Вуд сделал следующий вывод: «Такие идеи, как расширение Земли, сопровождаемые биологическими метафорами вроде роста и беременности, могут как-то развлечь человека в холодный зимний вечер».

В ответе, направленном в «New Scientist», я, игнорируя оскорбительные выпады Вуда, парировал его доводы, но журнал не напечатал мой ответ.

В апреле 1984 г. в конце моей лекции о расширении Земли, которую я читал по приглашению в Йельском университете, другой профессор поднялся и крикнул: «Чушь собачья!». Когда отвергают мои аргументы, я отношусь к этому спокойно, но грубая ругань, отражающая избыток эмоций и часто звучащая в академическом обществе в ответ на еретические мысли, меня возмущает. Пифагор страдал от таких эксцессов в связи с дебатами о сферичности Земли, Коперник — в связи со своим гелиоцентризмом, Геттон — с большим возрастом Земли, Дарвин — с эволюцией, Вегенер — с расхождением материков. Теория расширения Земли, сколь надежными ни были бы ее свидетельства, также должна пройти через стадию насмешек и издевательств.

Во введении к своему президентскому докладу 1986 г. на геологической секции Британской ассоциации за прогресс науки проф. Дерек Эйджер писал: «Как палеонтолог я, естественно, предпочитаю свидетельства, основанные на анализе ископаемой

фауны, особенно на анализе мезозойских брахиопод, которые я изучал около 35 лет». В конце этого доклада он сделал такой вывод: «Мне трудно принять различные объяснения для одних и тех же явлений, происходивших в разных крупных океанах мира. Взвесив всевозможные доводы, я склоняюсь к мысли, что все океаны начиная с раннего мезозоя расширялись, и поэтому признание гипотезы расширяющейся Земли неизбежно».

## 13

### Миф о субдукции

В результате картирования и определения возраста разрастающихся в обе стороны хребтов в Атлантическом океане американцы в конце концов установили, что океан расширяется с удивительной — для геологического процесса — скоростью. Этот новый факт следовало как-то согласовать с общепринятым мнением о том, что радиус Земли по существу постоянен. Получалось, что площадь, равная увеличению океана, должна была исчезать где-то в другом месте. Решение, найденное и названное «субдукция», было аналогично тому, что я представил на рассмотрение Американскому геофизическому союзу в 1953 г. (но тогда его сочли наивным и отвергли), а именно: избыток литосферы поглощается в глубоководных желобах. Альтернативное решение — что поверхность Земли увеличивалась с той же скоростью, с какой происходило наращивание новой коры, — даже не рассматривалось. Этот процесс субдукции соединили с другой, принятой без доказательств, догмой, в которую верили почти во всем англоязычном мире, а именно что складчатость, надвигообразование, вулканизм, сейсмичность и орогенез в целом обусловлены горизонтальным сжатием земной коры. И опять же совершенно не рассматривалась та альтернатива, что перечисленные явления обусловлены своего рода прорывом изнутри, вызванным расширением недр Земли. Так миф о том, что субдукция — твердо установленный факт, стал общепринятым, и все процессы стали интерпретировать исходя из этой предпосылки. В этой главе будет показано, что гипотеза субдукции ведет к многим неразрешимым противоречиям.

### Загадка Африки

Как и все материка, Африка окружена собственной рифтовой зоной, в которой происходит разрастание океанического дна; грубые очертания этой зоны похожи на раздутую карикатуру

Африки примерно вдвое большей площади (см. рис. 20). Геологический возраст новообразованной океанической коры увеличивается от очень молодого у рифта до третичного и мелового, причем вся кора прибавилась за последние 100 млн. лет. Если бы Земля не расширялась, такая же площадь коры должна была поглотиться и исчезнуть. Нарастание (аккреция) коры в Атлантике подразумевает субдукцию где-то на востоке, а аккреция коры в Индийском океане возле Африки — субдукцию где-то на западе. В каком-то месте в пределах Африки тектоника плит требует наличия субдукционной воронки, поглотившей больше коры, чем площадь всей Африки. Где же это место? Его просто нет! Наоборот, между расширяющимися хребтами Атлантического и Индийского океанов есть только океаническое дно с характерными признаками растяжения, а на суше система крупных рифтовых долин, возникших вследствие широтного растяжения, сама является зарождающимся хребтом зоны разрастания!

Чтобы оправдать отсутствие субдукции в Африке, Антарктида должна принять на себя субдукцию, компенсирующую разрастание дна между точкой тройного сочленения в Индийском океане и точкой тройного сочленения в Южной Атлантике (рис. 35). Но Антарктиду тоже по периферии окружает ее собственная зона роста, которая удваивает ее площадь совершенно независимо от какого-либо добавочного вклада со стороны Африки. Согласно теории субдукции, все это должно было поглощаться в пределах Антарктиды, где нет никаких признаков подобной субдукции. Единственный желоб в ее окрестностях — это небольшой Южно-Сандвичев желоб, расположенный под прямым углом к побережью Антарктиды, и в любом случае его функция, согласно теории тектоники плит, — поглощать прирост «местной» коры Южной Атлантики. Попытка с помощью софизма обойти отсутствие в Африке внутренней зоны субдукции, перенося эту проблему на ее соседей, обречена на полную неудачу по отношению к Антарктиде, в которой тоже нет внутренней зоны субдукции, и на самом деле следовало бы перенести на Африку часть собственной проблемы Антарктиды.

### Аномалия, связанная с Перуанско-Чилийским желобом

Чтобы выйти из этого затруднительного положения, теории тектоники плит входят в еще худшее противоречие, заявляя, что Африка — это особый случай и что проблема широтной субдукции для Африки должна быть перенесена как в область, расположенную южнее, ближе к Антарктиде, так и в глубоко-

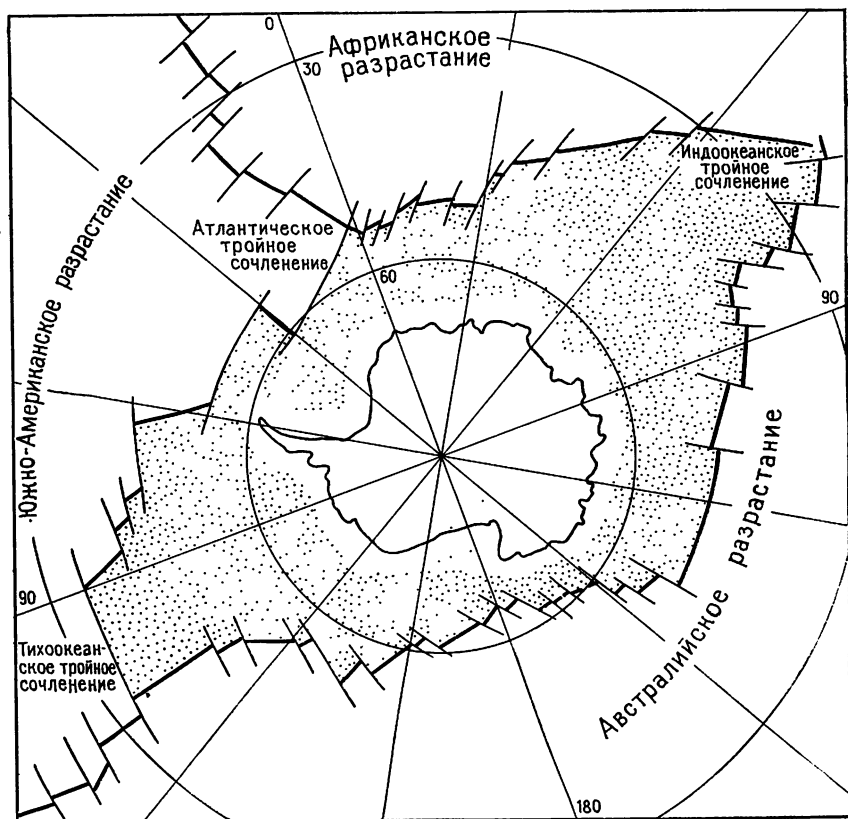


Рис. 35. Разрастающиеся хребты окружают Антарктиду, но в ее пределах **нет** никакой зоны субдукции, где поглощалась бы эта добавочная литосфера (показана крапом).

водные желоба Тихого океана. Следовательно, в Перуанско-Чилийском желобе должно поглотиться более 1600 км коры, образовавшейся в результате спрединга в Атлантическом океане со стороны Африки, плюс более 1400 км коры, образовавшейся при этом со стороны Южной Америки, плюс 3700 км дна, появившегося в результате приращения коры в восточном направлении при спрединге в южной части Тихого океана. Это означает, что около 7000 км литосферы было поддвинуто под Анды — в основном за 50 млн. лет начиная с палеоцена. (Скорость современной субдукции, которую сторонники тектоники плит оценивают в 9 см/год, заставляет предположить, что за это время могло произойти поглощение 4500 км коры.)

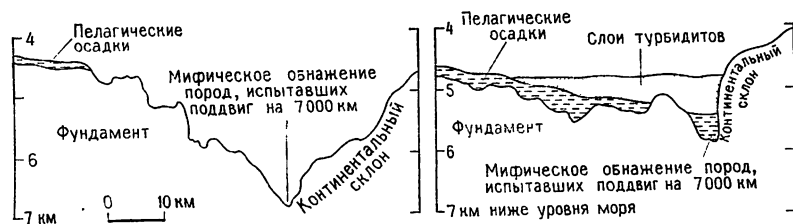


Рис. 36. Согласно гипотезе субдукции, огромные объемы мягких осадков, отлагавшихся на дне океана, должны были нагромождаться в глубоководном желобе по мере того, как 7000 км океанического дна затягивалось под Южную Америку. Однако некоторые части Перуанско-Чилийского желоба лишены осадков (например, у 28° ю. ш., *левый* рисунок), а другие части заполнены ненарушенными третичными отложениями (например, у 37° ю. ш., *правый* рисунок), тогда как в соответствии с гипотезой субдукции там должно было проявиться поддвижение 7000 км океанической коры.

Это громадное поддвижение под Анды должно было проявиться в желобе, где осадконакопление в это время, по всей видимости, не сопровождалось какими-либо возмущениями (рис. 36, слева), и осадки должны были оказаться задвинутыми под Анды — в тот район, который, как сообщали д-р Г. Р. Кац и др., в течение всего этого времени воздымался, находясь в состоянии *растяжения*. Проф. У. Таннер из Университета Флориды, опубликовавший в 1974 г. статью в «Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists», обобщил полевые наблюдения следующим образом:

«Карлос Руис, в течение многих лет пребывавший на посту директора Национальной геологической службы Чили, неоднократно заявлял, что в Чилийских Андах хорошо выражено растяжение в широтном направлении. Х. С. Висенте (1970) из Университета Сантьяго (Чили) уточнил это положение. Рамирес (1971) указал, что главная структура на западе центральной Колумбии представляет собой грабен (ориентированный примерно в север-северо-западном направлении). Коббинг (1972) подчеркнул, что геологическое строение территории Перу должно отличаться от теоретической модели поддвижения под окраину континента, и сделал вывод, что основным следствием деформации является рифтообразование. Картер и Агирре (1965) описали структуру горстов и грабенов и кайнозойское растяжение территории Чили. Цейль (1965) установил, что в зоне Чилийского берегового хребта начиная с раннего триаса не было никакого складкообразования; на составленных им структурных профилях показаны сбросы и грабены. Мои собственные полевые работы, главным образом в Колумбии и Чили, приводят меня к тому же выводу: главный тектонический режим здесь — растяжение (в широтном направлении)».

Далее, где находятся те осадки, которые накопились в этом районе океана и были содраны с полосы шириной 7000 км океанической литосферы, когда она перемещалась вниз, под континентальную кору? Их нет здесь; действительно, некоторые части



глубоководных желобов совершенно пусты (рис. 36). В других местах турбидиты, заполняющие желоба, поступили с суши и совсем не похожи на глубоководные илы, которые должны были бы здесь аккумуляроваться.

Д-р Д. У. Шолл и д-р Т. Л. Валлиер из Геологической службы США первыми провели работы, в результате которых удалось установить, что в пределах Тихоокеанского кольца, где якобы происходила субдукция, нигде не накапливались океанические осадки. Они пытались обойти эту дилемму, возникшую в результате их собственной деятельности, предположив, что эти осадки были затянуты вниз под материки вместе с поддвигающейся плитой. Но конечно, эти неконсолидированные илы скорее всего должны были бы выдавливаться наружу, а не затягиваться вниз, под всю 100-км толщу континентальной коры! В самом деле, заслуживает ли доверия постулат о поддвижении здесь полосы литосферы шириной 7000 км? Или даже 1000? Или 100? Или хотя бы 10 км? Разве не было бы заметно в этих неконсолидированных осадках поддвижение даже в *один* километр? Согласно оценкам скорости современной субдукции, полученным самими сторонниками тектоники плит, поглощение 1 км коры должно было произойти в плейстоцене! Для этих глубоководных желобов субдукционная модель явно не годится.

### Аномалия желоба Кермадек

К востоку от Африки разрастание океанического дна постулируют только между Африкой и Австралией и между Австралией и желобом Кермадек, который протягивается от Новой Зеландии до островов Тонга (см. рис. 23). Следовательно, восточная часть «загадки Африки» должна решаться за счет этого желоба. Если не учитывать расширения Земли, желоб Кермадек должен был бы поглотить 6000 км океанической литосферы, возникшей при расширении Индийского океана между Африкой и Австралией, плюс 2000 км приращения к Австралийскому материку в Тасмановом море, плюс 5000 км, сформировавшихся в Восточно-Тихоокеанском поднятении по другую сторону от этого желоба. Таким образом, за последние 150 млн. лет в желобе Кермадек должно было произойти поглощение 13 000 км литосферы (т. е. трети окружности Земли!).

И снова возникает вопрос: куда делись океанические осадки, соскобленные с полосы литосферы шириной 13 тыс. км? По соседству нет никакого материка, под которым они могли бы скрыться, и даже эта неправдоподобная отговорка здесь не годится. Большая часть дна желоба Кермадек — это обнаженные скальные породы без всяких осадков. Действительно, ха-

рактер и объем отложений, заполняющих желоб, обычно связаны с поступлением обломочного материала с близлежащей суши, а не с вымышленной величиной интенсивности субдукции. Чилийский желоб не заполнен осадками, так как рядом с ним находится пустынная суша. Желоб Кермадек пуст потому, что рядом нет никакой суши, которая служила бы для него источником осадочного материала.

Где колоссальные андезитовые вулканы, которые должны были образоваться в результате переработки такого количества якобы поглощенной литосферы? Можно ли в это поверить? Вместо того чтобы заявлять, что субдукция более чем 13 000 км литосферы под желобом Кермадек — это преувеличение, позвольте мне заметить, что на «Карте тектоники плит Тихоокеанского региона», изданной в 1982 г. при поддержке ведущих плитотектонистов, указана скорость субдукции в желобе Кермадек, равная 10 см/год, — одна из самых высоких в мире. Это лишь ненамного меньше, чем в Японском желобе (10,5 см/год). Разрастание южной части Тихого океана и Индийского океана восходит непосредственно к раннему мелу, и если скорость субдукции была постоянна и равна 10 см/год, то это должно означать поглощение 14 000-км полосы литосферы.

## Гималаи и Тетис

На протяжении почти 500 млн. лет с кембрия до эоцена область, которую сейчас занимают Гималаи, представляла собой мелководное море; во вторую половину этого отрезка времени сквозной морской проход протягивался без перерывов от Испании до Новой Гвинеи и Новой Зеландии (а в перми и триасе, до раскрытия Атлантики, он распространялся и на Центральную Америку). Эдуард Зюсс назвал этот сквозной морской проход зоной Тетис. Когда сторонники тектоники плит пытались реконструировать Пангею, предположение о постоянстве земного радиуса заставило их принять существование между Индией и Азией океана шириной более 6000 км, так что они переделали модель зоны Тетис, чтобы придать ей нужную океанскую ширину. Гималаи были объявлены результатом столкновения Индии с Азией: Индия по этой модели двигалась на север, а находившаяся перед ней океаническая кора подверглась субдукции, и Цанпо-Индская шовная зона отмечает границу столкновения плит.

Фактические данные опровергают эту концепцию. Д-р Аугусто Ганссер, один из авторитетов по геологии Гималаев, а может быть, и самый признанный авторитет, писал в 1979 г.: «Согласно моделям тектоники плит, Индия должна была переместиться

на тысячи километров, тогда как все полевые наблюдения заставляют предполагать, что Индия и Евразия никогда не находились далеко друг от друга». По словам д-ра Йована Штеклина, другого специалиста по Гималаям, «геология Гималаев не указывает на существование океана Тетис в палеозое — начале мезозоя и в этом смысле свидетельствует в пользу теории расширения Земли». Д-р Фахруддин Ахмад из Индийской академии наук, подробно показав, что только мелководные и пересыхающие моря покрывали регион Гималаев в упомянутые времена, продолжал: «Поскольку никакого океана Тетис не существовало, и Индия, и Ангарский щит (название, данное Зюссом блоку Центральной Сибири) не сталкивались, Гималаи не могли возникнуть ни в результате столкновения, ни в процессе субдукции, а сформировались в ходе вертикального поднятия». Возникновение Гималаев и других складчатых горных поясов под действием вертикальных тектонических движений рассматривается в гл. 18.

Как же получается, что сторонники тектоники плит продолжают столь иступленно считать «сжатие» Гималаев воплощением их святыни — орогенеза, обусловленного субдукцией, несмотря на все противоречащие этой точке зрения полевые данные? Александр Поп дал на это ответ более двухсот лет назад в своем «Опыте о критике»:

Когда ведет нас страсть, все будет, как ей надо.  
Когда ведет нас страсть, рассудок — не преграда.

Наряду с тем фактом, что Индия не сталкивалась с Азией, а всегда была частью Азии и вовсе не отделялась от нее глубоким океаном, время воздымания и складчатости Гималаев явно противоречит субдукционной концепции. Согласно теории субдукции, в том месте, где погружающаяся пластина заталкивается в мантию, происходит интенсивное сжатие, складко- и надвигообразование, отмечаются сейсмичность, вулканизм и поднятие горных поясов — и все это одновременно с субдукцией. Скорость субдукции совпадает со скоростью роста новой океанической коры. О возрасте нового морского дна можно судить по палеомагнитным данным, исходя из которых скорость разрастания дна Индийского океана в кильватере постулированного тектоникой плит движения Индии (и, следовательно, скорость субдукции перед ней) показана в виде диаграммы на рис. 37. Из этого рисунка ясно, что складчатость и воздымание Гималаев не коррелируют со скоростью роста Индийского океана. Скорость разрастания Индийского океана была самой высокой в период между 50 и 100 млн. лет назад, но Гималайский регион в это время представлял собой мелководное море, в котором происходило спокойное осадконакопление без всяких

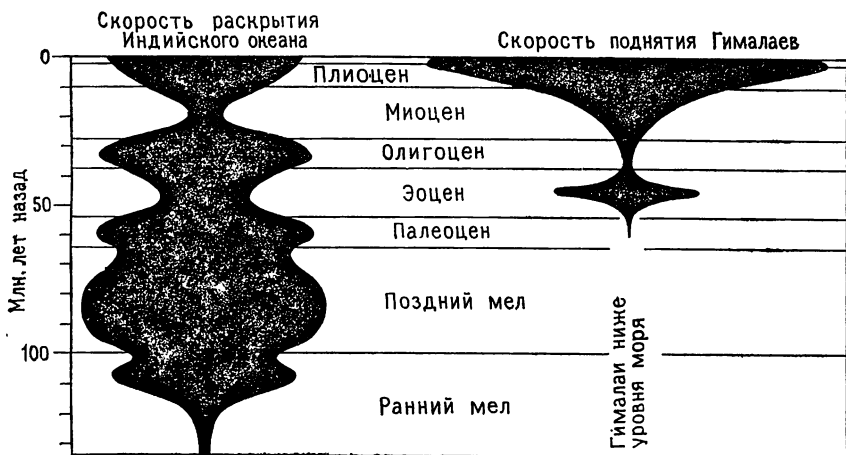


Рис. 37. Сравнение скоростей раскрытия Индийского океана и поднятия Гималаев.

признаков складчатости, надвигания, магматической деятельности и общего беспорядка, которые должны были бы сопровождать здесь быстрое поглощение коры.

Что же тогда представляет собой Индский шов? По словам Гансера, «это один из самых выдающихся структурных элементов на Земле, отчетливо обнажающийся, но труднодоступный». Он стимулировал возникновение множества гипотез о своем происхождении — гипотез, которые зачастую противоречат фактам, установленным полевыми исследованиями. В действительности он является частью величайшей структуры на Земле — Тетической зоны кручения, по которой Северное полушарие смещается относительно Южного. Этот вопрос рассматривается в гл. 21.

### Миф об океане Япетус

В настоящее время приверженцы ортодоксальной догмы утверждают, что более 600 млн. лет назад в результате разрастания морского дна возник океан шириной около двух тысяч километров, названный Япетусом и располагавшийся примерно (но не точно) на месте современной Северной Атлантики. Он отделял Северную Америку от Африки — Европы почти так же, как Северная Атлантика сегодня. В течение раннего палеозоя (от 600 до 400 млн. лет назад) этот океан заполнялся песчаниками, глинистыми сланцами и известняками, но в среднем

девоне (примерно 370 млн. лет назад) происходившее прежде разрастание сменилось субдукцией, затянувшей его дно вниз, в мантию. Это привело к новому сближению Африки и Европы с Северной Америкой и выдавливанию осадков вверх: так образовались Каледонские складчатые горы Скандинавии, Шотландии и Ирландии, а также Аппалачские горы на востоке Северной Америки, и совершенно исчез океан Япетус. И только в рэтское время, примерно 200 млн. лет назад, появилась длинная цепь рифтовых долин, быстро заполнявшихся грубообломочными осадками и базальтовыми лавами, и началось раскрытие современного Атлантического океана. Ось этого нового рифтообразования оказалась повернутой примерно на  $30^\circ$  против часовой стрелки относительно направления раннепалеозойских рифтов. Поэтому большая часть возникших прежде складчатых гор оказалась на восточной стороне нового океана, в Великобритании и Скандинавии, а значительная часть — в Северной Америке, на западном берегу, хотя некоторые останцы Аппалачей попали на северо-запад Африки, а куски Каледонид — на восточный берег Гренландии.

Никто не оспаривает того, что Каледонские и Аппалачские складчатые горы в Скандинавии, на Британских островах, в Гренландии, на северо-западе Африки и востоке Северной Америки представляли собой единую горную систему, которая была смята в складки в течение девона (а также в другие эпохи) и расколота и разделена в ходе мезозойского раскрытия Северной Атлантики. Но я настаиваю на том, что океан Япетус никогда не существовал.

Главной причиной, породившей постулат о существовании океана Япетус, было ортодоксальное допущение, что складчатые горы образуются в результате субдукции возникшего раньше океанического дна. Следовательно, эта точка зрения требует, чтобы до субдукции здесь существовал значительных размеров сквозной морской проход. Более того, оказалось, что данная гипотеза подтверждается ископаемыми фаунами и палеогеографией. Если явные свидетельства ордовикского материкового оледенения обнаружены по всему северо-западному выступу Африки, то известные связи с субтропическими фаунами прослеживаются вдоль западных склонов Аппалачей, — очевидно, чересчур близко к холодным ледниковым зонам, если только Африка и Америка в то время не были разделены большим расстоянием. Фауны трилобитов ордовика к западу от осевой зоны Аппалачей и Каледонских гор также несовместимы с трилобитами, примыкающими к ним на востоке от осевой зоны. Роды трилобитов, обитавших в сходных экологических обстановках, настолько отличались генетически, что казалось невозможным, чтобы они могли жить в такой близости друг к другу на про-

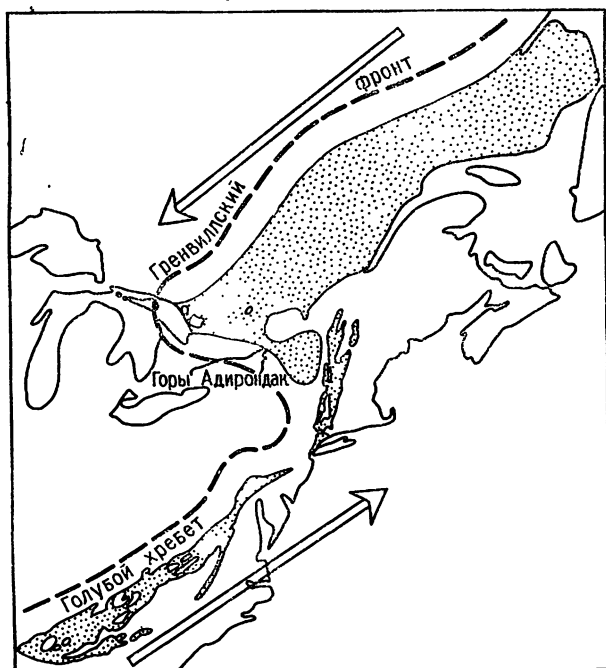


Рис. 38. Левостороннее смещение, на которое указывает характер распределения позднепротерозойских гренвилльских пород на востоке Северной Америки.

тяжении столь многих миллионов лет. Их должен был разделять какой-то барьер, например большой океан шириной в тысячу километров или еще шире.

Конечно, эти фауны трилобитов не могли находиться так близко друг к другу, как они сейчас обнаружены. Но их разделяло расстояние в 3000 км *вдоль* осевой линии Аппалачей и Каледонид, а не *поперек* нее. При восстановлении прежнего положения трилобиты Пенсильвании переместятся назад и окажутся по соседству с трилобитовой фауной Скандинавии, с которой они вполне сопоставимы.

Я впервые определил этот большой сдвиг вдоль осевой зоны Аппалачей по S-образному искривлению «Гренвилльского фронта» — границы позднепротерозойских складчатых гор, которые предшествовали Аппалачам (рис. 38). Впоследствии это решительно подтвердилось палеомагнитными измерениями.

В течение раннего палеозоя, когда, как утверждают, существовал океан Япетус, лавы и другие подходящие породы были намагничены под действием существовавшего тогда магнитного

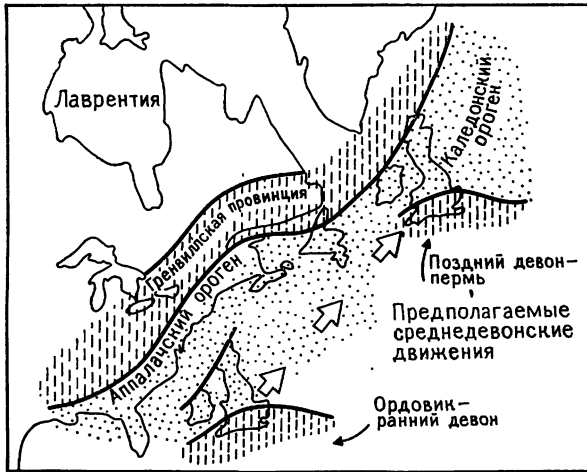


Рис. 39. В эпоху древнее 370 млн. лет назад Британские острова находились рядом с Северной Каролиной. Кручение в среднем девоне переместило их более чем на 3000 км — до положения против Гренландии, а Восточная Африка оказалась при этом рядом с Северной и Южной Каролиной, где она и располагалась согласно реконструкции Пангеи. (По У. Э. Моррису.)

поля, благодаря чему в этих породах зафиксированы их прежняя географическая широта и направление на полюс. Такие породы независимо от того, где они находились — в Северной ли Америке, в Африке или в Европе, — должны указывать одно и то же положение полюса. Но если в девоне гипотетический океан Япетус закрылся в результате субдукции его дна, а Африканская и Европейская плиты столкнулись с Северо-Американской плитой, то положение полюса, определенное породами Африки и Европы, должно отличаться от того положения, на которое указывает Американская плита, на ширину закрывающегося океана в соответствующем направлении.

Д-р У. Э. Моррис первым стал изучать этот вопрос и установил, что полюсы действительно отстоят друг от друга на  $30^\circ$ , но в направлении Аппалачско-Каледонской оси, а не поперек нее, как следовало бы, если бы вымышленный океан Япетус в самом деле исчез в результате субдукции. На протяжении всего раннего палеозоя, включая ранний девон (около 370 млн. лет назад), южная часть Великобритании располагалась рядом с Северной Каролиной (рис. 39). Ордовикская фауна трилобитов Пенсильвании соседствовала с балтийской фауной. В течение среднего девона (эпоха, когда Аппалачи и Каледониды претерпели интенсивную складчатость) Африка и Европа испытали сдвиг с поворотом на  $30^\circ$  против часовой стрелки, и напротив

Северной Каролины оказалась Северо-Западная Африка. Выводы Морриса подтвердили затем и другие палеомагнитологи с некоторыми различиями в деталях; например, некоторые полагают, что перемещение по сдвигу продолжалось 50 млн. лет, захватив каменноугольный период. Это вполне приемлемо, потому что как сдвиг при кручении Каледонид, так и более позднее кручение зоны Тетис продолжалось, вероятно, примерно по 100 млн. лет. Нужно быть осторожными с палеомагнитными данными, так как многие породы несколько раз перемагничивались, и время каждого отдельного намагничения нужно связать с геохронологической шкалой.

Кажущаяся аномалия близости оледенения Северо-Западной Африки и субтропических известняков западных склонов Аппалачей в течение ордовика также сглаживается перемещением *вдоль* оси Аппалачей, а на расширяющейся Земле это вообще не было бы аномалией. Если бы полюс находился в центре области оледенения, а радиус Земли равнялся 0,7 от современного, то самые северные ледниковые отложения на северо-западе Африки располагались бы на широте  $43^\circ$  (т. е. на той же широте, что и самые северные четвертичные ледниковые отложения на уровне моря в Тасмании), а образовавшиеся в субтропических условиях ордовикские известняки, вероятно, находились бы на широте современного Большого Барьерного рифа Квинсленда. Доказательства существования океана Япетус, как и сам этот мифический океан, исчезают.

### Аномалия конуса выноса Зодиак

Повсюду, где бы крупная река ни достигала моря, груз ее тонкообломочного материала обычно протягивается далеко в открытое море — его переносят периодические турбидные потоки. Поток движется по океаническому дну почти так же, как это делают реки на суше, прорывая глубокие русла, которые могут протягиваться на сотни километров, пока поток не потеряет скорость в результате выполаживания склона. В этом месте и накапливается глинистый и алевроитовый материал, образуя растущий конус выноса, по форме напоминающий нижнюю часть лопаты. Такие конусы выноса являются важной частью речной дельты, но называются подводными конусами выноса, если их поверхность находится ниже уровня моря.

Три океанолога из Геологической службы США — Эндрю Стивенсон, Дейвид Шолл и Трейси Валлиер — недавно (в 1983 г.) обратили внимание на аномальное положение подводного конуса выноса Зодиак на Алеутской глубоководной равнине в северо-восточной части Тихого океана южнее полуострова Аляска (рис. 40). Конус выноса Зодиак площадью около миллиона



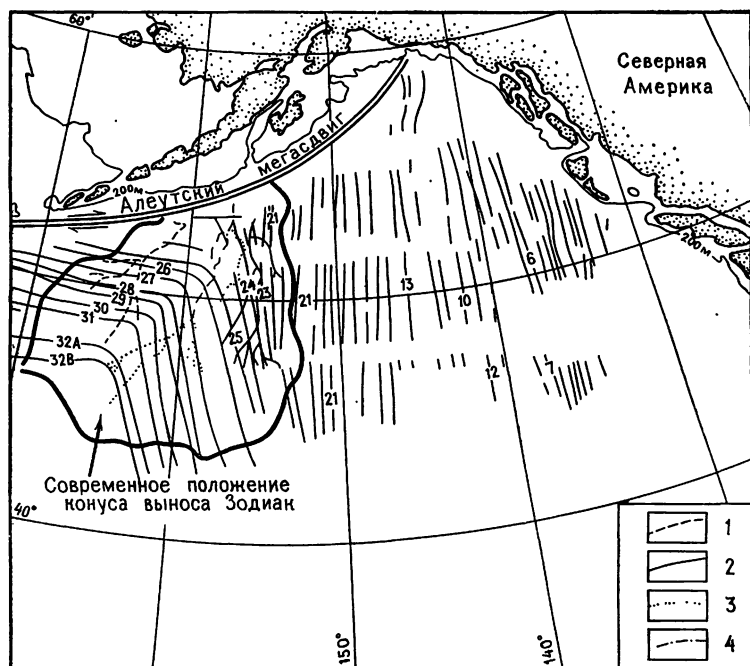


Рис. 40. Конус выноса Зодиак в заливе Аляска. Пронумерованные линии — полосовые магнитные аномалии, возраст которых указан на рис. 21. Распределительные русла: 1 — Симап, 2 — Телец, 3 — Водолей, 4 — Стрелец.

квадратных километров содержит почти  $3^*$  млн. км<sup>3</sup> тонкозернистого глинистого материала, который отложился там в течение раннеретичного времени, по крайней мере не менее чем 24 млн. лет назад, так что это — ископаемый конус выноса. Его максимальная мощность превышает 600 м, уменьшаясь к краям. Конус выноса Зодиак на самом деле не единая структура, а состоит из четырех последовательно наложившихся один на другой конусов, причем каждый из них имеет собственную распределительную систему русел. Конус выноса Телец перекрывает конус Водолей, который в свою очередь залегает на конусе Стрелец, и возраст их все возрастает — примерно до 40 млн. лет назад. Четвертый конус, называемый Симап («Морская карта» — по-видимому, по названию исследовательского судна. — *Перев.*), также залегает на конусе Стрелец; его соотношение с двумя другими конусами выноса еще не выяснено, но авторы предполагают, что он отложился позже всех.

\* По смыслу — 0,3 млн. км<sup>3</sup>. — *Прим. перев.*

Вопрос в том, где находилась река, которая питала конус Зодиак? Исследователи оценили дренируемую этой рекой площадь по крайней мере в полмиллиона квадратных километров, или в половину всей площади Аляски. Пыльца и споры из осадков этого конуса заставляют предположить, что климат в этой области был не тропическим, а похожим на современный климат Аляски или еще более холодным. Они пишут:

«Модели движения плит для третичного времени, требующие относительно конвергенции на больших пространствах вдоль Алеутского желоба, судя по всему, здесь неприменимы. Ведь для подобных реконструкций необходимо, чтобы конус выноса Зодиак сформировался в 1000—3000 км от ближайшего материка и отделялся от него топографическими барьерами, для чего требуется во много раз увеличить размеры стока, с тем чтобы перекрыть предполагаемую потерю осадков при переносе на такое большое расстояние».

Эта аномалия обусловлена лишь бесосновательным предположением, характерным для теории тектоники плит, согласно которому вдоль Алеутского желоба произошло поглощение значительного участка тихоокеанского дна в процессе субдукции,

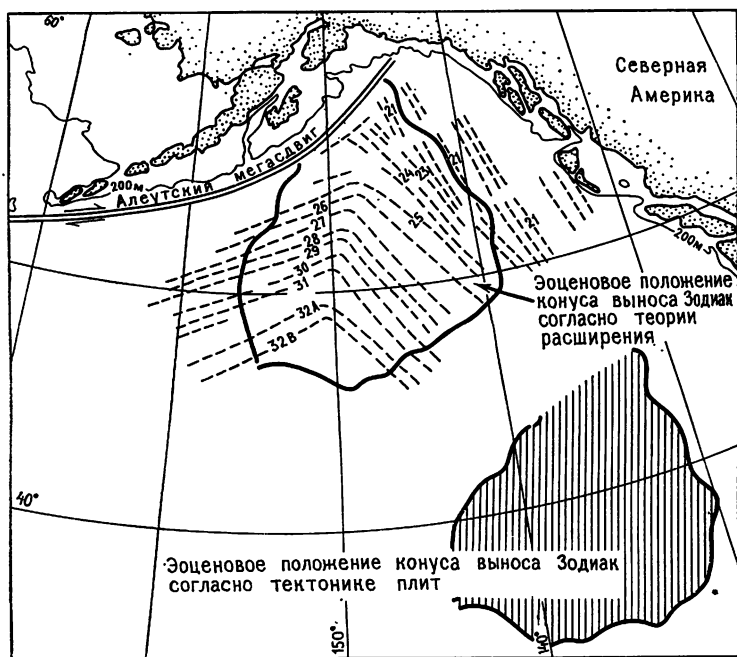


Рис. 41. Различные положения конуса выноса Зодиак в эоцене. Пунктирными линиями показаны полосовые магнитные аномалии после удаления аномалий более молодых, чем этот конус (с номерами 1—18).

и эта воображаемая исчезнувшая кора должна быть включена в реконструкции для эпохи 40 млн. лет назад. В теории расширения Земли, напротив, предполагается, что этой гипотетической коры, которую считают сейчас исчезнувшей в результате субдукции, вообще никогда не было и что вся когда-либо существовавшая тихоокеанская кора находится на месте. Чтобы вернуть район конуса Зодиак в то положение, которое он занимал, когда начал накапливаться конус Стрелец, всю кору с полосами магнитной полярности от 17 и моложе нужно удалить, так как она сформировалась позже в результате разрастания дна (рис. 41), и вся загадка исчезает. Чтобы точно восстановить палеогеографию, надо внести другие крупные исправления, так как в течение 40 млн. лет, прошедших с начала развития конуса Стрелец, здесь произошло большое правостороннее перемещение вдоль побережья Северной Америки и внутри материка, по крайней мере вплоть до рва Скалистых гор. Однако ни одно из этих движений не отделяет конус выноса Зодиак от полностью соответствующей ему области стока. Что же более правдоподобно — субдукция или расширение?

### Почему нет никакого остаточного океанического дна?

В тектонике плит предполагается, что океаны, покрывающие более половины земной поверхности, существовали всегда. Более 200 млн. км<sup>2</sup> дна таких океанов, как полагают, должно было исчезнуть начиная с палеозойского времени, и еще в несколько раз больше — в предыдущие геологические эры. Определенно можно было бы ожидать, что по крайней мере *какие-то* остатки этих древних океанов хоть *где-нибудь* избежали субдукции. Но возраст океанического дна нигде не превышает 150 млн. лет. На самом деле все океаническое дно, которое когда-либо существовало, находится на своем месте!

### Субдукция — это миф

Мы рассмотрели целый ряд аномалий — отсутствие поглощения коры в пределах Африки или Антарктиды в тех местах, где оно должно быть; режим широтного растяжения в Южных Андах, когда они должны находиться в условиях интенсивного сжатия в результате поддвигания Тихоокеанской плиты; абсурдность утверждения о том, что выявлено поддвигание 7000 км коры в Перуанско-Чилийском желобе; отсутствие неизбежных скоплений огромных масс океанических илов, со-

скобленных с поверхности плиты при ее погружении в любом глубоководном желобе; отсутствие большой цепи андезитовых вулканов вдоль хребта Кермадек, где они должны были бы находиться, если бы там произошло поглощение участка коры шириной в одну треть земной окружности; отсутствие орогенеза и вулканизма в Гималаях для тех эпох, когда они должны были развиваться согласно субдукционной гипотезе; миф об океане Япетус; полное отсутствие какой бы то ни было доюрской океанической коры и трудности, связанные с положением конуса выноса Зодиак в открытом океане вдали от источников осадков. Все эти проблемы возникают тогда, когда предпринимаются попытки компенсировать наблюдаемое разрастание океанического дна его поглощением (субдукцией), вместо того чтобы объяснить его расширением Земли. Субдукция — это миф!

Легендарный разбойник из Атики Прокруст подгонял свои жертвы под размеры собственного ложа, обрубая их или растягивая. То же самое делает тектоника плит с глубоководными желобами, и многие геологи отмечали бесосновательность суждений сторонников тектоники плит о желобах. Родс Фэрбридж из Колумбийского университета писал:

«Нет никаких причин рассматривать систему островная дуга — глубоководный желоб вообще как явление сжатия. Не может ли она быть проявлением растяжения? Известно, что многие желоба представляют собой разломы с элементом сдвига, а морфология, по крайней мере заполненных осадками трогов, указывает на их грабенообразный характер. Таким образом, современные океанические желоба вполне можно считать современными аналогами эвгеосинклиналией прошлого, которые часто совпадали с крупными разломами».

Д-р Тревор Хатертон, новозеландский геофизик, заметил:

«Особой проблемой глубоководных желобов является противоречие между теоретическим режимом сжатия, характерным для границ плит, и очевидным режимом растяжения самих желобов. Действительно, почему в результате столкновения двух «жестких» плит должен образоваться желоб, до сих пор не объяснено. Землетрясения, происходящие под желобами, имеют механизмы очага, лучше всего соответствующие модели сброса, т. е. растяжения».

Проф. Уильям Таннер из Таллахасси, шт. Флорида, возражал многочисленным авторам, писавшим о глубоководных желобах и исходившим из того «факта», что желоба представляют собой структуры сжатия на поверхностях надвигов; они интерпретировали свои данные в рамках этого постулата, даже если их собственные данные больше свидетельствовали об обстановке растяжения: «Гипотеза разрастания океанического дна может означать для некоторых геологов требование сжатия в окрестности глубоководных желобов, но фактические данные требуют горизонтального растяжения». Позднее он обобщил свои выводы следующим образом:

«1. Сжатие имеет небольшое значение в образовании и сохранении крупных структур, которые подстилают глубоководные желоба, островные дуги и соседние с ними впадины; напротив, эти элементы рельефа в полосе шириной до 1700 км обусловлены прежде всего региональным растяжением.

2. Нет никакой «погружающейся пластины», которая подталкивалась бы с тыла или затягивалась своим же погружающимся передним краем.

3. Единственные значительные движения, которые можно признать для островной дуги и глубоководного желоба, — это горизонтальное растяжение и сдвиг.

4. Многие авторы делают вывод, что концепция «погружения плиты» правильна, пытаясь сохранить эту гипотезу, но этот вывод в общем противоречит их собственным фактическим данным и не может быть принят».

К подобным же выводам пришел советский ученый П. М. Сычев:

«К сожалению, объективная проверка полученных данных и их интерпретация в наши дни все чаще и чаще подменяются предвзятой теорией... Имеющиеся данные по системам островных дуг и глубоководных желобов плохо согласуются с концепцией «новой глобальной тектоники».

Д-р Хью Уилсон, американский специалист в области нефтяной геологии, в своем обзоре мелового осадконакопления и орогении ядра Центральной Америки заключил:

«Защитники тектоники плит разработали концепцию, основанную на хорошо документированных признаках расширения и дополненную гипотетическим процессом субдукции».

Д-р Дейвид Шолл и д-р Майкл Марлоу, океанологи из Геологической службы США, признавали:

«Совершенно очевидно, что наше понимание тектонического режима желобов исходит больше из представлений о глобальном перемещении плит, чем из идей, вытекающих из анализа фактических данных, собранных при исследованиях самих желобов».

Д-р Б. У. Браун спрашивал:

«В чем существенное различие между утверждением, начинающимся словами: «Поскольку континенты перемещались на 2,5 см в год», и утверждением, которое могло бы начинаться так: «Поскольку Всемирный потоп переносил айсберги...?» Я не в состоянии увидеть никакой разницы; и то и другое — дедуктивные суждения, в которых частное выводится из общего. Оба суждения исходят из умозрительных принципов. Кто-то мог бы оспорить это утверждение, заметив, что имеются «научные» данные в поддержку первого из упомянутых принципов, но не второго. Но кто-то другой мог бы точно так же доказать, что в фундаментальной структуре соответствующих принципов имеется столько же доводов в поддержку первого утверждения, сколько и в поддержку второго; наиболее рьяные приверженцы строгой логики несомненно думают именно так».

Д-р Вольфганг Кребс из Технического университета Брауншвейга, ФРГ, писал:

«Передовые прогибы и глубоководные желоба, кристаллические пояса и вулканические дуги, а также срединные борозды и междуговые впадины —

это эквивалентные структуры..., которые образуют кровлю диапироподобного поднятия материала из астеносферы. Эти подкоровые астенолиты характеризуются утонением коры, растяжением, инверсионными структурами, высокими значениями теплового потока, глубокофокусными землетрясениями, положительными гравитационными аномалиями, извержением мантийных толеитовых базальтов и внедрением ультрамафических массивов. Силы, обусловленные поднимающимися астенолитами, исходно вертикальны; горизонтальные напряжения вторичного происхождения контролируются силой тяжести... Глобальные вертикальные тектонические движения объясняют развитие систем островных дуг и глубоководных желобов, а также горных поясов гораздо проще, чем гипотеза тектоники плит».

Выводы Кребса даются здесь с использованием специфических геологических терминов; читатели, не знакомые с такой терминологией, найдут подробное рассмотрение этой концепции в гл. 18.

## 14

### Критика концепции расширения Земли

Возражения против концепции расширения Земли появились на основании следующих соображений. Если первоначально диаметр Земли был вдвое меньше современного, ускорение силы тяжести на поверхности было столь большим, что это неизбежно должно было отразиться на древних геологических процессах. Имеющийся объем морской воды должен был покрывать всю сушу слоем толщиной 2 км или больше. Палеомагнитные данные свидетельствуют о том, что радиус Земли не изменялся с конца палеозоя. Линии роста на ископаемых кораллах указывают, что число дней в году 400 млн. лет назад и в последовавшие затем эпохи согласуется с приливным замедлением вращения Земли, тогда как изменение момента инерции Земли, вытекающее из гипотезы расширения, несовместимо с этими данными. Тектоника плит вполне убедительно объясняет множество разнородных данных. Какой физический механизм мог бы привести к такому значительному расширению? Наконец, на других планетах должно было бы проявляться такое же расширение, и аналогичные явления, вероятно, наблюдались бы на Солнце и звездах.

Рассмотрим по очереди каждое из этих возражений.

## Сила тяжести на поверхности Земли

Критическое замечание о том, что на Земле вдвое меньшего диаметра ускорение силы тяжести должно было быть в четыре раза больше и все должно было быть в четыре раза тяжелее, относится к моделям, предложенным Линдеманном, Холмом, Кейндлем, Эдьедом и всеми теми, кто предполагает, что масса Земли оставалась постоянной, но не относится к моделям, принятым Хильгенбергом, первыми русскими исследователями в этой области (Ярковским, Кирилловым, Нейманом и Блиновым), а также мной.

## Объем морской воды

Эдьед выдвигает общий объем морской воды как главный аргумент, подтверждающий расширение Земли, используя палеогеографические карты Термье и Страхова (см. гл. 11), но он полагает, что его данным соответствует постоянная небольшая скорость расширения. Я же делаю вывод, что скорость расширения Земли возростала экспоненциально и что самое быстрое расширение приходится на совсем недавнее время. Поэтому объем морской воды представлял бы некоторую трудность, если бы я принял наивное предположение, что Земля приобрела всю свою воду на раннем этапе геологической истории и что с тех пор общий ее объем оставался постоянным. Напротив, я уверен, что объем морской воды синхронно с ядром и мантией Земли экспоненциально увеличивался со временем. Высота же материков относительно уровня моря значительно не изменялась.

Основной мыслью великолепного президентского доклада Уильяма Руби на собрании Геологического общества Америки в 1979 г. было то, что все океанские воды выделились из недр Земли не в ходе какого-то одного первичного процесса, а выделялись медленно, постепенно и непрерывно на протяжении всего геологического времени. Поскольку формирование нового морского дна зависит в принципе от того же самого процесса, что и выделение ювенильной воды, как объем морской воды, так и емкость океанских бассейнов должны были расти сходным образом. Но это не обязательно точно совпадало по фазе. В этом процессе участвовало несколько переменных, некоторые из них характеризовались обратной связью и запаздыванием по времени. Вероятно, были периоды, когда емкость океанских бассейнов увеличивалась быстрее, чем общий объем морской воды, и наоборот. Первое должно было приводить к общему поднятию суши и регрессии моря, второе — к трансгрессии морей на низменные участки суши. Это могло происходить в



Рис. 42. Глобальные суперциклы изменения уровня моря по П. Р. Вейлу и Р. М. Митчему.

огромном масштабе порядка целых геологических периодов и в такие короткие интервалы, как несколько лет.

В 1970-е годы улучшение качества сейсмопрофилирования методом отраженных волн позволило установить долго- и короткопериодные колебания уровня моря и провести их корреляцию между разными бассейнами осадконакопления и даже между материками. Действительно, не за горами то время, когда флуктуации уровня моря станут известны точнее и мы сможем коррелировать отдельные слои по всему земному шару. На рис. 42 показано изменение уровня моря в масштабе эпох, о котором писали П. Р. Вейл и Р. М. Митчем в 1977 г. Раньше такие «эвстатические» циклы относили за счет наступания и отступления материковых ледников. Но из этого рисунка ясно, что циклы изменения уровня моря совершенно не зависят от оледенения (такого, как пермокарбонное и четвертичное) или от общего повышения температур (такого, как в триасе). Эти



циклы отражают равновесие общего объема морской воды и общей емкости океанских бассейнов, поскольку обе эти характеристики возрастали со временем.

## Палеомагнетизм

Палеомагнитологов особенно мучила догма постоянного радиуса Земли. Во-первых, они «доказывали» это, демонстрируя, что угол в  $20^\circ$ , образуемый радиусами, проведенными из центра Земли к двум точкам в Европе и Сибири, тот же самый, что и угол, который был между теми же точками в пермское время, о чем свидетельствует разность в палеомагнитном наклонении (эти точки находились тогда на одном палеомагнитном меридиане). К несчастью для палеомагнитологов, если ввести поправку за Обский сфенохазм, который раскрылся в третичное время, то окажется, что эти  $20^\circ$  палеошироты представляют собой длину дуги в пермское время до раскрытия этого сфенохазама, и фактически это доказывает, что начиная с пермского периода Земля значительно расширилась.

Пойдем дальше. Несколько палеомагнитологов попытались измерить радиус древней Земли с помощью метода, который получил название «метод минимального разброса». Рассмотрим всю совокупность палеомагнитных данных для одного геологического периода на материковом блоке, где в течение этого периода не возникали сфенохазмы и не происходило никаких других крупных перестроек тектонического плана. Поскольку каждое измерение указывает на полюс того времени, по любой паре точек, не лежащих на одном и том же древнем меридиане, можно определить расстояние до полюса методом триангуляции. Но из-за того, что каждый замер содержит погрешность в несколько градусов, подобная же погрешность должна быть заключена и в величине расстояния до полюса, и если угол между двумя точками измерений мал, эта погрешность очень велика. Ее можно уменьшить, взяв большое число пар, а также выбирая точки на большом расстоянии друг от друга. Была разработана специальная компьютерная программа для выбора пар в некотором интервале предполагаемых радиусов Земли (предпочтение по упомянутой выше причине отдавалось парам с большим угловым расстоянием между точками), и для каждого предполагаемого радиуса определялся разброс в положениях полюса. Радиус с минимальным разбросом принимался за вероятный древний радиус Земли. Во всех исследованных случаях было обнаружено, что наиболее вероятным было значение современного радиуса и что, следовательно, Земля не расширялась (рис. 43).

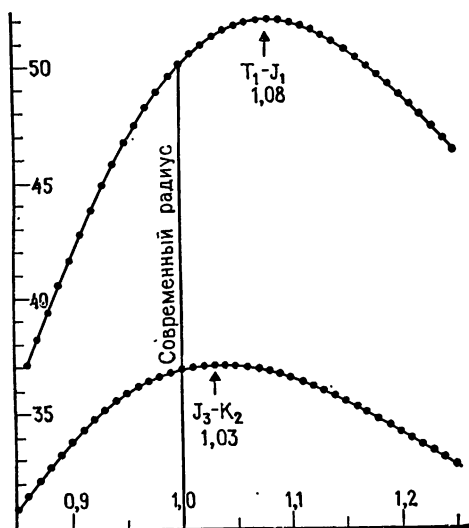
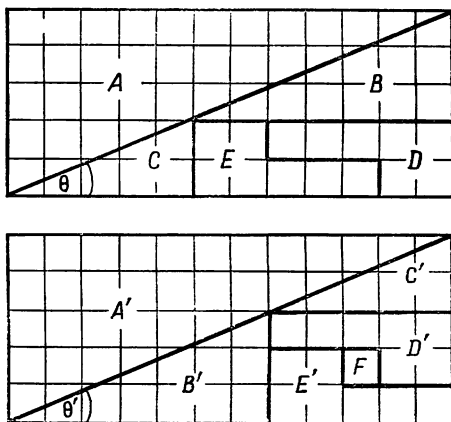


Рис. 43. Полученные Макелинни компьютерные кривые статистического разброса (левая ось) положений палеополусов триаса — юры и юры — мела, найденных по палеомагнитным данным, для значений радиуса Земли (нижняя ось), постепенно изменяющихся от 0,8 до 1,3 его современного значения.

Эту операцию можно проследить в глубь истории развития ЭВМ, как лучший пример принципа «какой мусор вводим, такой и получаем». При рассмотрении картографических проекций в гл. 12 было показано, что невозможно вычертить карту сферической поверхности Земли на плоскости, не искажив площадь, углы или форму. Это только частный случай общей теоремы о том, что поверхности не могут быть перенесены со сферы одного радиуса на сферу другого радиуса без искажения площади, углов или формы: плоская поверхность представляет собой часть сферы бесконечно большого радиуса. На плоскости сумма углов треугольника равна  $180^\circ$ , но сумма углов треугольника на сферической поверхности может меняться от  $180^\circ$  до  $540^\circ$  в зависимости от телесного угла с вершиной в центре сферы. Если это не включить в вычислительную программу, компьютер определит наименьший разброс для современного радиуса.

Если некоторый участок поверхности меньшей сферы сделать более плоским, перенеся его на сферу с большим радиусом, он должен будет при этом либо растянуться, либо разорваться. Введенное в компьютер предположение, что материковый блок не деформируется, когда изменяется радиус Земли, представляет собой заведомый «мусор». Некоторые из палеомагнитологов поняли серьезность данной проблемы и надеялись свести ее к минимуму, используя в построениях «центр тяжести» скопления получаемых точек; однако это не устраняло ошибку, особенно если программа была составлена так, чтобы учи-

Рис. 44. Головоломка «исчезающий квадрат».



тывались точки, разделенные большими расстояниями. Такой подход должен давать меньший разброс пересечений магнитных меридианов, но при этом угловые ошибки и ошибки за счет искажения формы возрастают до максимума.

В гл. 20 рассматривается иерархия растяжения, посредством которого вся литосфера приспособляется к изменяющемуся радиусу, причем приспособление самых крупных полигонов определяется прежде всего толщиной мантии вплоть до жидкого ядра, затем глубиной до пластичной астеносферы, после чего дело доходит до полигонов все меньшего и меньшего размера и в конце концов до трещин, отстоящих друг от друга всего на несколько сантиметров. Поэтому помимо ошибок, связанных с искусственностью геометрических построений, метод минимального разброса не учитывает миллиарды мельчайших смещений по региональным разрывам и по нарушениям все меньшего размера вплоть до обычных трещин. Если каждая трещина дает погрешность всего в одну тысячную градуса, то ошибка может составить  $10^\circ$  на километр! Поскольку трещины обычно образуют системы, реагируя на проникающее повсюду поле напряжений, их эффект неизбежно складывается. Суммарный результат этих непрерывных изменений материкового блока в ответ на изменяющийся радиус таков, что допущение о современном радиусе в программе палеомагнитологов *всегда* должно давать минимальный разброс.

Пренебрежение миллионами мельчайших подвижек по трещинам напоминает известную головоломку «исчезающий квадрат» (рис. 44). Имеются два прямоугольника, каждый размером  $12 \times 15$  квадратов. Треугольник  $B$  явно того же размера, что и  $B'$ : 7 квадратов в длину и 3 квадрата в высоту; треугольник  $C$  равен треугольнику  $C'$ : 5 квадратов в длину и 2 в высоту. Блоки

$D$  и  $D'$ ,  $E$  и  $E'$  явно идентичны. В таком случае откуда взялся блок  $F$ ? Разгадка в том, что треугольник  $A$  больше треугольника  $A'$  на площадь квадрата  $F$ ; тангенс угла  $\theta$  равен  $2/5$ , но не равен тангенсу угла  $\theta'$  ( $\text{tg } \theta' = 3/7$ ). Вдоль кажущейся гипотенузы треугольника  $A$  имеется 12 чрезвычайно мелких кусочков, которые и составляют в сумме площадь квадрата  $F$ . Подобным же образом, не принимая во внимание миллионы мелких подвижек по миллионам трещин, палеомагнитологи претендуют на то, что доказали, будто Земля не расширялась.

### Линии роста ископаемых кораллов

В 1930-х годах д-р Тинг Йинг Ма, китайский стратиграф, чьи идеи опередили его время, обнаружил, что ребра роста кораллов вида *Favia speciosa*, которые, как он считал, были сезонными, различаются по форме у экваториальных и более высокоширотных разновидностей. Он продолжал изучать ископаемые кораллы разного возраста в разных странах, считая их индикаторами палеоширот и, следовательно, дрейфа материков. Одновременно в Аннаме (тогда часть Французского Индокитая) Арман Кремпф насчитал 112 таких годовых ребер роста у кораллов вида *Favia speciosa* и установил у них цикл расцвета и увядания продолжительностью 18,6 лет, отражающий, как он полагал, период нутации, обусловленной воздействием Луны.

В 1937 г. Джон Уэллс из Корнельского университета заметил, что между годовыми ребрами, располагавшимися на расстоянии около 1 см, имелись более тонкие ребра, которые, как он предположил, соответствовали лунным месяцам; между годовыми ребрами было около 360 очень тонких линий роста, которые, по его предположению, были суточными, «циркадианными» (от латинского *circa die* — около одних суток), и были обусловлены влиянием дневного света на рост кораллов. Позднее Уэллс сообщил, что у ордовикского коралла из Огайо было 412 суточных линий роста за год, у силурийского коралла с острова Готланд — около 400, у нескольких среднедевонских из шт. Нью-Йорк — от 385 до 405, у раннекаменноугольного из Уэльса — 398 и у двух позднекаменноугольных кораллов из Техаса было соответственно 380 и 390 линий роста. Несколько других исследователей продолжили работу Уэллса и сообщили о подобных же результатах.

Учитывая известное замедление вращения Земли из-за приливного трения под воздействием Луны — 2 с за 100 лет — и проецируя его на 400 млн. лет назад, получаем 399 дней в году для девона, и другие подсчеты достаточно хорошо соответствуют полученным данным. Следовательно, говорят нам,

Земля не расширялась, потому что это привело бы к весьма существенному увеличению момента инерции, и, следовательно, замедление вращения Земли должно было значительно превышать то, которое объясняется приливным трением Луны.

Я скептически отношусь к обоснованности этих подсчетов. Линии роста располагаются друг от друга на расстояниях от нескольких микронов почти до нуля, и часто трудно решить, учитывать ли какую-то из них или нет. При этих условиях хорошо известно, что суммарные подсчеты дают такой результат, какого ожидает исследователь. Субъективность таких оценок хорошо иллюстрируется сообщением Р. Хипкина, геофизика из Эдинбургского университета, который на одном и том же образце сначала насчитал 253 ребра, а позднее 359 ребер. И вспоминаются софисты, которые пересматривали свои данные с тем, чтобы получить результат, который соответствовал бы короткому времени существования Земли, предложенному Кельвином (гл. 6). Кроме того, сейчас уже совершенно ясно, что кораллы не растут каждый день. Паводки делают воду мутной, принося взвешенные частицы, изменяют количество питательных веществ и могут приостановить рост кораллов на несколько дней. Сильные ветры на мелководье взмучивают донные осадки, и это опять-таки приостанавливает рост кораллов. Каждый из этих факторов создает видимость меньшего числа дней в году, причем, возможно, намного.

Но даже если мы примем, что такие расчеты правильны, это не дает оснований отрицать расширение Земли. Если тело с постоянной массой равномерно расширяется, его момент инерции увеличивается. Если в физическом теле происходит дифференциация (ядро уплотняется, а зоны, расположенные ближе к поверхности, становятся менее плотными) без расширения, то момент инерции уменьшается. Если же тело постоянной массы испытывает и дифференциацию, и расширение, его момент инерции может остаться тем же или измениться в любую сторону. Я утверждаю также, что ни масса, ни энергия не остаются постоянными (см. гл. 23).

## Шоры догмы

После куновской революции тектоники плит в 1960-х годах обоснованность этой догмы принимается без доказательств всеми «достойными уважения» учеными. Когда появляются новые факты, их автоматически интерпретируют с точки зрения господствующей догмы, даже если их можно с таким же или даже большим успехом объяснить по-другому. Действительно, если бы кто-то вздумал объяснить такие факты с использова-

нием концепции расширения Земли, рецензенты в научных журналах определенно отослали бы соответствующую статью назад для переделки или отвергли ее сразу как наивную. В 1930, 1940 и 1950-х годах американские журналы действовали чрезвычайно оскорбительно, отвергая все хоть сколько-нибудь отдававшее тем, что теперь называют тектоникой плит, а после этой революции они с таким же раздражением отвергают как наивное все, что основывается на любой альтернативной модели.

Ряды магматической дифференциации от глубоководного желоба до вулканов орогенической дуги, так называемые «парные метаморфические пояса», офиолитовые зоны и петрологическую последовательность средних содержаний элементов, т. е. все то, что стало опорой субдукционной гипотезы, можно проще объяснить расширением Земли. Когда было обнаружено, что под зоной Беньоффа скорости сейсмических волн возрастают, сторонники субдукции немедленно объявили это доказательством погружения холодной литосферной пластины, тогда как подобное же увеличение скорости предсказано моделью расширения Земли (см. гл. 19). То же самое относится к аномалии изотопа бериллия  $^{10}\text{Be}$ , на которую ссылаются некоторые геохимики как на убедительное доказательство субдукции. Бериллий литосферы полностью состоит из изотопа  $^9\text{Be}$ , а  $^{10}\text{Be}$  образуется в верхних слоях атмосферы при столкновении космических лучей с азотом или кислородом. Период полураспада  $^{10}\text{Be}$  равен всего 1,5 млн. лет, поэтому он существует недолго, но достигает поверхности Земли с дождем, и следы его легко распознать в поверхностных водах и осадочном материале. Он обнаружен также в вулканических породах некоторых складчатых поясов, но в базальтах разрастающихся океанических хребтов его нет. Геохимики утверждают, что вулканические породы складчатых зон получают этот изотоп из поддвигающейся пластины, которая захватила с собой вниз осадки, содержавшие  $^{10}\text{Be}$ , тогда как базальты разрастающихся хребтов, поступающие непосредственно из первородной мантии, не имеют такого источника изотопов. Это убедительное доказательство того, что вулканические породы в соответствующих орогенах по крайней мере частично образовались из осадков, но это не доказывает субдукции. Включение материала осадочных пород в рождающиеся лавы гораздо более определенно проявляется в орогенических процессах расширяющейся Земли, которые рассмотрены в гл. 18, чем в субдукционной модели. В последней пелагические осадки имеют малую мощность и накапливаются медленно, объем осадков, подвергающихся субдукции, должен быть небольшим, и время, необходимое для того, чтобы погружающаяся пластина достигла глубины плавления, велико по сравнению с периодом полураспада этого изотопа бериллия. Напротив, в рас-

ширяющемся орогене в процесс вовлечена вся многокилометровая толща эвгеосинклинальных осадков, и промежутки времени между отложением осадка, магматической ассимиляцией и вулканическим извержением гораздо короче. Совсем не подтверждая гипотезу субдукции, аномалия бериллия-10 служит доводом в пользу расширения Земли.

Крайний случай представляет собой интерпретация так называемых голубых сланцев. Это метаморфические породы, содержащие голубой амфибол глаукофан наряду с другими минералами, такими, как лавсонит, арагонит и вездесущий кварц. Встречаются они обычно у внешнего края орогена, ближе всего к желобу. Лабораторные эксперименты позволили получить эту минеральную ассоциацию в условиях относительно низкой температуры и очень высокого всестороннего давления. Чтобы достичь таких условий, теория субдукции затягивает осадки глубоководного желоба вниз до огромных глубин и затем выносит их назад, заставляя перемещаться на десятки километров *в направлении, противоположном движению* самой холодной части соседней с ними погружающейся пластины! Если я обнаруживаю эрратический валун на краю ледника, я точно знаю, что он поступил из ледника, расположенного выше. Его никак не могло принести *снизу*. И голубые сланцы не могли подняться на несколько десятков километров против движения погружающейся пластины. Кроме того, эта сравнительно низкотемпературная часть литосферы обладает в миллион раз большей вязкостью, чем глетчерный лед, что увеличивает нелепость этого довода.

Сторонники тектоники плит попали в это нелепое положение из-за своей субдукционной модели, а также из-за ошибочной интерпретации результатов лабораторных экспериментов, на которых основывались выводы об условиях кристаллизации голубых сланцев. В этих экспериментах использовались *статическое* всестороннее давление и изменяющаяся температура. Но голубые сланцы — это *сланцы*. Само название подразумевает не статическое всестороннее давление, при котором разность напряжений равна нулю, а очень большую разность напряжений, т. е. очень высокое давление в одном направлении, но гораздо меньшее давление в направлении, перпендикулярном максимальному, так что породы текут в этом направлении и кристаллизуются в виде сланцев.

При высоком всестороннем давлении (когда отсутствует разность напряжений) образуются гранулиты, тектонически-изотропные мраморы и кварциты с типичными для этой обстановки минералами, такими, как гранаты, пироксены, кальцит и кварц. Та же самая порода в условиях большой разности напряжений перекристаллизуется в виде гнейсов или кристалли-

ческих сланцев, состоящих из характерных сланцевых минералов, которые отличаются от тех, что слагают гранулиты. «Сланцевые» минералы, такие, как слюды, амфиболы, арагонит, обладают большей плотностью в одном направлении, чем в другом. В лабораторном эксперименте для получения минеральной ассоциации голубых сланцев использовалось очень высокое давление при низкой температуре, но это *не та* обстановка, в которой действительно формируются голубые сланцы. На самом деле они образуются в условиях относительно низкой температуры, но очень высокой разности напряжений, для чего не обязательно их глубокое захоронение. Зато это в точности те условия, которые, согласно теории расширения Земли, создаются в диапировом орогене по направлению внутрь от зоны Бенъоффа. Движение там все время направлено вверх, так что не приходится прибегать к абсурдному утверждению, что эти породы выносятся вверх против течения.

## Другие планеты

Я согласен с тем, что если для расширения Земли нужна какая-то космологическая причина, она должна действовать во всей Вселенной. Но было бы наивно предполагать, что все космические тела находятся в одной и той же фазе или на одинаковой стадии развития. Поверхность Земли сейчас характеризуется бимодальностью: она состоит из материков и крупных океанических впадин. Но эта обстановка возникла только в мезозое, т. е. существует лишь на протяжении последней сороковой части известной геологической истории (см. рис. 101 в гл. 22). В раннем протерозое Земля, вероятно, была очень похожа на современный Марс с огромной рифтовой зоной, протягивающейся на половину экватора. Еще раньше она, вероятно, выглядела, как сейчас Меркурий, покрытый множеством кратеров, но с полигональной системой трещин растяжения, которые пересекают более древние кратеры.

Полигональная система трещин на Меркурии интерпретируется как система структур сжатия на основании того, что поверхности трещин кажутся наклоненными под приподнятое крыло. Я не уверен, что предполагаемое нависание существует на самом деле, потому что при физических свойствах известных горных пород их прочность не позволила бы им выдерживать вес козырька, который виден со спутника, находящегося на расстоянии многих тысяч километров. Я изучил хорошие отпечатки этих фотографий, пытаюсь найти отклонение линий разрывов на склонах кратеров — без всякого предвзятого мнения о направлении падения этих разрывов. Однако если сместитель



действительно наклонен в сторону приподнятого крыла, то этого как раз и следовало бы ожидать при таком масштабе развития вертикальных трещин растяжения, так как поднимающийся блок расплзается под действием собственного веса. Еще раньше Земля могла напоминать Луну. В будущем она может выглядеть, как Нептун, а еще позже — как Юпитер.

Сравнивая расширяющуюся Землю с другими телами Солнечной системы, наивно было бы полагать, что процесс эволюции планет происходит без каких-либо физических порогов. Рассмотрим простую аналогию: состояние воды на трех планетах типа нашей Земли. На одной вся вода находится в форме льда, на второй (почти как на Земле) — в виде жидкости, а на третьей (больше всего похожей на Венеру) вся вода испарилась и перешла в атмосферу. Изменение от первого типа до второго и от второго до третьего должно было произойти сразу же, как только температура достигнет критических пороговых значений. Подобные пороги могут существовать и в эволюции планет. В гл. 23 я покажу, что расширение Земли происходило с самого начала, но в первые 3,7 млрд. лет известного геологического времени шло очень медленно, и еще 100 млн. лет назад радиус Земли составлял всего лишь 60% от современного. Затем был достигнут некоторый порог, и расширение с тех пор стало очень быстрым. Если это будет продолжаться, то Земля должна быстро развиться до состояния, больше похожего на Нептун, и присоединиться к семейству планет-гигантов. В этом семействе Юпитер, по-видимому, достиг уже другого порога на пути эволюции к состоянию звезды и может вскоре стать средней звездой, что будет означать переход в новое устойчивое состояние. С самого начала размышлений о Земле и Вселенной человек без всяких оснований предполагал, что вся материя, которая *есть*, всегда *была* и всегда *будет*: что Солнце, Луна и планеты — это постоянные, неизменяющиеся сущности. Но некоторые мыслители сейчас подвергают эту аксиому сомнению и на место неподвижности (скажем, состояний желудя и дуба) ставят процесс (превращение желудя в дуб). (См. гл. 24.)

Оси всех планет наклонены к плоскости эклиптики под разными углами. В своей книге 1976 г. я доказал, что наклон земной оси к эклиптике — это наиболее важная геологическая переменная, обусловленная асимметричным расширением. Большое красное пятно на Юпитере также имеет вид выпуклости или восходящего потока конвективной ячейки, определенно асимметричной по долготе.

На Земле, например, в течение раннего мезозоя огромная площадь Пангеи вызвала образование вздутия перегретой мантии, что привело к частичному плавлению в верхней мантии и образовало огромные объемы толеитовой магмы, которая под-

нялась в виде долеритов и базальтов, покрыв всю южную часть Африки, большую часть Южной Америки, Антарктиду, Индию и Тасманию. Изотермы во всех этих областях должны были располагаться на меньших глубинах, чем где-либо еще, и, следовательно, фазовые переходы с образованием пород меньшей плотности должны были происходить очень глубоко в пределах мантии. Гравитационное равновесие требует, чтобы каждый радиальный сектор Земли имел одинаковый вес, поэтому весь этот обширный регион должен был подняться на высоту значительно больше средней, что в свою очередь вносило бы больший вклад в момент инерции. Этот выступ должен был вызвать колебание земной оси, и по мере того как породы верхней мантии медленно перетекали к нему, земная ось должна была смещаться до тех пор, пока вращение не стало происходить вокруг оси максимального момента инерции. Мантийное вздутие должно было, кроме того, больше притягиваться Солнцем и Луной, что создавало дополнительный внешний момент сил.

Далее, разрастание океанического дна в третичное время не было симметричным, и это в свою очередь должно было вызвать дальнейшие колебания, миграцию оси вращения и изменение ее наклона. Прецессия зависит от наклона оси, а поскольку вращательное вздутие жидкого ядра меньше, чем на земной поверхности, ядро прецессировало бы с меньшей скоростью, если бы у него была такая возможность, и, как нам известно из магнитных наблюдений, ядро действительно слегка отстает в своем вращении и вместе с геомагнитным полем медленно смещается из-за этого в западном направлении. Возникающее в результате внутреннее трение медленно уменьшает наклон оси. Итак, наклон земной оси время от времени возрастал в результате возмущений, вызванных асимметричным расширением, и постепенно уменьшался из-за внутреннего трения.

Я выдвигаю идею о том, что наклон осей вращения планет отображает асимметричное расширение этих тел. Вздутия фигуры Луны на стороне, обращенной к Земле, и располагающиеся на этой же стороне крупные впадины «морей» — факт, до сих пор не объясненный. Поскольку фигура Луны определяется в условиях изостатического равновесия ее собственным тяготением, это означает, что сторона, обращенная к Земле, состоит из вещества с меньшей плотностью. Отсюда возник и другой вопрос: а не являются ли морские равнины в противоположность ударным кратерам расширяющимися крикогенами (см. гл. 18)? По мере того как скорость вращения Луны уменьшалась за счет приливного трения и вращение ее вокруг оси становилось синхронным с обращением вокруг Земли, земное притяжение должно было обеспечивать то состояние, когда «вздутая» сторона Луны постоянно обращена к Земле.

## ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ОРОГЕНЕЗ

### 15

#### Сила тяжести правит Землей

Теперь уже достигнута та стадия накопления знаний, когда можно обратиться к основному различию между концепциями тектоники плит и расширяющейся Земли — к природе процесса, который порождает складчатые горные пояса и называется орогенезом (от греческих слов *ὄρος* — горы и *γενεσις* — происхождение).

Согласно концепции тектоники плит, орогенез вызывается горизонтальным сжатием там, где плиты сталкиваются и раздавливают находящийся между ними материал, в результате чего образуется смятый в складки и нарушенный надвигами комплекс пород. Движение литосферной пластины направлено вниз (рис. 24), так как в мантии под ней располагается нисходящая ветвь конвективного потока; как полагают, этот поток и создает движущую силу данного процесса. Но сама орогенная зона воздымается на многие километры.

Концепция расширяющейся Земли представляет собой антитезу — имеется в виду дивергенция, а не конвергенция блоков коры. Орогенная зона — это та зона, где концентрируется растяжение, не только в коре, но и глубоко в мантии, и даже если поверхность сначала испытывает погружение из-за того, что кора растягивается и становится тоньше, движение в корнях орогена направлено вверх на всех стадиях, и это направление не меняется в течение сотен миллионов лет после того, как горы на поверхности будут разрушены эрозией. Орогенные зоны, подобно раздвигающимся океаническим хребтам, представляют собой зоны, где происходит расширение; действительно, там, где степень растяжения в мантии под орогеном становится достаточно большой, он превращается в зону разрастания океанического дна.

В английских учебниках орогенез обычно объясняется сокращением и сжатием коры, так что механизм, который я пред-

ложу, хотя и далеко не нов, вряд ли будет знаком большинству читателей. Следовательно, я должен вернуться к началу и показать, как возникли эти две противоположные концепции, а затем, в следующих четырех главах, описать, начиная с основополагающих принципов, процесс вертикального орогенеза на расширяющейся Земле. В конечном счете сила тяжести правит на Земле, и все тектонические процессы приводятся в действие ею, восстанавливая гравитационное равновесие там, где оно было нарушено вследствие разницы температур, различной нагрузки за счет образования ледников или лав, эрозии возвышенностей либо накопления осадков в депрессиях или по какой-то иной причине.

Когда в 1960-х годах основы догмы были потрясены тем, что вегенеровская концепция об огромных относительных перемещениях материков все-таки справедлива, то несчастьем для геологии стала вера англоязычного мира в то, что орогенез по существу является процессом сжатия. От союза только что признанного разрастания океанического дна с этой логически неоправданной верой родилась ложная концепция субдукции. Ловушка была в том, что огромная часть смятых в складки и нарушенных разрывами слоев, закартированных геологами в поле, действительно подвергалась существенному горизонтальному сжатию на всей изученной площади и на всю глубину построенных ими разрезов. Но это реальное сокращение размеров в масштабе района полевых работ, как я покажу, является побочным следствием *вертикального движения в условиях первичного растяжения* в глобальном масштабе. Поэтому выяснение того, что истинная причина разрастания дна океанов — расширение Земли, задержалось на целое поколение. Следовательно, необходимо вернуться к самому началу и критически пересмотреть, что же в действительности представляют собой складчатость, формирование надвигов и горообразование.

## Вертикально или горизонтально?

В 1815 г. Джеймс Холл на заседании эдинбургского Королевского общества сделал доклад «О вертикальном положении и изгибах некоторых слоев и их соотношении с границом». Он сжал с двух сторон стопку бумаги, а также модели из глины так, чтобы получились складки и изгибы небольшого размера, похожие на крупные складки, которые он наблюдал в слоях горных пород, и сделал вывод, что действовавшее по горизонтали боковое давление сжало и смяло слои в складки. В 1852 г. блестящий французский геолог Эли де Бомон (1798—1874)

опубликовал трехтомный труд о происхождении горных систем, в котором он объяснял складчатость горных цепей сжатием (контракцией) Земли по мере ее остывания. Эта гипотеза, вскоре ставшая известной как теория контракции, сделалась общепризнанной догмой на следующие сто лет. С этой исходной точки при сильной поддержке проф. Джеймса Дуайта Дэна (1813—1895) из Йельского университета и проф. Бейли Уиллиса из Станфорда в первой четверти нынешнего века сложилось убеждение, что складчатость вообще и особенно крупные складчатые пояса, надвигообразование в толщах слоистых пород, а также воздымание, характерное для горных хребтов типа Альп, Аппалачей и Гималаев, были результатом горизонтального сжатия земной коры.

Между тем в Европе одновременно с гипотезой Холла возникла альтернативная идея о том, что первопричиной складчатости и орогенеза были вертикальные нарушения гравитационного равновесия. Хотя она никогда не была общепризнанной, эту концепцию как точку зрения меньшинства с того времени упорно отстаивали главным образом читающие по-немецки геологи наряду со значительной группой итальянских исследователей, а после второй мировой войны усиленно развивали в России. Пионерами вертикальной тектоники были Жилле-Ломон (в 1799 г.), Скруп (1825), Шардт (1823), Кун (1836), Науманн (1849), Гершель (1856) и Бомбиччи (1882). Все они полагали, что первичное воздымание было вызвано действующей по вертикали силой тяжести и что смятие слоев в складки обусловлено сжатием, вызванным направленным вниз по склону давлением соскальзывающих толщ без какого-либо сокращения подстилающего корового фундамента.

Рейер (в книгах 1888, 1892 и 1894 гг.) расширил эту концепцию, предположив, что складкообразование непосредственно вызывается гравитационным поднятием, а вторичные складки создаются давлением, обусловленным расширением зоны, испытавшей воздымание. Он подкрепил свои выводы экспериментальными моделями, на которых установил, что для того, чтобы добиться точного соответствия между поведением очень крупных тел (например, горного пояса) на протяжении очень длительного времени и маленькой лабораторной модели в течение нескольких часов, нужно ввести определенные изменения в деформационные свойства материалов модели. Много позже экспериментальные методы Рейера были развиты В. В. Белоусовым в СССР и Гансом Рамбергом в Швеции, добившимися впечатляющих результатов.

В 1898 г. Шардт привлек гравитационную тектонику для объяснения структур, развитых на северных склонах Швейцарских Альп, а ряд итальянских геологов использовал ее при

исследовании обнаруженных в Апеннинах крупных перемещений пород вниз по склонам; среди этих геологов были Бонарелли (1901 г.), Анелли (1923 и 1935 гг.) и Синьорини (1936 г.). В 1943 г. Даль Пьяц дал обзор этих работ в докладе, прочитанном перед Академией наук Турина.

Проф. К. Э. Вегманн, который был преемником Эмиля Аргана в Невшателе, применил к горным хребтам механизм формирования соляных диапиров (соляных тел, которые, имея меньшую плотность, чем окружающие породы, перемещались вверх в результате действия силы тяжести в виде столбов диаметром в километр или более, протыкая вышележащие пласты). В Германии более фундаментальный подход, который предложил Рейер, был развит Штейнманном и особенно Хаарманном, чья теория «осцилляций» вдохновила Р. ван Беммелена, нидерландца из Батавии (Джакарты), на создание его «ундационной» (т. е. «волновой») теории, опубликованной в серии статей в течение 1930-х годов и затем после второй мировой войны. Согласно ван Беммелену, сила тяжести в конечном счете была причиной всех деформаций горных пород и действовала во всех масштабах от сравнительно небольших локальных поднятий до «мегаундаций» размером с материк, вызывая в свою очередь горизонтальные перемещения подобных же рангов, при которых восстанавливалось гравитационное равновесие.

В 1950—60-х годах экспериментальные методы Рейера развивали две независимые школы. Советская школа под руководством В. В. Белоусова моделировала в широком диапазоне размеров складчатые и разрывные структуры, следя за тем, чтобы деформационные свойства используемых в экспериментах материалов соответствовали ограничениям, налагаемым небольшим масштабом и коротким временем эксперимента, так что характер движений в этих моделях действительно отражал поведение реальных геологических объектов. Как и другие исследователи до него, В. В. Белоусов сделал вывод, что обусловленное силой тяжести вертикальное перемещение было основной причиной складкообразования, а горизонтальное сокращение смятой в складки зоны было вторичным явлением, не связанным с сокращением всей коры. В то же самое время Ганс Рамберг в Уппсале для уменьшения продолжительности эксперимента использовал центрифугу, увеличив «гравитационную силу» в своих моделях в 50 раз, и таким образом добился соответствия между крупными и мелкими (экспериментальными) структурами. Полученные им результаты полностью совпали с результатами В. В. Белоусова, и он пришел к выводу, что крупные складчатые горные пояса, такие, как Альпы и Каледониды, представляли собой огромные диапиры, выдвинутые вверх под воздействием силы тяжести.

Экспериментальные и теоретические исследования Рейера, ван Беммелена, Белоусова и Рамберга свидетельствуют о преобладающей роли силы тяжести в орогенезе. Действительно, чем крупнее масштаб, тем короче время, необходимое для того, чтобы произошла релаксация разности напряжений за счет течения. Поскольку вокруг Земли обращается Луна, земному притяжению ее собственных верхних слоев частично противодействует притяжение Луны, так что возникает приливное вздутие в твердой Земле, которое следует за движением Луны. Это упругая деформация, но если длительность воздействия нагрузки превышает год, то начинает проявляться постоянное пластическое течение, а через тысячелетия деформация становится полностью пластической, как если бы твердая Земля совсем не обладала прочностью. Форма Земли определяется силой тяжести, и у экватора (где сила тяжести частично компенсируется центробежной силой) радиус примерно на 20 км больше, чем у полюсов (где она равна нулю).

### Изостазия

Когда свинцовый отвес (или спиртовой уровень, который действует таким же образом) помещают вблизи горного хребта, избыточная масса пород над горизонтом немного отклоняет отвес от того положения, в котором он находился бы, если бы около него не было гор, а при высокоточной съемке топограф должен вводить поправку, учитывающую это. Когда Джордж Эверест, главный топограф Индии, делал первую триангуляционную съемку страны, он был изумлен, обнаружив, что Гималаи, кажется, не притягивают отвес своей массой. Хотя свинцовый отвес отклонялся по направлению к горам, но лишь на треть того угла, на который он должен был отклоняться, если применить закон всемирного тяготения Ньютона к массе Гималаев, расположенной выше горизонта.

Джордж Эри (1801—1892), королевский астроном в Гринвиче, в кратком сообщении Королевскому обществу в 1855 г. отметил, что самые прочные из известных пород не могут выдержать вес Гималаев, погружаясь под их нагрузкой. Следовательно, Гималаи, как и все горные хребты, должны подстилаться менее плотными породами до глубин в десятки километров, так чтобы горы и подстилающий их фундамент находились в равновесии за счет плавучести, подобно айсбергам, которые выступают над поверхностью моря только на одну седьмую своей толщины или меньше. Менее плотный фундамент Гималаев должен слабее притягивать свинцовый отвес, чем породы, обычно залегающие ниже горизонта, что частич-

но компенсирует избыточное притяжение массы, лежащей выше горизонта. И расчеты Эри совпали с наблюдениями Эвереста.

Результаты Эри привели к формулированию принципа изостазии, согласно которому вся земная кора находится в равновесии, обусловленном плавучестью, и вес пород под каким-то участком земной поверхности должен быть равен весу пород под такой же площадью, расположенной в любом другом месте, как вес корабля или айсберга равен весу вытесненной им воды. Поскольку горные породы прочнее воды, а их «вязкость» гораздо выше, то время, необходимое для заметного изостатического выравнивания, намного больше и нагрузки на небольшой площади благодаря прочности пород могут выдерживаться неопределенно долго. Однако время, с которым мы имеем дело в геологии, очень продолжительно и площади велики, поэтому здесь в большинстве случаев изостазия существенно преобладает. Например, вес ледяных покровов в течение последнего ледникового периода вызвал понижение земной поверхности на сотни метров, и кора медленно возвращалась в прежнее положение после того, как лед растаял; вес воды в существовавшем прежде озере Бонневилл (которое к настоящему времени испарилось, оставив после себя относительно маленькое Большое Соленое озеро в шт. Юта) точно так же заставлял кору погружаться, и образовавшиеся в свое время береговые линии до сих пор поразительно четко видны вокруг бывших островов озера Бонневилл — когда после снятия нагрузки кора возвращалась в прежнее положение, они образовали выпуклый кверху изгиб. Подобно тому как возникшие в результате аккумуляции снега в Антарктиде и центральной части Гренландии массы ледниковых щитов растекались в стороны, под действием силы тяжести должны были расползаться в стороны и массы горных сооружений. Как мы увидим позднее, именно это происходило и происходит в настоящее время.

## Значение масштаба

Вероятно, каждый согласится с тем, что при переходе от геотектоники к астрофизике мы должны остерегаться влияния резкого изменения масштаба на наши умозрительные модели. Тем не менее размеры объектов, изучаемых в глобальной геологии и астрофизике, различаются только на три порядка величины (т. е. в 1000 раз), тогда как *внутри* области деформаций пород, исследуемых структурной геологией и геотектоникой, линейный масштаб объектов варьирует в пределах 15 по-



рядков, т. е. они могут отличаться друг от друга в триллион раз (рис. 45). Интервалы времени здесь находятся в таком же широком диапазоне, как и масштабы пространства (рис. 46); Когда мы перепрыгиваем через такие порядки величины, нас подстерегают ловушки двух видов.

Во-первых, даже небольшое исправление величин может приобрести существенное и даже огромное значение, если линейные размеры или время становятся большими. Например, я счел необходимым ввести дополнительный коэффициент во всемирный закон тяготения Ньютона для космических расстояний (см. гл. 23); именно этот коэффициент в конечном счете и определяет поведение галактик. Там, где параметры включают разные показатели степени при размерах или времени, изменение масштаба влияет на одно свойство больше, чем на другое. Так, прекрасный самолет самой лучшей конструкции не полетит, если его точно скопировать, увеличив размеры вдвое. Вес самолета при этом должен увеличиться в 8 раз, а площадь крыла, которое должно его выдержать, — только в 4 раза. Вдвое больший самолет построить, конечно, можно, но не с точно такими же пропорциями.

С тех пор как двести лет назад Геттон заложил основы петрологии магматических пород, она опиралась на модели неверной шкалы размеров — ученые оперировали понятиями о растворах, макромолекулах, точках плавления, эвтектике, а не о коллоидах. Кубик породы с ребром 1 см<sup>2</sup> имеет площадь поверхности 6 см<sup>2</sup>, но сантиметровый кубик глины имеет площадь поверхности 6000 км<sup>2</sup>, поскольку глинистые частицы имеют плоскую форму и, следовательно, масштаб отличается в сто миллиардов раз! Поверхностная энергия в геосинклинальных осадках настолько велика, что именно она определяет их химические свойства (см. «Спор о граните» в гл. 4).

Во-вторых, может вмешаться некий порог — переход к совершенно иным свойствам. Порогами являются точки плавления и кипения и критическая температура, при которой поверхностное натяжение становится равным нулю и жидкость должна превратиться в газ независимо от давления или размеров заполняемой ею полости. Эта вода в газовой фазе может иметь ту же плотность, что и обычная вода, но не должна обладать никакой капиллярностью, что ограничивает ее способность просачиваться сквозь тончайшие поры. Точно так же предельное напряжение, при котором начинается пластическая деформация (в узком смысле), предел прочности на разрыв, коэффициент чувствительности почв (там, где испытывающий нагрузку слой превращается в жидкую грязь), критическая масса для начала деления атомов, пределы значений давления и температуры для той области, где конкретные минералы перекрис-

Деформация решетки	Микротектоника	Петроструктура	Мелкие структуры	Структурная геология	Тектоника	Астрофизика
Пучки нуклонов	Электронный микроскоп	Оптический микроскоп	Молоток и компас	Региональные геологические карты	Глобальные карты	Телескоп
Атомы	Молекулы	Зерна	Слои	Формации	Орогены, материка	Звезды
Химические связи	Пластичность	Милонит	Хаос			
Упругость	Глина трения	Брекчия				
Вязкость	Дислокация	Очковая структура	Будины			
			«Закрученные» гранаты	Мелкие складки	Складки	Ороклины
	Нитевидные кристаллы		Оползание грунта	Оползни	Тектонические покровы	
			Мелкие сдвиги	Сдвиги	Мегасдвиги	
	Ударное течение	Трещины	Расщелины	Грабены	Ромбохазмы	
			Магматические трубки	Некк	Штоки	Рифтовые долины
			Жилы Дайки		Батолиты	
Атомы	Атомы	Алевролит	Гравий	Галька	Валуны	Диаметр Солнца
	Глина	Песок	Гранулы			Диаметр Земли
	Высота шага между плоскостями скольжения	Интервал между группами плоскостей скольжения				Толщина мантии
	Ширина шага между плоскостями скольжения					Диаметр континентальной коры
						Мощность океанической коры
						Мощность континентальной коры

Рис. 45. Размеры тел и структур, вовлеченных в геологические процессы, изменяются от стомиллионных долей метра до сотен миллионов метров. У нижнего конца этого диапазона значение силы тяжести совершенно ничтожно, но у его верхнего конца это единственная важная сила. Ядерные и межатомные силы (в том числе упругость, вязкость, пластичность, прочность) правят на нижнем конце этого диапазона, но не оказывают никакого влияния на верхнем конце. Кроме того, области различных свойств разделяются порогами прочности, состояния вещества (твердого, жидкого или газообразного), течения (ламинарного или турбулентного), конвекции и магнитогидродинамики.

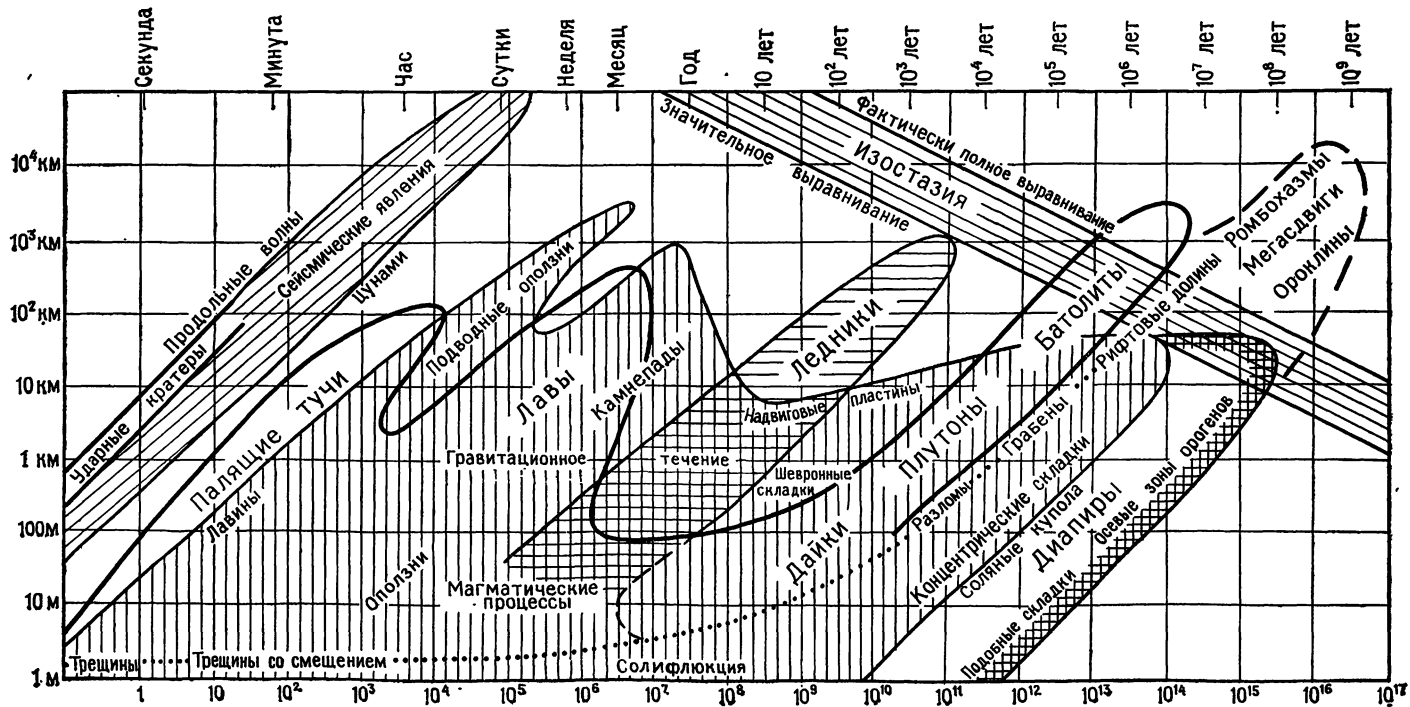


Рис. 46. Временные масштабы геологических явлений, от десятой доли секунды до продолжительности существования Земли, в сопоставлении с диапазоном изменения их размеров — от обнажений в поле до планеты в целом. Обсуждение см. в тексте. (Эти схемы и их объяснение, которые я разработал уже давно для своих лекций, впервые были опубликованы в моей статье в «Journal of the Geological Society of India» в 1962 г.)

таллизуются, переходя в более плотные фазы, или где одна минеральная ассоциация превращается в другую, с иными физическими свойствами, а также безразмерные числа, которые определяют переход от ламинарного течения к турбулентному или от теплопроводности к конвективной циркуляции либо характеризуют магнитогидродинамические явления — все это пороги, определяющие переход к совершенно иному поведению.

Поучительный пример прерывистого изменения в поведении жидкости по мере увеличения масштаба дает переход от ламинарного течения, где все частицы следуют параллельным кинематическим линиям, к турбулентному, где формируются вихри. (Еще один порог встречается в движении газов.) Осборн Рейнольдс в 1833 г. показал, что порог турбулентности зависит от отношения  $vl/\nu$ , где  $v$  — скорость течения,  $l$  — расстояние до стенки и  $\nu$  — кинематическая вязкость жидкости, но физическая причина этого соотношения не была понятна до тех пор, пока 30 лет назад я не вывел его из основных понятий. (Я привел это объяснение в своей книге 1976 г. на с. 102.)

Пятнадцать порядков величины в диапазоне размеров геологических явлений соответствует увеличению шкалы массы и объема до  $10^{45}$  — числа, слишком большого и неудобного, поэтому не удивительно, что в результате перехода от мысленных моделей, основанных на данных полевой геологии, к глобальным явлениям возникали наивные концепции. Опасности уменьшаются, но остаются реальными, если мы всякий раз будем ограничиваться в своих размышлениях только тремя порядками величины (рис. 46).

Областью наименьших размеров является механика горных пород, где масштабы колеблются в диапазоне от 0,1 нм ( $1\text{\AA}$ ) до 10 мкм; здесь мы сталкиваемся с различными статическими и кинематическими идеями о напряжении, деформации и прочности, с понятиями упругости, вязкости, пластичности и течения, с силами, действующими между поверхностями скольжения в кристаллах, с деформациями одиночных кристаллов и поликристаллических агрегатов. Мы проводим исследования с помощью теоретического анализа и индуктивного метода, и глазом нам служит электронный микроскоп.

Следующая область — петроструктуры размером от 10 мкм до 1 см, и поле нашей деятельности — исследования с помощью оптического микроскопа. Здесь мы имеем дело с отдельными минеральными зёрнами, слагающими горные породы, а не с соотношениями между породами и, следовательно, изучаем структуры и текстуры, сланцеватость, листоватость, линейность, очковость, милониты, жильные глинки и трещины. К этой же области исследований относятся интерстициальные флюиды, давление просачивания и сети течения, консолидация

осадков, поведение почв и явления промерзания водонасыщенных материалов.

В геологии обнажений — масштабы от 1 см до 10 м — мы имеем дело со всем тем, что можно увидеть в одном выходе горных пород на поверхность. Наши инструменты — молоток, компас, угломер, рулетка, лупа и фотоаппарат. Милониты и глинки трения петроструктур сменяются здесь брекчиями и меланжами, а вместо минеральных зерен мы имеем хаотические обломки пород. Мы изучаем категории, повторяемость и ассоциации слоев, их падения и простирания и положение в структуре, их окончания у разрывов и контакты с интрузиями, второстепенные складки в них и следы волочения; мы проводим сравнительный анализ магматических и метаморфических пород. Мы абстрагируем результаты исследований петроструктурного масштаба и интегрируем их здесь с точки зрения деформационных структур горных пород.

Размеры объектов структурной геологии в узком смысле — от 10 м до 10 км; их можно изучать только посредством синтеза на региональных геологических картах и профилях. Выводы из наших наблюдений на обнажениях абстрагируются и изображаются на этих картах символами, а по ним уже выделяются региональные структуры. Здесь мы имеем дело со складками, разломами, тектоническими покровами, грабенами и плутонами. Деформированными элементами являются не породы или слои, а стратиграфические формации.

В тектонике диапазон размеров — от 10 до 10 000 км, и мы работаем с картами материков или земного шара либо с глобусом. Здесь мы имеем дело со структурами провинций, геосинклиналями, мегасдвигами и крупными тектоническими покровами, перемещенными на многие десятки километров, переходя к структурам в масштабе материков (где деформированным элементом является сам ороген), первичным и вторичным полигонам, ороклинам, сфенохазмам, срединно-океаническим хребтам и рифтовым системам и, наконец, к целым континентам и океанам.

При меньших масштабах относительная величина горизонтальных и вертикальных перемещений почти не ограничена. Даже в структурной геологии складки могут иметь вертикальную деформацию в несколько десятков километров, однако роль силы тяжести возрастает, так как на крупные структуры воздействует их собственный вес. В тектонике же сила тяжести становится доминирующим фактором. Изостатическое равновесие является нормальным состоянием, и отклонения от него вызывают горизонтальные перемещения в направлении восстановления равновесия за короткое с геологической точки зрения время. Немногие структуры могут иметь вертикальные переме-

шения даже на 10 км, ибо в этих случаях скорость расширения по латерали уравнивает направленное вверх течение. Для горизонтальных перемещений ограничение невелико. Встречаются мегасдвиги со смещениями свыше 1000 км, вертикальное же перемещение по крупным разломам не превышает нескольких километров. Развитию крупных изгибов орогена относительно горизонтальных осей препятствует сила тяжести, так как слои обычно сминаются в складки, но часто возникают крупные изгибы в орогенах относительно вертикальных осей — ороклины (как подробно описано в гл. 9).

В тектоническом масштабе все породы текут. Вес, движущая сила, увеличивается пропорционально третьей степени линейного масштаба, но упругое и вязкое сопротивление деформации растет только пропорционально квадрату линейного масштаба. В небольшом масштабе лед — это хрупкое кристаллическое твердое вещество, но ледники текут в соответствии с законами гидродинамики. При изучении глетчерного льда под микроскопом обнаруживаются кристаллические структуры, подобные структурам ковanej стали и сильно деформированных кристаллических сланцев и гнейсов, также возникшие вследствие течения их вещества на значительное расстояние. Внутренняя неоднородность Земли (рассматриваемая в гл. 20), дифференциальные движения ее оболочек и возмущения вращения Земли вокруг оси и обращения вокруг Солнца, которые никак не выражаются в масштабе структурной геологии, имеют контролирующее значение в масштабе тектоники, и это же относится к вековому расширению Земли.

Каждому рангу размеров структур отвечает целый спектр процессов различной продолжительности — от коротких импульсов до вековых явлений, происходящих в течение длительных интервалов геологического времени. На рис. 46 оба масштаба логарифмические. Максимальные размеры и время ограничиваются соответственно размерами и возрастом Земли. Большинство геологических явлений занимает на этом графике области, поднимающиеся вправо под углом  $45^\circ$  и отвечающие различным скоростям течения.

У левого края рисунка находится область (поле) импактных процессов, включающая ударные кратеры и астроблемы (от греч.  $\alpha\sigma\tau\rho\omega\nu$  — звезда и  $\beta\lambda\eta\mu\alpha$  — шрам от брошенного предмета). Во втором случае кинетическая энергия астероида в целом высвобождается за секунды — в результате превращения ударяющего тела и примерно такой же массы вещества Земли в плазму, окруженную зоной испарения вещества, затем зоной плавления. Далее идет зона ударных деформаций минералов, которая в свою очередь обрамляется зоной распыления веще-

ства, где передающееся напряжение все еще превышает прочность материалов, и, наконец, внешняя зона распространения сейсмических волн, содержащая отдельные участки дробления пород, где отраженные волны интерферируют с выходящими волнами, в результате чего возникают напряжения, превышающие прочность пород.

На поле импактных явлений накладывается область сейсмических явлений, где распространяются упругие колебания, затухание которых увеличивается с ростом периода.

За полем сейсмических явлений следуют поля, расположенные в порядке «эффективной вязкости»: сначала палящие тучи (облака раскаленного вулканического материала, выбрасываемого при взрывных извержениях) с эффективной вязкостью  $10^{-3}$  пуаз, турбидные потоки с вязкостью  $10$ — $10^4$  пуаз, затем различные типы оползней и ледники с вязкостью  $10^{13}$  пуаз и далее деформации солей и других осадков с вязкостями в диапазоне  $10^{14}$ — $10^{21}$  пуаз вплоть до верхнего реального предела течения примерно в  $10^{27}$  пуаз — «вязкости» холодных кристаллических пород.

Поле изостатических процессов имеет вид полосы, наклоненной вправо вниз под углом  $30^\circ$ ; это отражает тот факт, что чем шире площадь нагрузки, тем быстрее достигается изостатическое выравнивание (отношение времени к квадрату длины равно  $1:2$ ). Двигаясь вдоль верхней границы поля изостазии и следя за координатами времени и размеров, можно видеть, что нагрузки, воздействующие на фигуру Земли, должны быть полностью изостатически компенсированы за столетие (упругое выравнивание происходит за гораздо более короткое время). За 1000 лет должно произойти полное изостатическое выравнивание нагрузок в таких больших структурах, как океан или крупный материк, и значительное выравнивание нагрузок в областях диаметром 2000 км. Восстановление изостатического равновесия после таяния ледниковых покровов, происшедшего 10 000 лет назад, соответствует этим масштабам. За 100 000 лет должно произойти полное изостатическое выравнивание нагрузок в областях диаметром 2000 км и значительное выравнивание нагрузок в областях диаметром 500 км. За миллион лет в последних должна произойти полная изостатическая компенсация и значительное выравнивание — в областях диаметром 50 км. К этим явлениям я и обращаюсь в данной книге — сила тяжести действительно господствует на Земле.

## 16

## Складкообразование

Складчатость и орогенез в целом почти все англоязычные геологи и часть европейских и русских объясняли компрессионным сокращением коры, предполагая, что смятые в складки слои прежде занимали более обширные площади на поверхности Земли. Детальные исследования геометрии складок показывают, что это не обязательно так. Данная ложная аксиома соединилась с мифом о субдукции, и возникло представление о «коллизонной» тектонике — тектонике столкновения континентальных масс.

Формирование подобных  
и концентрических складок

В левой части рис. 47 показаны *подобные* складки слоев, изображенных внизу. Складчатая форма каждого слоя чрезвычайно похожа на форму слоя, расположенного под ним, и на форму всех других слоев. Слои кажутся растянутыми, и мощность их сильно меняется. Но мощность каждого слоя остается постоянной, если ее измерить вдоль линий течения. Площадь каждого слоя в этом сечении и площадь всей пачки слоев тоже постоянны, так как между каждой парой линий течения мы имеем параллелограмм той же площади, что и соответствующий прямоугольник в первоначальных (недеформированных) слоях. Внизу справа на этом рисунке слои кажутся недеформированными, но пересекающие их белые и черные линии показывают внутреннее строение первоначального блока, изображенного слева, после деформации. В этом случае слои, которые выглядят совсем недеформированными, в действительности были столь же сильно деформированы, как и слои в левой верхней части рисунка, которые кажутся сильно деформированными. Из этой диаграммы ясно, что в складчатости явно проявляется не вся деформация, а лишь ее компонента, поперечная по отношению к слоистости; напротив, деформация, параллельная слоистости, не заметна. Эта скрытая часть деформации может быть даже главной компонентой, так как деформация легче всего происходит вдоль наиболее пластичных слоев, а поперечная к слоистости деформация должна нарушать наименее пластичные слои.



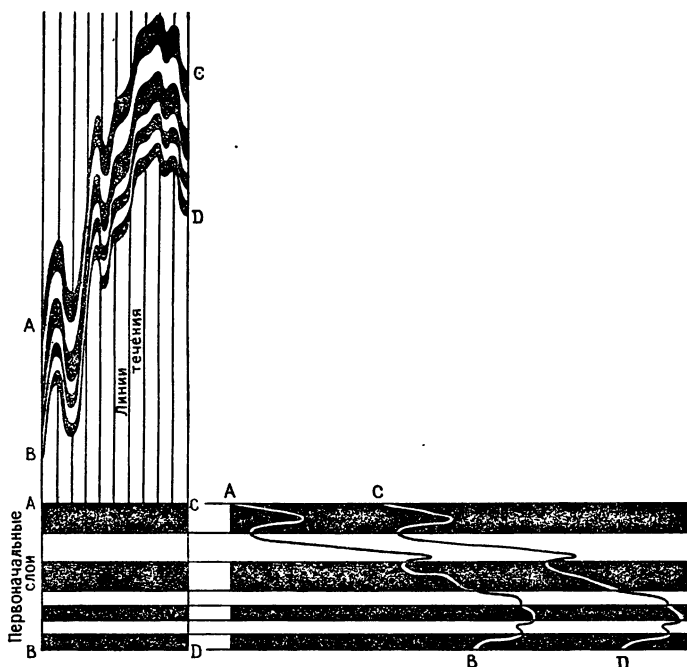


Рис. 47. В подобной складчатости деформационные линии течения располагаются поперек слоистости и мощность слоев, измеренная в направлении течения, постоянна. На нижней правой диаграмме, где изображена точно такая же степень деформации, что и на верхней левой диаграмме, показано, что если течение параллельно слоистости, то слои кажутся недеформированными.

Геологи различают два резко отличных друг от друга типа складчатости — подобную и концентрическую. При *концентрической* складчатости (рис. 48) перпендикулярная слоистости мощность каждого слоя остается постоянной, линия, проведенная под прямым углом к любому слою, располагается также под прямым углом к выше- и нижележащим слоям, а это означает, что поверхности напластования являются взаимно концентрическими.

При образовании подобных складок мощность каждого слоя остается постоянной только в направлении линий течения. Это означает, что все слои имеют одинаковую форму, и если их сдвинуть вдоль линий течения, они должны совпасть. Из-за того, что линии течения параллельны и мощность в этом направлении постоянна, площадь каждого слоя между любой парой линий течения остается постоянной независимо от величины деформации, и то же самое справедливо для общей площади каждого слоя.

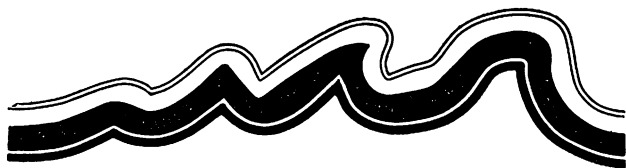


Рис. 48. Концентрическая складчатость. Мощность каждого слоя остается постоянной в направлении, перпендикулярном слоистости. Следовательно, там, где слои искривлены, они имеют «концентрическую» форму.

Эти модели концентрической и подобной складчатости представляют собой крайние случаи, а реальная складчатость обычно находится между ними. При формировании подобных складок характер деформации регулируется исключительно полем напряжений и совсем не зависит от слоистости, как будто материал совершенно однороден, и последовательно расположенные слои закрашены на рисунке в разные цвета только для того, чтобы деформацию было видно. Следовательно, с точки зрения физики это самая простая форма складчатости.

При образовании концентрических складок разница в физических свойствах между слоями столь велика, что почти вся деформация сосредоточена в скольжении по поверхностям, параллельным слоям, а деформация поперек слоистости минимальна. Концентрическая складчатость выглядит простой, а подобная — сложной, но на самом деле все наоборот. Однородные материалы, такие, как каменная соль и глетчерный лед, деформируются с образованием подобных складок. При деформации на небольшой глубине, когда еще сохраняются первоначальные различия между песчаником, алевролитом, конгломератом и известняком, обычно образуются концентрические складки, но при глубоком погружении отложений рост температуры и проникающие поровые флюиды постепенно уменьшают различия в прочности, и складчатость приближается к типу формирования подобных складок, что иллюстрируется последовательным изменением характера складок в ряду глинистые сланцы — аспидные сланцы — кристаллические сланцы и гнейсы.

### Подобная складчатость свидетельствует о течении, а не о статическом сжатии

Когда при подобной складчатости изменяется направление линий течения, образуются очень сложные конфигурации (рис. 49), но даже их довольно просто реконструировать, что я детально показал в своем докладе ежегодному собранию Об-

**Рис. 49.** Эти слои были смяты в складки дважды: в одном и том же направлении, но в разном положении. (а) Слои до складкообразования. (б) Эти же слои после первой фазы складчатости согласно схеме (д). (е). Результат повторной складчатости изображенных на рис. (б) слоев по схеме (з). На рис. (е) показано, что получилось бы, если бы складчатость по схеме (з) предшествовала образованию складок по схеме (д). Обратите внимание на то, что при формировании подобных складок мощность любого слоя никогда не бывает больше, а обычно меньше первоначальной мощности этого слоя.



щества геологов-нефтяников шт. Альберта четверть века назад. Первоначальная мощность слоя была по крайней мере не меньше, чем его *максимальная* мощность, перпендикулярная слоистости, после деформации. Хотя мощности слоев в направлении течения сохраняются постоянными, длина вдоль слоя и площадь его поверхности, как видно из рисунка, могут сильно возрасти. Из-за этого очень большого увеличения площади поверхности любой слой немного более жесткий, чем соседние, растягивается, образуя отдельные линзовидные тела, по форме напоминающие кусочки сливочного масла или сосиски и назы-

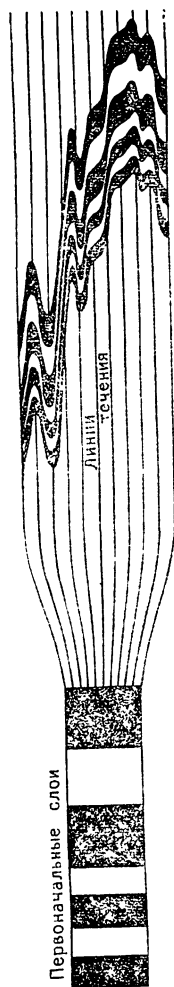


Рис. 50. Сложная складчатость не обязательно указывает на сужение зоны, занятой слоистой толщей. Если линии течения расходятся (как происходит, когда материал выдавливается вверх, в области более низкого давления), смятые в складки слои могут занять более широкую зону, чем до складкообразования. На этой диаграмме ширина удвоилась, но площадь в поперечном разрезе смятых в складки слоев (и их объем, если добавить третье измерение) осталась такой же, как у не смятых в складки слоев на нижнем рисунке. Сложные складки можно рассматривать как серию параллелограммов, каждый из которых имеет вдвое большую ширину между линиями течения и вдвое меньшую мощность вдоль них.

ваемые будинами (от французского слова *boûdin*, означающего «кровяная колбаска»). Очень сложные проявления такой деформации, присутствие будин и то, что слои обычно растянуты до толщины бумажного листа, создают представление об огромном сжатии их, как в тисках, а поскольку такая деформация часто встречается в ядрах складчатых поясов, где повышенные температуры делают прочностные характеристики пород более однородными, укрепилось мнение о том, что такие складчатые пояса образовались в результате интенсивного горизонтального сжатия и сокращения коры.

Но это совершенно неверное мнение. Ни на рис. 47, ни на рис. 49 никакого укорочения не видно. Эти схемы деформации свидетельствуют лишь о сильном *течении* в направлении линий течения, которые совпадают с осевыми поверхностями всех мелких складок и волн, а также с кливажом и линейностью. Если линии течения расходятся в направлении течения (как обычно происходит по направлению вверх в ядрах складчатых поясов), то в этих случаях ширина зоны, подвергавшейся деформации, в действительности *увеличивается*. Чтобы это было понятно, рис. 47 был перечерчен на рис. 50, где видно, что получилась идентичная складчатая структура, хотя горизонтальная ширина удвоилась. Если увеличить вдвое расстояние, разделяющее линии течения, то мощность слоев в направлении течения станет вдвое меньшей. Площадь каждого деформированного слоя на разрезе, показанном в верхней части этого рисунка, в точности равна площади изображенного внизу того же слоя в недеформированном состоянии.

## Концентрическая складчатость подразумевает срыв на глубине

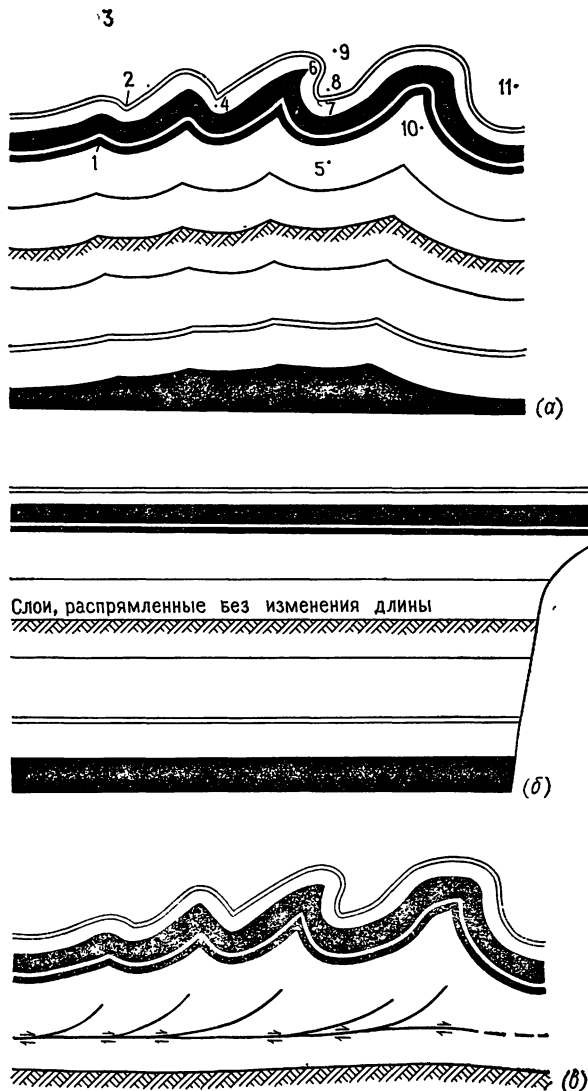
Изображенные на рис. 48 концентрические складки на рис. 51 продолжены вниз; при этом точно соблюдено правило, что мощность каждого слоя повсюду сохраняется. Этот рисунок иллюстрирует три важных правила, которым подчиняются концентрические складки: 1) все концентрические складки затухают с глубиной; 2) подстилающий их фундамент не испытывает сокращения; 3) длина слоя в пределах одной складки или серии складок остается постоянной, пока центры кривизны находятся вне разреза, но становится значительно короче по мере того, как на него попадает каждый центр кривизны (они обозначены цифрами). Соответственно этому все концентрические складки подстилаются «деколлементом», т. е. пологой поверхностью срыва (франц. *décollement* — букв. отклеивание).

Срыв может представлять собой единую поверхность, как на рис. 51, где она приурочена к ослабленному слою, или он может распределяться между несколькими ослабленными слоями, или в случае переслаивания прочных песчаников и глин все слои глин могут принять на себя некоторую долю общего смещения. В концентрических складках гор Юра срыв происходит в способных к пластическому течению пластах соли. В концентрических складках в шт. Западная Виргиния зона срыва выражена мягким черным глинистым сланцем, залегающим на песчанике Орискани, а южнее, в Провинции Долин и Хребтов, срыв происходит в мягких глинистых сланцах формаций Рома и Конесога среднекембрийского возраста.

Различия подобных и концентрических складок иллюстрирует табл. 3. Это идеальные модели, в которых в случае подобных складок, образующихся при деформации однородного по физическим свойствам материала, слоистость не оказывает никакого сопротивления смещениям под действием некомпенсированных напряжений, а в случае концентрических складок слоистость различна по своим физическим свойствам, что все скольжение происходит параллельно слоистости. Реальные складчатые структуры располагаются между этими крайними случаями. Но ни эти крайние типы складчатости, ни их сочетания не означают непременно сокращения подстилающей коры.

Определения терминов «концентрическая складка» и «подобная складка» дал Ван Хайз в 1896 г.\* Позднее названия

\* Ван Хайз (C. R. van Hise) в работе «Deformation of rocks», Journ. Geol., 4, 1896, предложил термин «параллельная складка»; термин же «концентрическая складка» как синоним последнего был предложен С. К. Лейтсом (C. K. Leith) в книге «Structural geology», rev. ed., London, Constable, 1923, 390 pp. — Прим. перев.



**Рис. 51.** Из-за того что мощность каждого слоя, измеренная под прямым углом к слоистости, остается постоянной, концентрические складки состоят из серии дуг, срывы относительно которых происходят по касательным. На рис. (а) цифрами обозначены центры кривизны этих дуг. Ниже любого такого центра изгибы слоев приобретают гребневидную форму. На рис. (б) показана длина каждого слоя, изображенного на рис. (а). Верхние слои в результате складчатости стали короче, но длина слоев в основании толщи не изменилась. Концентрическая складчатость подразумевает, что внизу находятся пластичные слои (например, соль или мягкие сланцеватые глины), которые позволяют верхним слоям в ходе складкообразования проскальзывать относительно фундамента. На рис. (в) показана такая поверхность срыва.

Таблица 3. Подобные и концентрические складки

Подобные складки	Концентрические складки
Изотропная деформация	Анизотропная деформация
Направление сдвига не связано со слоистостью	Сдвиг параллелен слоистости
Мощность слоев постоянна в направлении течения	Мощность слоев постоянна перпендикулярно слоистости
Длина слоя в пределах складки сильно увеличивается	Длина слоя в пределах складки постоянна
Складка сохраняется неопределенно далеко вниз по осевой поверхности	Складка затухает вниз по осевой поверхности
Никакого срыва внизу не предполагается	Предполагается наличие срыва в основании толщи
Укорочение коры не предполагается	Предполагается сокращение ширины деформируемой толщи, не затрагивающее ее фундамент
Предполагается перемещение вещества кверху в направлении осевой поверхности	Поверхностное перемещение вещества под прямым углом к осевой поверхности

«концентрическая» и «подобная» складки были заменены соответственно терминами «флексурная складка» (*flexure fold*) и «складка сдвига» (*shear fold*), которые стали широко применяться в Америке. Однако поскольку оба типа складок включают сдвиг в сравнимой степени (см. рис. 47) и оба представляют собой флексуры (т. е. изгибы) в общепотребительном смысле, эти названия лучше не использовать, так как соответствующие понятия уже были обозначены другими, более точными терминами и во избежание двусмысленности, поскольку термин «флексура» был предложен в 1876 г. Джоном Уэсли Пауэллом для изгиба между двумя платообразными поверхностями, и вслед за ним в этом смысле его использовали такие выдающиеся авторы руководств по структурной геологии, как Б. Уиллис, С. М. Невин и Е. Ш. Хиллс.

## 17

## Диапиры

Слово «диапир» (от греческих слов  $\delta\acute{\iota}\alpha$  — через и  $\pi\epsilon\acute{\iota}\rho\omega$  — пронзать, протыкать) означает, что материал проникает снизу сквозь вышележащие породы, часто достигая земной поверхности. В этом смысле и вулкан можно считать диапиром, потому что лава и обломки раздробленных пород (называемые туфом) выбрасываются на поверхность. Но слово «диапир» обычно относят к внедрению пластичного или твердого материала, и внедряется он не резко, а медленно, подобно тому как течет ледник.

## Соляные купола

В течение некоторых геологических периодов в результате испарения обширных внутренних морей или морей, водообмен которых с океанами был ограничен, накапливались многокилометровые толщи соли. Позднее соляные отложения были перекрыты другими осадками, образовавшими сланцеватые глины и песчаники. Последовавшее затем внедрение соли лучше всего можно понять, рассматривая и соль, и перекрывающий ее осадок как жидкости с высокой вязкостью и считая, что движущая сила, заставляющая их течь и формировать соляные купола, — это разность в весе толщ, обусловленная различием плотностей между солью и окружающими отложениями. Таким образом, энергия, обеспечивающая внедрение соли, — это гравитационная потенциальная энергия.

Плотность каменной соли равна 2,2 (по отношению к плотности воды) и при упругом сжатии под нагрузкой увеличивается очень мало. Плотность связанных с солью осадков быстро возрастает с ростом глубины залегания от менее 2,0 на поверхности до почти 2,35 на глубине 4000 м (рис. 52). Следовательно, на небольших глубинах соль плотнее осадка, но примерно на уровне 500 м их плотности равны, а на больших глубинах осадок становится постепенно все более плотным, чем соль. Поэтому если слой соли погребен на глубине 4000 м, то его перекрывает 3500-м толща осадков более плотных, чем соль, плюс залегающая выше 500-м пачка менее плотных осадков. Такое состояние является неустойчивым. Оно напоминает ситуацию, когда густой слой нефти перекрыт слоем воды и центр



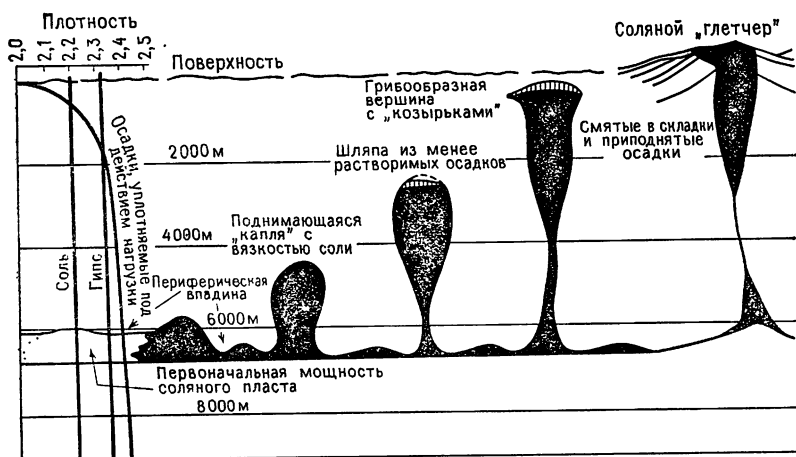


Рис. 52. Кристаллическая соль поднимается сквозь перекрывающие ее более тяжелые песчаники и глины подобно тому, как слой густой нефти поднимается сквозь толщу воды. Шляпа из менее растворимых осадков образуется в результате растворения поднимающейся верхней части диапира подземными водами.

тяжести всей системы понижается по мере медленного подъема нефти в виде капель или столбов сквозь воду.

В точности то же самое происходит и с солью, образующей приблизительно цилиндрические столбы диаметром примерно от 1 до 5—6 км, которые поднимаются вертикально вверх на расстояние до 6 км, внедряясь в вышележащие слои. Около двухсот таких соляных куполов известно на прибрежной равнине Мексиканского залива и у его берегов, более ста — в Эмбинском районе вблизи Каспийского моря и еще множество — в Румынии, Германии, Иране и других районах.

Когда соляные купола достигают глубины около 500 м от поверхности и плотность перекрывающих осадков становится меньше плотности соли, то соль может растекаться в горизонтальном направлении, образуя «шляпку гриба», силлы или «козырьки», так как при сводообразном изгибании более легких осадков производится меньшая работа, чем в том случае, когда соляной столб продолжает подниматься (рис. 52). Однако вес одного столба соли до поверхности все еще уступает весу столба осадков до той же глубины, поэтому еще сохраняется энергия, необходимая для того, чтобы столб соли продолжал двигаться вверх и расширяться в стороны. В известняках, плотность которых значительно выше плотности соли, такой столб может прорваться на поверхность, и поскольку давление соляного столба на квадратный метр меньше, чем известняка, соль

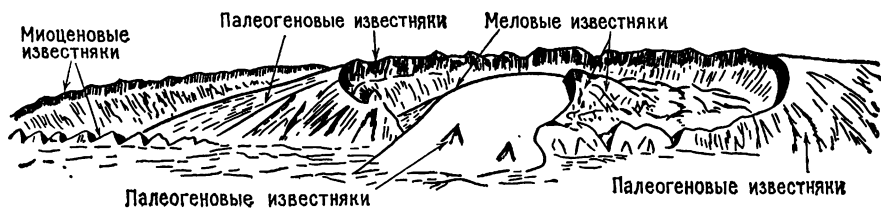


Рис. 53. Соляной «глетчер», экструдирующий из соляного купола Кух-и-Ангуру в Иране (по схематической зарисовке д-ра Дж. М. Лиса).

может продолжать течь вверх до тех пор, пока ее источник у основания столба не иссякнет. При этом соль растекается по поверхности в виде соляного «глетчера» (рис. 53).

Когда кровля зарождающегося купола оказывается на 100 м выше общего уровня соляного пласта, разница в давлении на купол по сравнению с остальным соляным пластом равна примерно  $10 \text{ тс/м}^2$ , но к тому времени, когда купол поднимается на 3000 м, разность давлений между его основанием и окружающим соляным пластом уже превышает  $200 \text{ тс/м}^2$ . Поэтому по мере роста купола скорость его подъема увеличивается и в окружающих и перекрывающих его слоях начинают возникать трещины, но не в самой соли, потому что ее вязкость намного ниже.

Движущаяся верхняя часть купола прорывает последовательно залегающие слои, насыщенные водой, причем некоторые из них обладают высокой проницаемостью. Эти воды постоянно растворяют верхнюю часть поднимающейся соли и оставляют нерастворимые примеси, накапливающиеся в виде «шляпы». На самой вершине находится наименее растворимая примесь — кальцит, ниже него — несколько более растворимый ангидрит с некоторым количеством кальцита, дальше — гипс с добавлением ангидрита и кальцита, а затем — обычная соль с тонкими прослойками гипса и ангидрита и редкими зернами кальцита.

Характер течения в соляном куполе очень похож на течение в конвективной ячейке (рис. 54), циркуляция в которой происходит по такой же причине — благодаря подъему более горячего (и, следовательно, менее плотного) флюида и опусканию более холодного (т. е. более плотного). Выше шляпы соляного купола течение вещества направлено радиально наружу, так что здесь мы обнаруживаем структуры растяжения с радиальными разрывами и рифтовыми трогами (рис. 55). Это радиальное течение добавляется к описанному выше растеканию соли, образуя нависающие и надвинутые структуры, подобные горизонтальным покровам, перекрывающим круто наклоненные

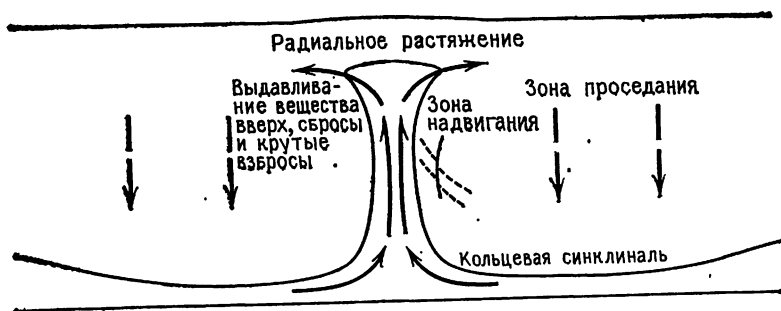


Рис. 54. Торондальный контур движения вещества в соляном куполе обусловлен инверсией плотностей того же типа, что и торондальный контур тепловой конвекции, так что схема движения у них одинакова.

вмещающие слои (рис. 56). Вокруг купола расположена зона проседания, поскольку соль, сначала находившаяся под ней, перетекла в поднимающийся купол. Если мощность пласта соли первоначально равнялась 1000 м, вся соль могла переместиться в купол, и, следовательно, опускание поверхности могло достигать этой величины. Однако обычно соляные купола начинают расти, когда осадконакопление еще продолжается, и окружающая купол впадина имеет тенденцию заполняться в то время, как он растет, так что депрессия на поверхности, как правило, не отражает всей величины опускания. Поэтому образующаяся в результате вокруг купола «кольцевая синклираль» имеет большую глубину в нижней части разреза, чем в верхней. Это направленное вниз течение представляет собой часть циркуляционной схемы «конвективной ячейки», которая заканчивается конвергентным течением соли в сторону купола и далее вверх по столбу.

На рис. 56 показано строение соляного купола Хайде. «Козырек» в правой части рисунка продвинулся более чем на километр в осадки сенонского возраста. Он поднял триасовые осадки с глубины 1000 м или больше, опрокинул их и надвинул на самую верхнюю часть меловых отложений. В горном поясе ортодоксально мыслящие геологи, вероятно, интерпретировали бы такое надвигание перевернутых нижнетриасовых пород на самые молодые меловые отложения как доказательство сжатия коры. Действительно, здесь отмечается локальное горизонтальное сжатие, но оно имеет поверхностный характер и представляет собой вторичный побочный результат развития соляного купола, двигавшегося вертикально под действием силы тяжести. Очевидно, что здесь не происходило никакого сокращения коры.

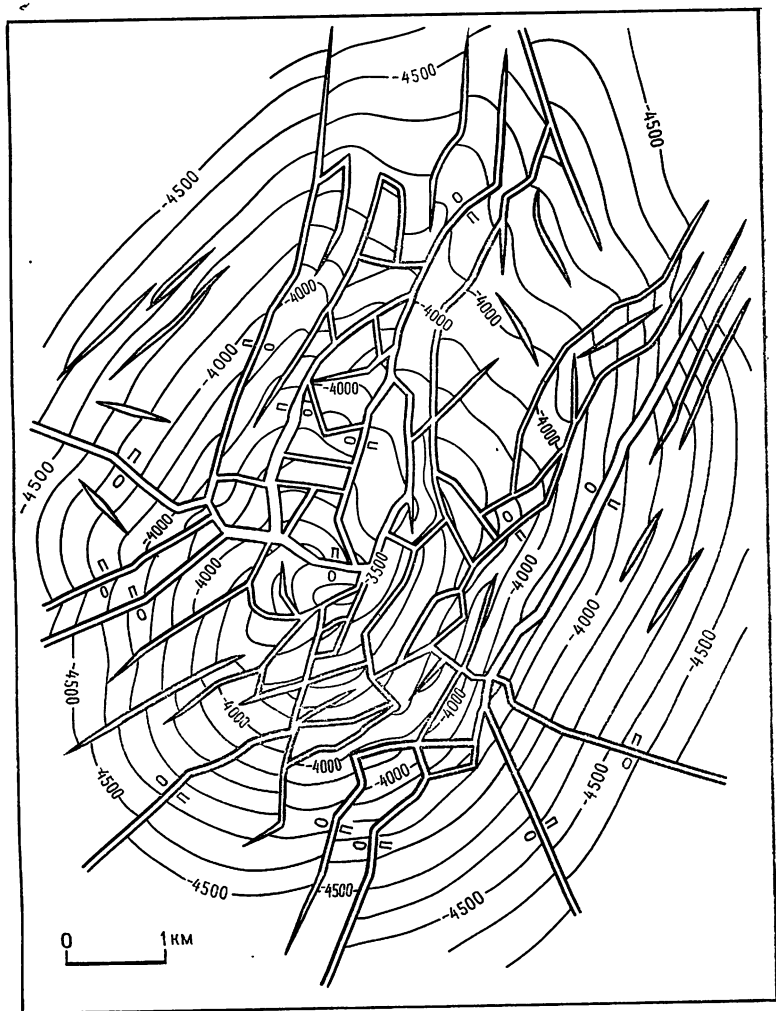


Рис. 55. Образование разрывов под действием радиальных напряжений в слоях над соляным куполом. Тонкие кривые — изолинии глубин, проведенные через 100 футов (30 м) по кровле эоценовой формации Вудбайн, перекрывающей соляной купол Хокинс в шт. Техас. Цифрами указаны глубины ниже земной поверхности; буквами П и О обозначены поднятые и опущенные крылья разломов соответственно. (Из работы Т. Дж. Паркера и Э. Н. Макдоуэлла.)

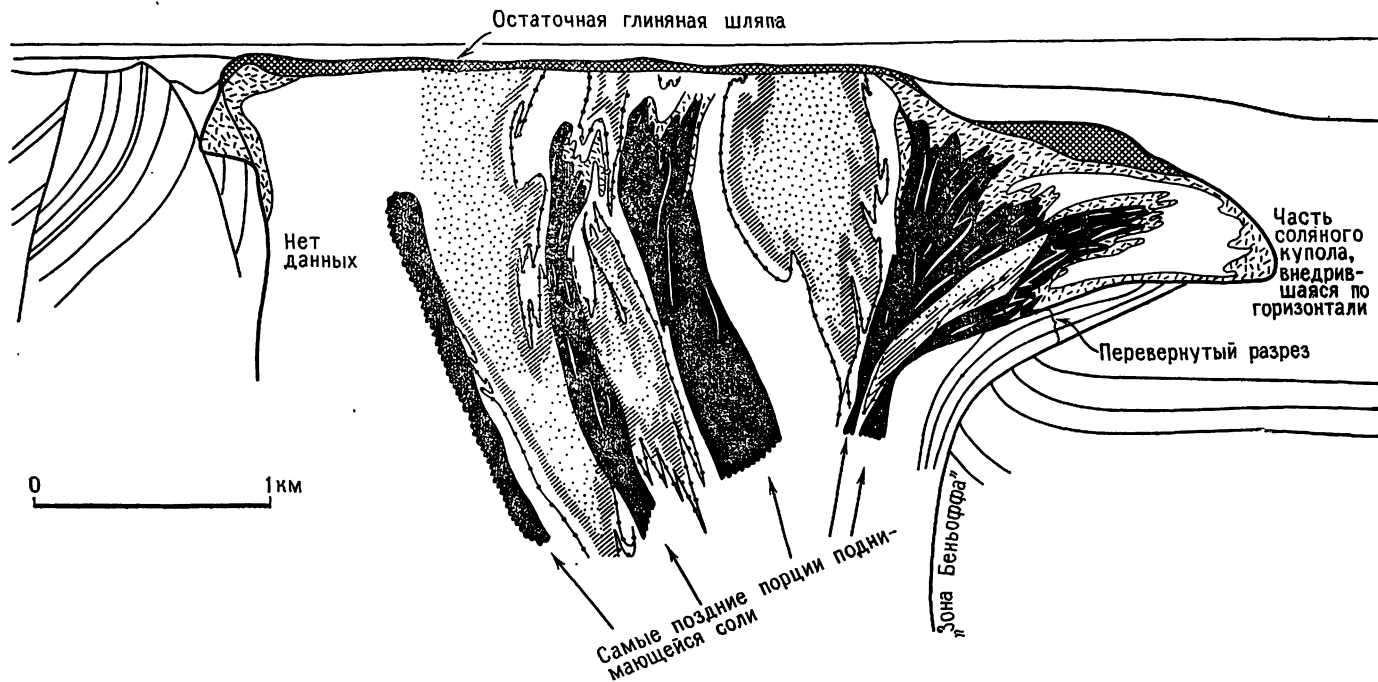


Рис. 56. Внутреннее строение соляного купола Хайде, ФРГ (по данным А Бентца).

Внутреннее строение этого купола хорошо изучено благодаря интенсивной добыче калийных солей шахтным способом. Сначала стала подниматься соль, обозначенная на рисунке беспорядочными штрихами, затем в нее внедрились незаштрихованные на рисунке пласты соли, и наконец соль, показанная черным цветом, прорвала всю соль, поднявшуюся раньше, как зубная паста, если ее выдавливать в мягкую глину. На протяжении всего этого времени все соляные пласты представляли собой крупнокристаллическую метаморфическую породу, причем во время течения каждый кристалл соли искривлялся и перекристаллизовывался множество раз. Эта непрерывная перекристаллизация похожа на ту, которая происходит в движущемся леднике (где лед тоже является метаморфической породой) и в кристаллах железа, когда из стальной заготовки вытягивают проволоку длиной в километры. Точно так же в ядра складчатых поясов инъецируются гнейсы и кристаллические сланцы.

В плане складчатость в соляном куполе чрезвычайно сложна, но в вертикальных стенках едва ли можно увидеть какие-либо складки или изгибы слоев, поскольку течение направлено по вертикали. То же самое наблюдается, если поставить стопкой множество высоких бумажных колпаков так, чтобы получился единый высокий столб. Теперь сожмем их в ряде мест так, чтобы на них образовались вертикальные зазубрины. Разрежем стопку по горизонтали, и у нас будет модель очень сложного в плане соляного купола. Разрежем колпаки по вертикали и получим простую картину колпаков с обрезанными краями, которые уходят вверх параллельными линиями, одна внутри другой. Структурный узор на карте, подобный изображенному на рис. 57, может соответствовать многим участкам в глубоко эродированных ядрах любого древнего орогена. В южной части карты преобладает восточно-северо-восточное направление структур, которое в юго-восточном углу меняется на северо-восточное. В северной части преобладает направление северо-северо-западное. Это явно свидетельствует о том, что данный участок подвергся наложенной (т. е. повторной) складчатости с интенсивным сжатием с северо-северо-запада и северо-востока. На карте, изображенной на рис. 57 справа, в более мелком масштабе представлена обширная область, в центре которой находится показанный слева участок. На ней хорошо прослеживаются эти два простирания, ориентированные почти под прямым углом друг к другу. В северо-восточном углу начинает проявляться северное простирание, которое преобладает на площади, расположенной непосредственно к востоку от этой карты. Падения слоев устойчиво крутые. В плане наблюдается интенсивная мелковолнистая складчатость (плойчатость) са-

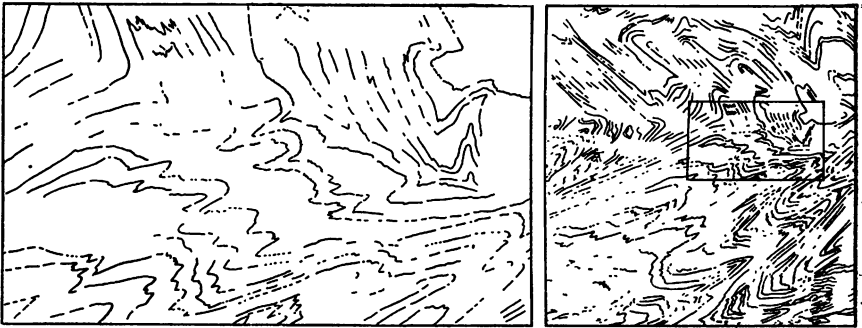


Рис. 57. План складчатости слоев в соляном куполе Гранд-Селайн в шт. Техас. Расположение в регионе большого прямоугольника показано на правом рисунке. Север находится сверху. (По данным проф. У. Р. Мюльбергера.)

мых разных масштабов — от нескольких миллиметров до размеров обнажений. Линии гребней плейчатости и линейная ориентировка минералов мало отличаются от вертикального направления. Это линии течения.

Не сомневаюсь, что если бы на этом рисунке была изображена область развития гнейсов и кристаллических сланцев, мы могли бы заключить, что их в значительной степени переработанные структуры являются результатом интенсивного горизонтального сжатия, происходившего в течение не менее чем трех орогений. Но как мы были бы не правы! Горизонтального сжатия в этой области не было вовсе. Течение было направлено вдоль линейности и осей складок перпендикулярно к плоскости рисунка, а не поперечно к ним в плоскости карты. Изображенная на рис. 57 карта представляет собой часть горизонтального плана шахты в соляном куполе Гранд-Селайн в Техасе, составленного проф. Уильямом Мюльбергером.

### Гнейсовые купола

Купола кристаллических гнейсов, перекрытых кристаллическими сланцами, обычны для орогенических поясов всех возрастов. Они проникают вверх почти так же, как соляные купола, и верхние их части обычно имеют грибообразную форму (рис. 58). В древних горных поясах, таких, как каледониды Норвегии, они так глубоко эродированы, что отчетливо видна форма структур. Однако в последнее время проф. С. Д. Оллиер из Университета Новой Англии и д-р С. Ф. Пейн из Сиднея описали на юго-востоке Папуа группу таких же гнейсовых

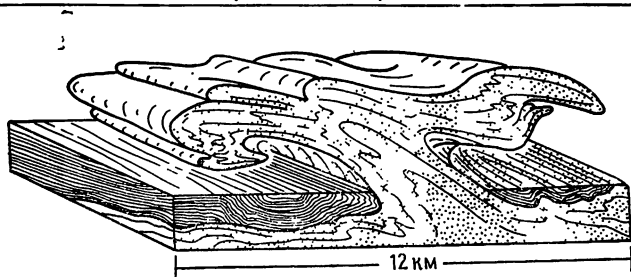


Рис. 58. Реконструкция грибообразного ядра мигматитового диапира в раннепалеозойском (каледонском) орогене Гренландии после удаления перекрывающих слоев эвгеосинклинальных образований. Мигматиты первоначально представляли собой осадочные слои, но в результате проникновения перегретых вод с температурой выше критической были перекристаллизованы с образованием полевых шпатов, кварца и других минералов и превратились в породу, промежуточную между осадочной и гранитом. (По Дж. Холлеру.)

куполов, которые продолжают активно расти и поднялись на несколько километров в недавнее время, раздвинув в стороны окружающие породы (рис. 59). Они имеют высоту 2000—3000 м и поперечник в десятки километров, форма их в плане скорее эллиптическая, чем круговая. Самый лучший пример — остров Гуденаф. (Первоначальный номер рисунка в приводимой ниже цитате заменен на номер 59.)

«Гуденаф — один из наиболее гористых островов в мире: самая высокая его точка превышает 2500 м, хотя размеры острова всего  $35 \times 25$  км, и возвышенная его часть представляет собой рассеченный эрозией купол размерами только  $20 \times 16$  км, обрамленный аллювиальными конусами выноса и вулканической областью на юге. На рис. 59, а приведена гипсометрическая карта острова. Как и на рис. 59, б, на ней выявляется куполообразный характер центральной части острова. Эрозионная сеть груборадialная, крутостенные долины выходят на внешние равнины, и здесь образуются гигантские конусы выноса. Эти долины рассекают поверхность купола, в результате чего остаются треугольные грани слабо расчлененных останцов первоначальной поверхности купола. Они аналогичны треугольным граням первичной поверхности на рассеченном долинами вулкане или утлогообразным граням, выработанным на периклинально залегающих осадочных породах, прорезанных V-образными долинами. Склоны таких граней довольно ровные, с наклоном около  $20^\circ$ . Отдельные грани достигают высоты 2000 м. Обобщенная карта этого купола в горизонталях построена по очертаниям граней, которые легко распознать в поле и на аэрофотоснимках, а также на гипсометрических картах.

Геологически большая часть купола сложена кварц-полевошпатовыми гнейсами с небольшим количеством амфиболитов и обогащенных кальцием гнейсов и мелкими интрузиями гранодиоритов в центре. Все метаморфические породы относятся к амфиболитовой фации. Сланцеватость гнейсов у поверхности купола параллельна ей как внутри купола, так и в обрамляющих его породах. Следовательно, направления простираций основных плоскостей гнейсовидности описывают круги, концентрические по отношению к обнаженной части купола, и почти нет сомнений в том, что между ними существует причинная связь. Вблизи поверхности купола мы обнаруживаем сжатые складки,



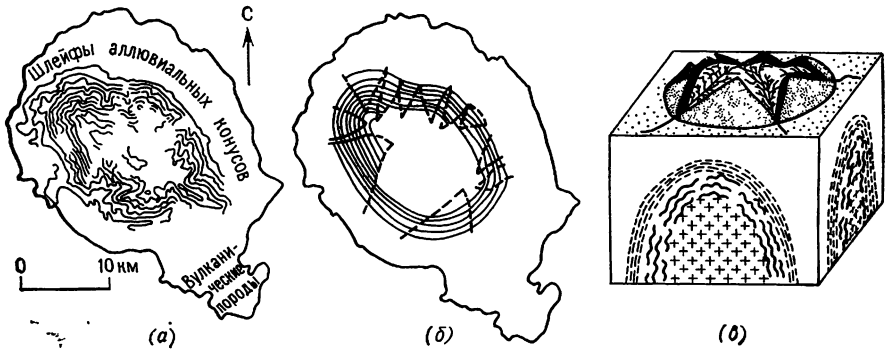


Рис. 59. Куполовидный гнейсовый диапир на о. Гуденаф, все еще продолжающий подниматься (по С. Д. Оллиеру и С. Ф. Пейну).

сдвиги и будинаж, что указывает на весьма значительную деформацию и на то, что гнейсовидность не просто параллельна первоначальному напластованию».

Этот купол, как показано на рис. 59, *в*, был выдвинут под действием залегающего ниже гранита. Как и в описанных выше случаях вытягивания проволоки, течения глетчерного льда и соли куполов, кварц, полевой шпат и другие минералы гнейсов непрерывно перекристаллизовывались в процессе течения интрузии в твердом состоянии.

### Ледниковый аналог

Интересно сравнить характер движения в гнейсовом куполе с характером движения льда в крупном леднике Маласпина на Аляске, выходящем на прибрежную равнину (рис. 60). Ширина ледникового языка примерно такая же, как и купола Гуденаф, и рисунок сланцеватости в куполе похож на структурный рисунок языкообразного выступа ледника.

Кроме того, картина течения в леднике Маласпина напоминает рисунки течения в структурах Альп, но поскольку размеры Альп в пять раз больше, а сила тяжести сильно ограничивает движение вверх, то на рис. 61 для сравнения с характером течения в структурах Альп изображен язык ледника Маласпина, сжатый в три раза по длине. В Альпах существует относительно узкая осевая зона «корней», откуда тектонические покровы круто поднимаются из доорогенного трога. Затем один за другим они изгибаются, выполаживаются и текут к «северо-западу» в виде огромных покровов, большинство ко-

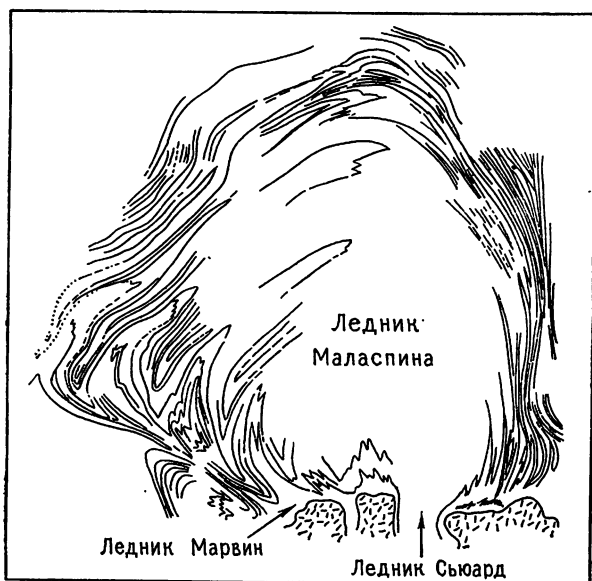


Рис. 60. Там, где ледники Сьюард и Марвин выходят из гор на прибрежную равнину юго-восточной Аляски, они соединяются, образуя ледник Маласпина. На этой карте показана схема течения льда, построенная по моренным грядам. (По Р. П. Шарпу.)

торых надвинуто на тыловые части расположенных впереди них покровов, а некоторые вдвинуты внутрь их тыловых зон. Самые внешние покровные структуры «Предальп» переместились дальше всего. Некоторые языки, но их меньше, развернуты к «юго-востоку».

Хоть и не совпадая в деталях, схема течения ледника Маласпина содержит основные черты Альпийских структур. Правда, ортодоксально мыслящие геологи говорят нам, что в Альпах произошло огромное сокращение коры и что зона надвигов была сжата до  $1/8$  от ее первоначальной ширины. Но мы знаем, что язык ледника Маласпина обладает сходными геометрическими и структурными чертами, хотя он гораздо шире Альпийских покровов! Можно ли сомневаться в том, что покровные структуры Альп могли образоваться в результате выжимания кверху содержимого геосинклинали и его распространения в стороны там, где отсутствовали ограничивающие его упоры? В то время когда этот материал выжимался из бывшего геосинклиналиного трога, борта последнего могли оставаться неподвижными или даже раздвигаться. В таком случае во время формирования Альп кора, вероятно, расширилась.

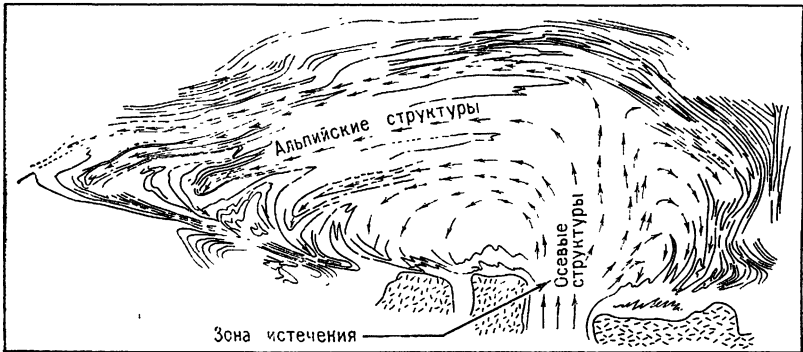


Рис. 61. Схема течения ледника Маласпина показана здесь в виде, сжатом в 3 раза в меридиональном направлении, как если бы течению льда что-то препятствовало. Эта схема имитирует диапир, сжимаемый действием собственного веса. Сравните ее с настоящей схемой строения Альпийских покровов.

### Тектонические диапиры

Кроме очевидных ороклинов, где ороген изгибается в плане, орогены столь часто состоят из дуг, что можно предположить существование общей причины этого явления. Итальянский тектонист проф. Форезе Вецель из Урбино назвал такие структуры *крикогенами* (генераторами колец) (от греч. слова *κρῖκος* — кольцо, круг). Их общие характеристики таковы: 1) угол при вершине сектора — от 50 до 80° и радиус 1000—2000 км; 2) выпуклость обычно обращена к востоку или реже к экватору; 3) обычно расположение между континентом и океаном; 4) высокий тепловой поток из мантии и цепочки андезитовых вулканов; 5) недавнее воздымание на несколько километров, сопровождавшееся складкообразованием; 6) желоб на выпуклой стороне с сейсмической зоной Беньоффа и 7) область растяжения внутри дуги, часто вплоть до появления небольшого морского бассейна, возможно, с остаточными горстами докрикогенных пород.

Эти характеристики согласуются с интерпретацией крикогенов как диапиров. Их радиус определяется глубиной зарождения вещества диапира и эффективной мощностью коры, сквозь которую он должен проникнуть. Вулканизм и высокий тепловой поток свидетельствуют о подъеме расплавленного материала и об общем направленном вверх движении диапира, перемещающем вверх изотермы. Внутри дуги над диапиром обычно располагается зона растяжения (рис. 52—54). Ось диапира находится под областью растяжения. В конечном итоге

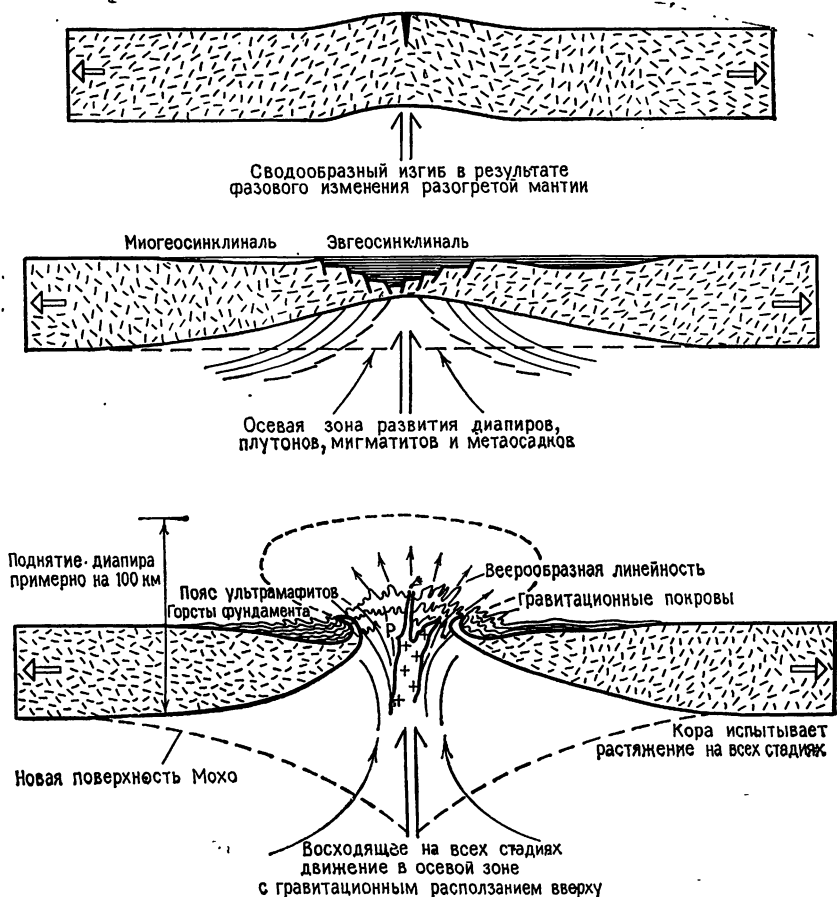
развития диапира его центральная часть лишается континентальной коры и в ней обнажается океанское ядро. Зона Беньоффа представляет собой границу диапира и обрамляющей его коры. (Ср. это с границей диапира, обозначенной как «зона Беньоффа» на рис. 56.) Идеальный диапир должен быть круглым и симметричным, но вертикальное движение сочетается с региональной геодинамикой. Ни в одном из приведенных выше примеров (соляной купол Хайде и соляной глетчер на рис. 56, язык ледника Маласпина или гнейсовые купола) диапир не является симметричным и не образует полного круга. Обычно силой, осложняющей тектонические процессы, является вращение Земли в восточном направлении. Тирренское море, впадина По, Паннонская впадина, Эгейское и Черное моря — примеры таких крикогенов, где поднимающиеся тектонические диапиры раздвинули «раму» и вынесли мантийное вещество к поверхности. Так называемые «задуговые (тыловые) бассейны» вдоль Тихоокеанской окраины Азии — это тоже тектонические диапиры.

## 18

### Простая модель орогена

На рис. 62 изображены стадии развития орогена. Возникновение первичного растяжения в континентальной коре приводит сначала к образованию шейки и утонению, пока кровля и подошва литосферы не сблизятся настолько, что на глубине около 5 км ниже уровня моря литосфера исчезнет. К тому времени когда мощность континентальной коры уменьшается до нуля, мантия под ней уже поднимается на 30 км. Таким образом, хотя поверхность континентальной коры все время опускается, подошва ее и расположенный под ней мантийный диапир неуклонно поднимаются, и этот процесс в мантии продолжается в течение всего орогенеза.

Сторонники ортодоксальной теории сжатия соглашаются с тем, что во время геосинклинальной стадии орогенеза кора должна растягиваться, так как в противном случае в течение миллионов лет, которые длится эта стадия, не может сохраняться даже приблизительное изостатическое равновесие. После таяния ледниковых покровов последнего оледенения изостатическое равновесие почти полностью восстановилось всего за



**Рис. 62.** Развитие геосинклинали и орогена включает длительное растяжение коры и длительное поднятие диапира примерно на 100 км. Новая поверхность Мохо на нижней схеме образуется вследствие перехода разогретого вещества мантии в менее плотные фазы.

10 000 лет в холодной неактивной коре Канады и Скандинавии. Это означает, что в более разогретом разрезе орогенической зоны изостатическое равновесие должно в достаточной степени сохраняться в течение этой стадии растяжения коры. Но в ортодоксальной тектонике растяжение коры сменяется огромным ее сокращением. В модели расширения, напротив, на протяжении всех стадий происходит растяжение и движение подкорового диапира все время направлено вверх.

На стадии, когда мощность континентальной коры убывает до нуля (средняя схема на рис. 62), существуют две различные области отложения осадков. В центральной зоне располагается глубокая *эвгеосинклиналь* с активным и неустойчивым дном, множеством разломов и рифтовых долин и магмой, поступающей вверх из горячего, поднимающегося снизу диапира. Осадки накапливаются быстро, не подвергаясь значительной переработке действием волн, которые в других случаях разрушают обломки пород и минералы, механически непрочные или легко поддающиеся выветриванию. В результате сейсмических толчков по крутым склонам спускаются потоки воды, нагруженной песком и илом (турбидные потоки), которые оседают на дно, образуя характерные структуры. Целые пластины осадков мощностью несколько сотен метров и площадью несколько квадратных километров медленно сползают вниз по склону, скользя по залегающим ниже слоям песка, который стал зыбучим вследствие избыточного давления воды между зернами, и иногда в ходе этого процесса сминаются в складки. Я рассматривал такие явления в 1963 г. на Международном симпозиуме по синтафральной тектонике\* в Хобарте, где Джон Эллистон подробно описал несколько наблюдавшихся в поле проявлений подобного рода и процессы, в результате которых эти осадки превращаются в породу.

Эти эвгеосинклинальные осадки отличаются от осадков, накапливающихся в *миоггеосинклинали* — зоне пологого прогиба, расположенной сбоку от собственно орогена (рис. 62, средняя схема). Дно миоггеосинклинали опускается потому, что кора под ней становится тоньше, и для сохранения изостатического равновесия требуется, чтобы ее поверхность погрузилась ниже уровня моря, опускаясь на глубину в том направлении, где кора тоньше, т. е. в направлении главного трюга. Дно ее гораздо более устойчиво, чем дно эвгеосинклинали; температуры здесь ниже, и вулканизм отсутствует; моря более мелкие, так что действие волн сортирует и разрушает обломки пород и непрочные минеральные зерна; жизнь в море обильна, и обычно образуются известняки.

Выступ фундамента, как правило, возвышается в виде вала, отделяющего миоггеосинклиналь от эвгеосинклинали. Этот выступ образуется потому, что вес эвгеосинклинали, считая от поверхности, меньше среднего веса коры, и хотя изостазия исправляет это неравновесие посредством поднятия диапира,

---

\* Синтафральная тектоника — раздел тектоники, рассматривающий синтафральные движения, т. е. движения, включающие гравитационное оползание неконсолидированных осадков по направлению к оси геосинклинали. Термин предложен автором книги в 1963 г. — *Прим. перев.*

направленная вверх тяга благодаря прочности коры частично передается по латерали, и поэтому кора зоны, непосредственно примыкающей к эвгеосинклинали, приподнимается. (Сравните это с приподнятыми краями рифтовых долин на рис. 19.) Выступ фундамента разделяет две различные фации. Со стороны эвгеосинклинали присутствуют не только разновозрастные осадкам миогеосинклинали вулканиты и интрузии гранитов, внедрившихся во время последующей складчатости, но и серпентинитовые пояса и офиолиты, т. е. типы пород, перемещенных непосредственно из мантии, которые тесно сочетаются в разрезе с эвгеосинклинальными осадками.

### Образование складок и надвигов

После того как в ходе растяжения коры ее мощность уменьшилась до нуля, продолжающееся и ускоряющееся поднятие глубинного диапира начинает выносить кверху ранее накопившиеся в геосинклинали образования, как бы извергая ее содержимое, которое затем растекается по поверхности в стороны. Предположим, что точка, обозначенная на рис. 62 буквой *P*, находится в середине воздымающегося орогена на уровне прежней поверхности суши. Она перемещается вверх под действием поднимающегося снизу диапира, но на нее воздействует направленное вниз давление — вес вышележащей толщи. Эти две вертикально ориентированные силы сжимают ее, заставляя расширяться в стороны. Скорость расширения зависит от величины нагрузки перекрывающих отложений и вязкости материала. Если эта скорость меньше скорости подъема диапира, ороген должен воздыматься выше, увеличивая нагрузку вышележащих пород на точку *P* (на уровне поверхности за пределами орогена). Высота орогенической зоны продолжает возрастать до тех пор, пока направленное в стороны течение материала не достигнет скорости, с которой диапир выталкивается снизу. Тогда поверхность орогенической зоны перестает подниматься, но ороген продолжает растекаться в горизонтальном направлении, подобно леднику Маласпина (рис. 61), и, пока диапир поднимается, будет продолжать расползаться, нагромождая один на другой тектонические покровы.

В пределах орогена и направления линейности, и поверхности надвигов ориентированы параллельно течению, причем внутренние зоны всегда надвигаются на соседние более внешние; поверхности покровов очень круты вблизи центра, но все больше и больше выполаживаются к внешним зонам, где покровы надвигаются на миогеосинклиналь. Языки этих покровов могут даже наклоняться вниз, подобно языку соляного глетче-

ра на рис. 53, но, как и в этом примере, если проследить язык назад до его источника, видно, что он образовался в результате крутого движения вверх, обусловленного поднятием диапира. На нижней схеме рис. 62 обратите внимание на то, что выклинивающийся край первичной континентальной коры подвернут и опрокинут в виде шарьяжа на миогеосинклиналь, где движущая его сила и давление вышележащих покровов отжимают миогеосинклинальные осадки в сторону от оси орогена, вызывая в них в большинстве случаев формирование надвиговых пластин и цепочек концентрических складок.

### Миф о начальном сокращении Альп

Геологи-ортодоксы, верящие в то, что нагромождение надвинутых друг на друга покровов, каждый из которых проделал от своего источника путь в десятки километров, доказывает формирование Альп за счет сокращения коры на несколько сотен километров при сближении ее блоков, могли бы спросить, откуда поступил весь материал, образующий это наблюдаемое нагромождение покровов? Давайте рассмотрим действительные цифры, характеризующие это явление.

Согласно модели расширяющейся Земли, объем ее недр увеличивается. Внешняя кора (литосфера) является относительно холодной и хрупкой, поэтому при возрастании объема она раскалывается на многоугольники (полигоны), достигающие нескольких тысяч километров в поперечнике (как описано в гл. 20). К возникающим разрывам относятся зоны срединно-океанических рифтов, где наращивается кора океанического дна, но и орогенические пояса тоже представляют собой части этой системы разрастания. На рис. 20 орогенический пояс, протягивающийся через Европу и Юго-Западную Азию, необходим, чтобы замкнуть Африканский полигон, Гималайская орогеническая зона — чтобы замкнуть Индийский полигон, а Индонезийский орогенический пояс обрамляет Австралийский полигон. Границы всех этих полигонов являются зонами, где материал из недр Земли выходит на поверхность, увеличивая площадь поверхности земного шара, чтобы она соответствовала новому объему.

Зона корней орогенического пояса (рис. 62) иногда может достигать в ширину около 100 км; давайте будем осторожными и допустим ширину только 50 км. Столб мантийного вещества может подняться вверх тоже примерно на 100 км, но опять-таки из осторожности предположим, что он поднимается только на 50 км. Итак, поднимающийся в осевой зоне орогена блок должен иметь в поперечном сечении 2500 км<sup>2</sup>. Если его верх-



няя часть выходит на поверхность (подобно соляному глетчеру на рис. 53) в виде шапки толщиной 1000 м, она может расползтись в стороны на расстояние до 2500 км. (Мощность надвиговых пластин в орогенических поясах изменчива, но в среднем она, вероятно, равна 1000 м.) Образующиеся при этом тектонические покровы, двигаясь по неровному субстрату, изгибаются, разрываются трещинами и распадаются на отдельные пластины, каждая из которых перемещается менее чем на 100 км. Следующие пластины надвигаются на предыдущие, или вдвигаются в пакет образовавшихся прежде покровов, или подвигаются под него. Но суммарное перемещение пластин продолжает нарастать, пока не достигнет 2500 км. Это в три-четыре раза больше наблюдаемого в Альпах суммарного перемещения всех покровов, которое, согласно ортодоксально-догматическим представлениям, объясняется сжатием коры по меньшей мере на 700 км. Насколько эти взгляды неверны? Альпы не испытали сокращения коры на несколько сотен километров и, вероятно, даже представляют собой область расширения коры на несколько десятков километров.

Растекание покровов происходит относительно быстро, возможно, всего в 1000 раз медленнее, чем текут ледники. За одну геологическую эпоху покровы могут продвинуться на 500 км; скорость, по-видимому, может сильно варьировать в зависимости от избыточного давления воды и типа материала (сланцы, эвапориты, известняки и т. п.) в их подошве.

В смятой в складки фронтальной части пояса развиваются все проявления тектоники горизонтального сжатия. Миогеосинклинальная зона *испытывает* сокращение. Микроструктура минералов соответствует компрессионным моделям. Складки *действительно* затухают в направлении, перпендикулярном их осевым поверхностям. Но ни одно из этих явлений не требует ни сокращения фундамента, ни сужения всего орогенического пояса, который на самом деле во время орогенеза расширяется.

## Корни орогена

Граница между земной корой и мантией определяется скачком скорости сейсмических продольных волн примерно с 7 км/с в нижней части коры до 8 км/с в кровле мантии. Официально эта граница называется разделом Мохоровичича — по имени открывшего ее хорватского сейсмолога Андрии Мохоровичича (1857—1936), — но обычно ее сокращенно называют «Мохо». На верхней схеме рис. 62 поверхность Мохо представляет собой основание континентальной коры. На нижнем рисунке она показана пунктирной линией, опускающейся под ороген до

глубины в несколько сотен километров\*. Материал в расположенной над этой поверхностью области, имеющей форму ромба, сначала находился ниже нее, но поднялся на сотню километров или около того вместе с диапиром. (Величину поднятия орогена показывает тонкая пунктирная линия в форме широкой дуги, соединяющей отогнутые в противоположных направлениях края основания континентальной коры.)

Этот поднявшийся материал все еще является относительно горячим, но находится в условиях весьма сильно уменьшившегося давления. Поэтому в нем происходит фазовый переход — обычно от плотного эклогита (или эквивалентного ему вещества) со скоростью сейсмических волн около 8,0 км/с до менее плотного габбро со скоростью гораздо меньше 8,0 км/с (или другие сходные фазовые изменения). Здесь также присутствует значительный объем воды в газовой фазе (то есть с температурой выше критической), что вызывает серпентинизацию, уменьшающую плотность пород и скорость сейсмических волн. Поэтому сейсмологи считают, что под орогеном имеются глубокие «корни». Подобным же образом геофизик, измеряющий гравитационное поле, обнаруживает, что под орогенами вплоть до больших глубин распространены породы с плотностью 3,0, а не более плотные мантийные породы, подтверждая тем самым, что ороген имеет глубокие корни.

Те, по мнению которых ороген представляет собой область интенсивного сжатия коры, интерпретируют понижение поверхности Мохо под ним как доказательство того, что кора претерпела сдавливание и мощность ее удвоилась, сформировав корни орогена. Но давайте сравним орогены со срединно-океаническими хребтами (рис. 63) и с хребтами полигонов второго порядка (рис. 64), с которыми мы познакомимся в гл. 20. Под ними поверхность Мохо (как установлено по скоростям продольных сейсмических волн) погружается вниз точно так же, как показано на рис. 62, и точно так же распределены плотности (согласно гравитационным измерениям). Здесь нет континентальной коры, которая выжималась бы вниз, образуя корни, и во всяком случае все согласны с тем, что срединно-океанические хребты представляют собой зоны растяжения. Ниже поверхности Земли орогены и испытывающие спрединг хребты океанов идентичны в сейсмическом и гравитационном отношении. И те и другие связаны пространственной мозаикой расширяющейся поверхности Земли. Они отличаются друг от друга тем, что орогены включают большие объемы континентальной коры и осадочного материала. Но поскольку массы,

---

\* Вероятно, описка; в действительности Мохо не опускается под орогеном ниже нескольких десятков (50—70) километров. — *Прим. ред.*

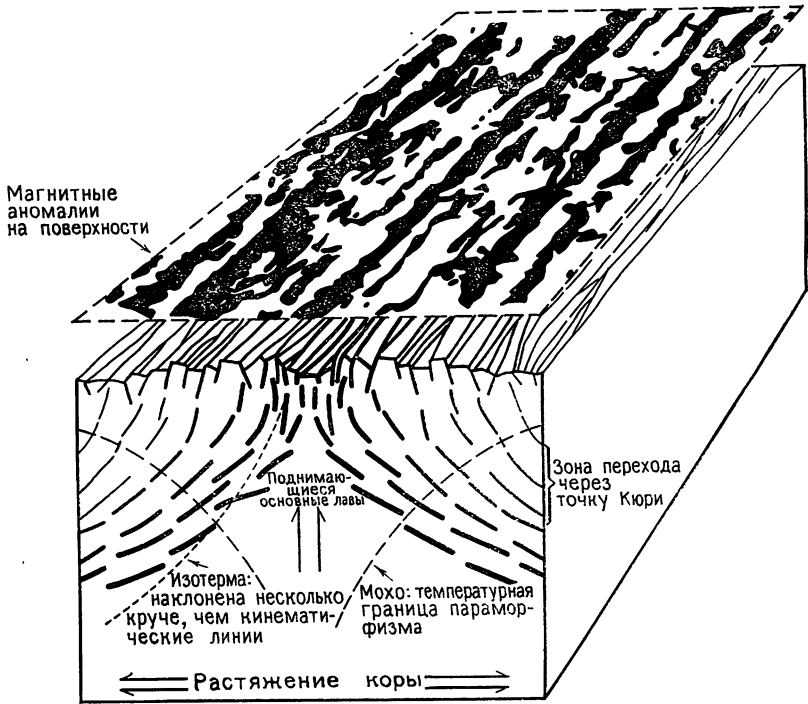


Рис. 63. За исключением отсутствия континентальной коры и обильных осадков, испытывающий спрединг океанический хребт сходен с зарождающимся орогеном. Генезис корней диапиров одинаков. Черные полосы — положительные магнитные аномалии, установленные траверсами научно-исследовательских судов.

лежащие под орогеном и разрастающимся океаническим рифтом, распределены сходным образом, похоже и их выражение на поверхности (рис. 65).

Генетическое сходство разрастающихся хребтов и орогенов понимают геологи, не ослепленные верой в тектонику сжатия. Так, известный тектонист Л. П. Зоненшайн на Международном геологическом конгрессе в 1972 г. четко сформулировал идеи многих советских геологов, установивших, что геосинклинали в принципе представляют собой области, где впервые создается новая океаническая кора. Это антитеза субдукционной гипотезе. Л. П. Зоненшайн заключил:

«Формирование геосинклинали сопровождается растяжением, обусловленным раздвиганием литосферных плит и созданием нового океанического дна. В некоторых районах (например, в Южной Монголии) можно восстановить спрединг древнего океанического дна. Эвгеосинклинали на начальной стадии их развития, по-видимому, являются аналогами океанических хребтов, а на

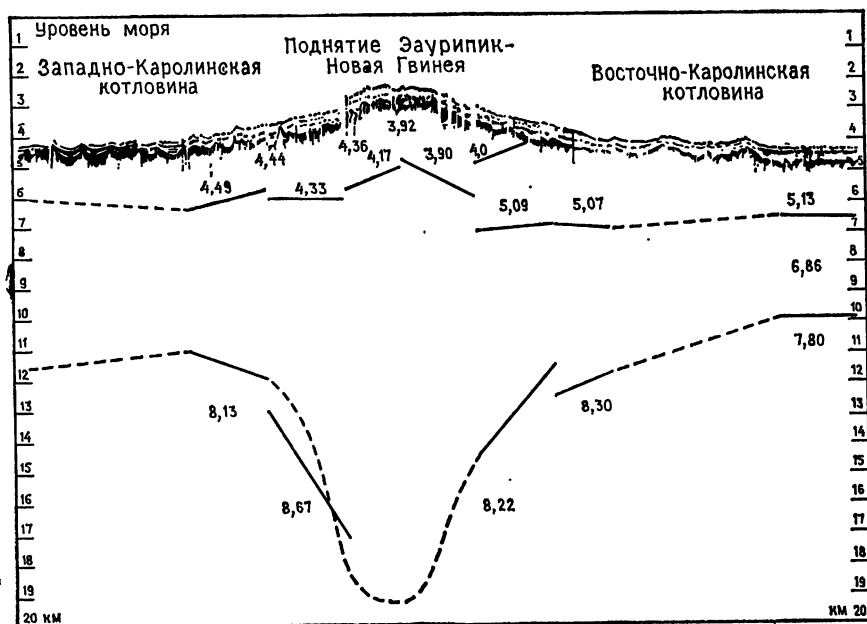


Рис. 64. Диapiroвый корень хребта полигона второго порядка (см. гл. 20) на суше или в море идентичен корню разрастающегося океанического хребта или орогена, но меньше по размеру. Цифрами обозначены скорости сейсмических продольных волн (в км/с). Отрезки прямых — границы, определенные по скоростям преломленных сейсмических волн. Поверхностная структура установлена по непрерывным профилям отраженных сейсмических волн. Самая нижняя граница (частично показанная пунктиром) — раздел Мохо. (По Дену и др.)

зрелой стадии — аналогами островных дуг. В целом эволюция, по-видимому, происходит от обстановок, напоминающих срединно-океанические хребты, к островным дугам и далее к орогеническим зонам... Геосинклинали (и особенно эвгеосинклинали) представляют собой имеющие глубокие корни структуры, в которых энергия и вещество верхней мантии поднимаются вверх к поверхности Земли. В этом процессе формируется новая кора, в том числе «базальтовый» и «гранитный» слои.

Обычно предполагают, что гранитные ядра орогенов простираются вниз до больших глубин; действительно, это подразумевается в самом названии «батолит» (от греч. βάθος — глубокий и λίθος — камень). Однако накапливается все больше данных о том, что истинные граниты образуют только «шляпу» таких плутонов. Недавно Д. С. Росс из Геологической службы США, изучив глубоко эродированные части батолита Сьерра-Невада и обломки, вынесенные поднимающейся магмой, сделал вывод о переходе сверху вниз на интервале глубин до

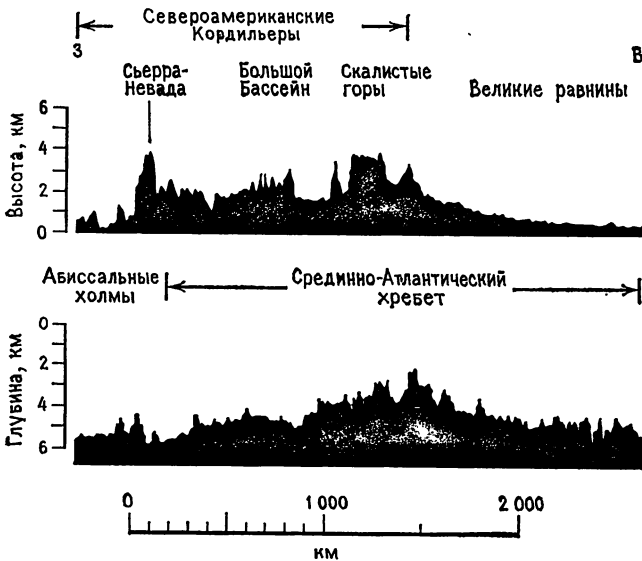


Рис. 65. Сравнение топографических профилей разрастающегося срединно-океанического хребта и орогена (по Шеферду). Вертикальный масштаб преувеличен в 100 раз.

10 км гранитов в тоналиты (плагноклазовые граниты). Ниже андалузит сменяется силлиманитом. Еще ниже залегают мигматиты (сложное сочетание гранитов и гнейсов, от греч. слова *μυξα* — смешанный), затем до глубины 25 км — роговообманковые гранулиты, а далее до 30 км — двупироксеновые гранулиты. Такой ряд является логическим следствием парадигмы, иллюстрируемой рис. 62.

Модель орогена, показанная на рис. 62, представляет собой простейший случай. Она двусторонне-симметрична. Но орогены обычно развиваются на краю континентальной коры рядом с океанической корой, где осадочный материал поступает только с одной стороны; поэтому формирующийся в результате ороген развивается асимметрично и почти все надвигание направлено в одну сторону. Более того, как будет подробно показано в дальнейшем, к асимметрии приводит и вращение Земли. С течением геологического времени возрастает также скорость орогенеза, так что древние орогены могут отличаться в некоторых отношениях от более молодых. В этой модели имеется только один орогенический цикл осадконакопления и складчатости, тогда как несколько таких циклов могут следовать один за другим. Хотя каждая орогеническая зона обладает собствен-

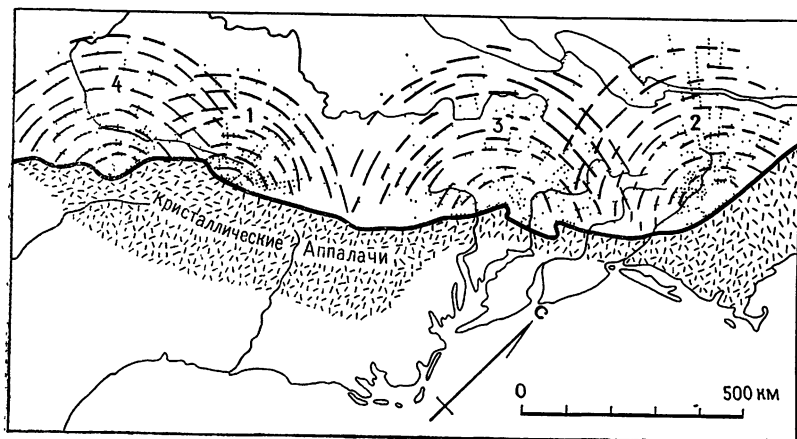
ными индивидуальными особенностями, основные принципы, обрисованные выше, относятся ко всем орогенам. Имея это в виду, сравним теперь с описанной основной моделью три орогена — Аппалачи, Альпы и Гималаи.

## Аппалачи

На Среднем Западе США обнажается доаппалачский фундамент, так же как на нижней схеме рис. 62. Двигаясь отсюда к востоку, мы приходим к полого залегающим слоям миогеосинклинальных отложений Аллеганского синклинория. Их мощность постепенно увеличивается до тех пор, пока мы не достигнем концентрических складок, а затем покровов Провинции Долин и Хребтов, надвинутых на запад по горизонтальным или полого наклоненным поверхностям. Дальше в Голубом хребте мы обнаруживаем породы фундамента, надвинутые на миогеосинклинальные отложения, точно так же как показано в модели. За ними располагаются образующие сложные складки породы эвгеосинклинальных фаций, прорванные гранитами, и офиолиты. Затем мы подходим к Пьемонту, где аппалачские породы скрываются под чехлом более молодых мезозойских пород.

Поверхностная структура Аппалачей согласуется с моделью диапиризма, но противоречит альтернативной модели сжатия между сближающимися континентальными массами. Фронтальная зона около миогеосинклинали изогнута и образует серию дуг. Надвигание наиболее интенсивно там, где эти дуги обращены выпуклостью наружу (к западу), и слабее всего проявляется там, где они изогнуты внутрь, к кристаллическому ядру. Именно этого следовало ожидать при формировании цепочки диапиров; в компрессионной же модели надвигание должно быть самым интенсивным там, где кратон дальше всего продвинут в орогеническую зону.

Д-р Ф. Б. Кинг, бывший сотрудник Геологической службы США и автор нескольких авторитетных книг и обзоров по геологии Северной Америки и региональных геологических карт, выделил четыре независимых осадочных конуса, распространяющихся к северо-западу от осевой зоны Аппалачей (рис. 66). В середине ордовика на территории Северной Каролины активно росло поднятие, и в результате его быстрой эрозии на всю территорию шт. Кентукки распространился конус выноса морских обломочных отложений мощностью 2400 м, тогда как на других участках вдоль фронта Аппалачей толщина слоя накопившихся осадков была менее 1000 м. В позднем ордовике активное выпучивание происходило на



**Рис. 66.** Палеозойские диапиры и клинья обломочных отложений в Аппалачском орогене. Конусы обломочных осадков: 1 — среднеордовикский, 2 — позднеордовикский, 3 — позднедевонский, 4 — позднекаменноугольный.

территории шт. Мэн, и мощный конус выноса распространился через Вермонт и дальше в провинцию Квебек. В позднем девоне настала очередь территории шт. Нью-Йорк, и конус обломочных отложений мощностью до 2700 м распространился на Западную Виргинию, Пенсильванию и северную часть штата Нью-Йорк, в то время как в Теннесси отложилось всего 600 м, а в Алабаме 30 м осадков. Но в позднем карбоне наступила очередь Алабамы, когда воздымание и размыв происходили на территории Джорджии, в результате чего сюда распространился конус осадков мощностью до 3000 м.

Эта последовательность событий логична для модели формирования диапиров, но в модели конвергенции материков блок форланда шириной в пару сотен километров должен был бы сблизиться с Аппалачами в среднем ордовике в районе шт. Кентукки, другой блок должен был столкнуться с ними в районе шт. Мэн в позднем ордовике, третий — на территории шт. Нью-Йорк в позднем девоне, а четвертый, расположенный гораздо южнее, — в позднекаменноугольное время.

Даже если бы процесс формирования диапиров начался более или менее единообразно вдоль всего геосинклинального трога, такое единообразие должно было бы вскоре нарушиться: любая небольшая неоднородность, приводящая к подъему изотерм, благоприятствовала бы росту диапира, так как текучесть при данной нагрузке увеличивается экспоненциально с ростом абсолютной температуры. Следовательно, диапиризм

всегда тяготеет к округлым выпуклостям (которые проф. Вецель из Урбино назвал крикогенами).

Заметим, что избыточная мощность осадков вокруг диапира означает не только более быстрое их поступление, но и более быстрое опускание дна прогиба. Этому могут способствовать три фактора: 1) интенсивность описанного ранее процесса, вызывающего формирование последовательности миогеосинклиналь — выступ фундамента — эвгеосинклиналь, в отдельных местах увеличивается в результате более активного выпучивания, поэтому миогеосинклиналь там углубляется; 2) перетекание вещества снизу к диапиру может вызвать опускание, аналогичное образованию кольцевой синклинали вокруг соляного купола (рис. 54); 3) дополнительная нагрузка, создаваемая осадками в конусе, усиливает погружение за счет изостатического фактора.

## Альпы

Вогезы, Шварцвальд и Богемский массив представляют собой доальпийский фундамент. Его перекрывают полого залегающие слои пермского и мезозойского возраста в миогеосинклинальных фациях. Дальше к юго-востоку эти породы начинают сминаться, образуя цепь концентрических складок гор Юра, под которыми находятся пологие поверхности надвигов, как в Провинции Долин и Хребтов перед Аппалачами. Между Юрой и Альпами лежит Швейцарская равнина с Женевским озером и озером Невшатель. Это зона прогибания, обусловленного продолжающимся региональным растяжением, выраженным в самих Альпах. Перед Альпами располагаются Гельветские покровы — пакет пологих надвиговых пластин, образованных известняками и глинистыми сланцами, характерными для миогеосинклинальных фаций. Затем мы выходим к выступам доальпийского фундамента, представленным вершинами Монблан, Эгюй-Руж и Аарским массивом, которые, как и следовало ожидать, демонстрируют полную смену фаций до *блестящих сланцев* (*schistes lustrés*); далее располагаются зона корней орогена и офиолиты зоны Ивреа. Все это соответствует нашей модели.

## Гималаи

На рис. 67 приведены два профиля через Гималаи. Первый построен Аугусто Ганссером, ведущим авторитетом в тектонике Гималаев, а второй интерпретирует ту же самую информа-



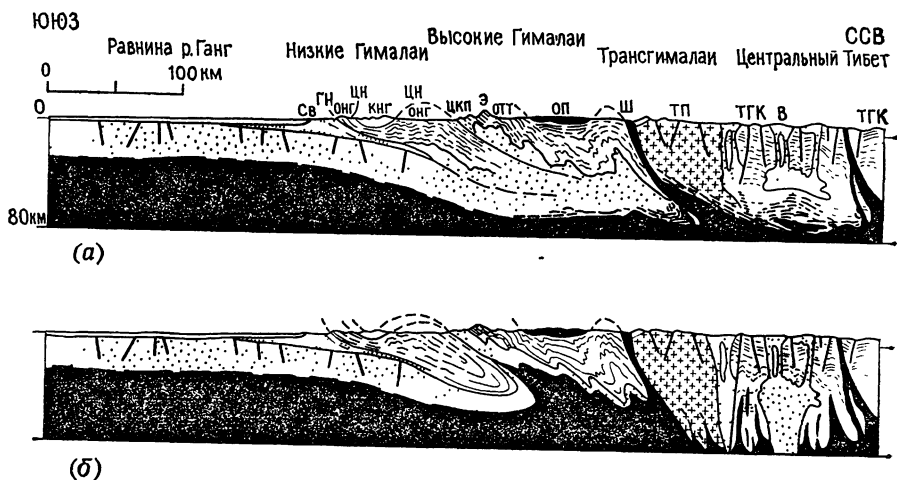


Рис. 67. Сравнение компрессионной модели тектонического строения Гималаев по Ганссеру, 1980 (а) и модели растяжения, обусловленного поднятием диапира, по Кэри (б). ГН — граничный надвиг, ЦН — центральный надвиг, Ш — Индский шов (сутура), Э — гора Эверест, Св — Сиваликские предгорья, ОНГ — отложения Низких Гималаев, КНГ — клипп Низких Гималаев, ЦКП — центральный комплекс кристаллических пород, ТКК — трансгималайский кристаллический комплекс, ОТТ — осадочные толщи Тибета, ОП — офиолитовый покров, ТП — трансгималайские плутоны, В — вулканиты и их магматические очаги.

цию о структуре поверхности в соответствии с моделью орогена, изображенной на рис. 62. Как и в этой модели, мы начинаем с равнины Индо-Гангской низменности, где мощность мезозойских и третичных миогеосинклинальных отложений уменьшается по направлению к выступу фундамента догималайского возраста и увеличивается в сторону синклинали миогеосинклинали.

Сначала в долине р. Ганг мы пересекаем Сиваликские (или Шиваликские) предгорья (названные так потому, что каждый изрезанный холм, как говорят, похож на волосы Шивы, великого бога индусов). Сиваликские предгорья представляют собой концентрические складки в самых молодых миогеосинклинальных слоях, всегда встречающиеся в этой позиции. Продолжая профиль через миогеосинклинальные слои Низких Гималаев, мы быстро достигаем «главного граничного надвига», по которому Низкие Гималаи надвинуты на Сиваликскую зону. Затем мы пересекаем целую серию надвигов, пока не придем к «главному центральному надвигу», где начинаются Высокие Гималаи.

Главный центральный надвиг располагается там, где догималайский фундамент сначала запрокидывается, чтобы вновь появиться на поверхности, и надвигается в виде огромного покрова. Большая часть этого покрова уже эродирована, так что на миогеосинклинальных осадках лежат его изолированные останцы. Такой изолированный участок покрова называют клиппом (немецкое слово, означающее «утес»). Особенностью этих клиппов является то, что они как бы перевернуты «вверх дном»: слабее метаморфизованы у основания, чем вверх по разрезу. Этого и следовало ожидать, так как за поверхностью надвига, показанной пунктирной линией в надвинутом блоке, распространен утоненный и залегающий в перевернутом положении фундамент.

Из-за того что Гималаи такой крупный ороген, мы еще остаемся в пределах миогеосинклинали, пока у Индского шва (сутуры) не встретим следующий крупный надвиг, где отложения приобретают эвгеосинклинальный характер. Гора Эверест сложена мезозойскими известняками, падающими на северо-северо-восток, к самой глубокой части миогеосинклинали, содержащей серию согласно залегающих слоев от кембрия до эоцена. Офиолиты, которые связаны с эвгеосинклинальными фациями, в этой зоне не встречаются. Часты срывы, особенно вблизи кристаллического основания, с образованием большого количества перевернутых складок, как в сложенных известняками Гельветских Альпах. В раннетретичное время вблизи Индского шва сформировались глубокие рифтовые долины, которые были заполнены осадками, поступавшими из эвгеосинклинальной зоны.

Возле Индской сутуры мы сначала обнаруживаем офиолиты и серпентиниты, вынесенные кверху поднимающимся диапиром. Но, достигнув области расширения, они были смещены в горизонтальном направлении в виде огромного покрова, надвинутого на 100 км к юго-западу на миогеосинклинальные отложения. Индская сутура выражена в виде длинной прямой линии выходов пород, характерных для мегасдвигов, т. е. зон, вдоль которых континентальный блок был перемещен в горизонтальном направлении, а не приподнят и надвинут. Действительно, этот шов представляет собой главный мегасдвиг Тетической зоны кручения, вдоль которой материка Северного полушария переместились более чем на 1000 км к западу по отношению к южным материкам (что подробнее рассматривается в ч. V). Следовательно, Тибет прежде располагался непосредственно к северу от Австралии, а Афганистан и северный Иран находились севернее Гималаев.

Юго-западнее Индского шва мы обнаруживаем крупные экзотические глыбы известняков, совершенно чуждые этому ре-

гиону; поэтому их источник следует искать в Афганистане. Это горизонтальное перемещение на большое расстояние вдоль Индской сутурной зоны осложняет ее структуру, образовав круто наклоненные пластины различных пород и часто — офиолитовые меланжи. *Меланж* — французское слово (*Mélange*), означающее «смесь», т. е. именно то, чем является здешний меланж — мешаниной из глыб, мелких и крупных, иногда величиной с целый город, обычной составляющей которой являются офиолиты. Такие меланжи — характерная особенность мегасдвигов; действительно, всякий раз, когда вдоль протяженной прямой линии, к которой приурочены долины, встречаются меланжи, следует предполагать наличие мегасдвига.

За Индским швом мы обнаруживаем полную смену фаций вплоть до эвгеосинклинальных отложений Центрального Тибета, прорванных крупными телами гранитов, тоналитов и габбро, и обширные поля третичных вулканитов. Гималаи представляют собой очень молодой ороген, в котором все еще поднимается диапир и происходит надвигание покровов. Он почти на 400 млн. лет моложе Аппалачского орогена. По прошествии такого же интервала времени эрозия снесет десятикилометровую или еще более мощную толщу пород с самых высоких частей Гималаев, выровняв их до состояния пенеплена. Последний снова будет воздыматься в виде свода, чтобы восстановить изостатическое равновесие, поскольку под Гималаями сохраняются корни гор с относительно низкой плотностью, и эти эпейрогенические, второго поколения Гималаи будут прорезаны новыми реками. Тогда Гималаи будут больше напоминать современные Аппалачи. Я говорю «напоминать», потому что скорость орогенеза значительно увеличилась с течением геологического времени, и поздне третичный орогенез отличается по интенсивности от позднепалеозойского, хотя орогены зарождались и формировались в сходных обстановках.

## 19

### Зона Беньоффа

Зона Беньоффа представляет собой пластообразной формы зону очагов землетрясений, которая, начинаясь у океанического желоба, погружается под ороген под углом около  $50^\circ$  до глубин примерно 300 км. Над тем участком зоны Беньоффа,

где она достигает глубины 120 км, обычно распространены андезитовые вулканы. Отдельные сейсмические очаги встречаются на глубинах до 700 км, но эти глубокофокусные землетрясения, хотя они и безусловно связаны с нормальной зоной Беньоффа, оказываются в чем-то независимыми от нее: они происходят лишь в наиболее активных районах, а на больших участках продолжений зон Беньоффа глубокофокусных землетрясений не бывает. Кроме того, по ладению этой зоны в распределении очагов встречается перерыв; даже там, где отмечаются глубокофокусные землетрясения, между очагами нормальной зоны Беньоффа и областью, где сосредоточены наиболее глубокие землетрясения, имеется заметный пробел. В плане между ними также может наблюдаться несовпадение. Например, самые глубокофокусные землетрясения происходят там, где предполагается погружение зоны Беньоффа от Бонинско-Марианского желоба, но этот сейсмический пояс меньше изогнут в плане, чем нормальная часть зоны Беньоффа, и продолжается на юге, пересекая дуги орогена и глубокоководный желоб у его южного окончания вблизи острова Гуам, а его северное продолжение пересекает приблизительно под прямым углом островную дугу, глубокоководный желоб Хонсю и Японское море, после короткого перерыва достигая Азиатского материка около Владивостока. Эта независимость от зоны Беньоффа совершенно очевидна там, где распределение землетрясений в объеме детально изучено с помощью компьютера. Многие из наиболее глубоких сейсмических толчков свидетельствуют о сдвиговом смещении вдоль этого пояса, чем можно объяснить его прямизну. В отличие от этого форма самого активного пояса глубокофокусных землетрясений точно соответствует серповидному изгибу дуги Тонга, однако и там имеется заметный пробел между нормальной зоной Беньоффа, содержащей очаги мелкофокусных и промежуточных землетрясений (до 300 км), и областью весьма многочисленных глубоких очагов.

Модель расширения Земли и модель субдукции сходятся в том, что эта зона представляет собой зону разломов скальвания, причем *относительное* движение ее орогенного крыла направлено вверх и на океаническое крыло. Это *относительное* перемещение подтверждается знаком первых вступлений сейсмических волн, наблюдаемых при землетрясениях и распространяющихся от этих разломов. Но в модели субдукции принимается, что океаническая литосфера поддвигается под ороген, и это происходит на протяжении тысяч километров. В модели расширения Земли, напротив, океаническая кора неподвижна, а зона Беньоффа представляет собой границу поднимающегося и надвигающегося диапира, который по мере своего роста расширяется кверху и приобретает форму перевернутого

колокола. Направленное вверх суммарное перемещение в центре орогена достигает примерно сотни, а никак не тысяч километров, движение же в зоне Беньоффа — самое большое несколько десятков километров. Вопрос в том, какое крыло перемещается: океаническое или орогеническое?

Данные непрерывного сейсмопрофилирования свидетельствуют об относительно маломощных выдержанных осадках на океаническом крыле, совсем недеформированных на расстоянии тысяч километров вплоть до глубоководного желоба. Но когда мы пересекаем желоб, активно проявляются тектонические процессы всех видов: сейсмичность, надвигание и крупномасштабное оползание в направлении желоба, неоднократно повторяющееся, когда постоянно увеличивающаяся крутизна склона растущего орогена достигает угла неустойчивого откоса. Тепловой поток из недр Земли со стороны океана неизменно низкий, но при пересечении желоба он возрастает более чем вдвое, а местами даже в 10 раз. Эта ситуация несовместима с моделью субдукции, в которой вся система глубоководный желоб — орогеническая островная дуга располагается там, где холодная океаническая литосфера погружается глубоко в мантию. Общий тепловой поток в таком регионе обязательно должен быть намного *меньше* средней величины. Напротив, в модели расширяющейся Земли вся орогеническая зона находится там, где более горячее мантийное вещество выдавливается вверх и наружу при расширении внутренних частей Земли; для этого требуется, чтобы общий тепловой поток в регионе был существенно *выше* среднего; именно это и наблюдается в природе.

В орогенической зоне все движется *вверх*. Изотермы поднимаются по сравнению с их средним положением на десятки километров. Вулканы в осевой зоне выносят лавы из частично расплавленной мантии; магмы поднимаются, застывая в плутонах; кристаллические метаморфические породы, первоначально находившиеся на большой глубине под дном геосинклинали, выдавливаются вверх на десяток километров или больше, выходя на поверхность высоко в горах; то же самое происходит с серпентинитами и перидотитами, первоначально залегавшими даже еще глубже; гнейсовые купола в виде диапиров внедряются снизу в слои геосинклинальных отложений. Эти диапиры проникают вверх в порядке убывающей вязкости, как показано на рис. 46, образуя гнейсовые купола, мигматитовые диапиры, магматические плутоны, вулканические лавы и палящие тучи. Надвиги многочисленны, причем орогенное крыло всегда надвинуто на желоб по поверхностям смещения, очень крутым около оси орогена, но постепенно выполаживающимся с удалением от осевой зоны.

Какие же силы заставляют все эти тела подниматься? Это

не плавучесть, так как, за исключением магм, они имеют большую плотность, чем породы, сквозь которые они проникают, и поднимаются на большую высоту, чем та, что оправдывается их плотностью. Они выжимаются вверх восходящим мантийным материалом, фазовое состояние которого меняется на иное, характеризующееся меньшей плотностью, когда более высокие температуры распространяются до уровней более низкого всестороннего давления.

От осевой зоны орогена вплоть до зоны Беньоффа располагается один сложный диапир. Зона Беньоффа представляет собой границу между поднимающимся диапиром и неподвижной океанической литосферой. Граница соляного диапира является резкой из-за разницы в «вязкости» соли и прорываемых ею пород. Граница же орогенического диапира постепенна, так как сопротивление деформации («вязкость») меняется не скачкообразно, а постепенно уменьшается с ростом температуры. Осевая зона поднимается быстрее всего, поскольку здесь самые высокие температуры, и эта ситуация сохраняется, так как в процессе ее подъема продолжает выноситься вверх более горячее вещество. Давление, заставляющее диапир двигаться, достаточно велико для того, чтобы вызвать образование разрывов в любом месте орогена, но в его центральной зоне породы приобретают способность течь при меньшей разности напряжений, чем напряжение, при котором образуются трещины; при более низких температурах надвиги начинают возникать даже в центральной зоне орогена. В стороны от осевой зоны разность напряжений достигает уровня образования разрывов прежде, чем напряжения снимутся за счет течения. Образующаяся в результате зона разлома и есть зона Беньоффа. Она является конечной границей диапира. Распределение очагов землетрясений отражает эту картину. На небольших глубинах сейсмогенные разломы встречаются по всему орогену, но с глубиной постепенно концентрируются, образуя узкую зону Беньоффа.

Представим себе раскаленный докрасна цилиндр, сжимаемый вместе с пластиной из мягкой стали гидравлическим прессом. На контакте с раскаленным цилиндром в пластине будет происходить медленное пластическое течение, но в холодном кольце по периферии пластины должны появиться трещины — зона Беньоффа. Сравним это с полоской горячей ириски, одним концом закрепленной горизонтально в тисках, с подвешенным к выступающему концу тяжелым грузом. Ириска немедленно изогнется вниз. Протрепая это с подобной же полоской ириски, но не такой горячей, и подвесим тот же груз. Снова ириска изогнется, но медленнее. Повторим опыт с еще более холодной ириской — она снова изогнется вниз, но еще медленнее. Протрепая это с совсем холодной ириской — изгиб будет едва

заметен перед тем, как она разломится, если вес груза превышает ее прочность. То же самое происходит в зоне Беньоффа на внешней границе орогенного диапира.

Там, где направленная вверх сила велика и диапир поднимается сравнительно быстро, зона разрывов (зона Беньоффа) погружается глубже, до области более высоких температур. (Если полоска теплой ириски изгибается быстро, она может разломиться, так как хрупкое разрушение произойдет раньше, чем она сможет изогнуться.) Там же, где движущая диапир сила мала, его направленное вверх движение может компенсироваться медленным течением в граничащих с диапиром относительно более холодных породах; в этом случае разрывы зоны Беньоффа распространяются вниз всего на пару сотен километров, даже если поднимающийся диапир зародился на гораздо большей глубине, чем эта.

Породы, залегающие непосредственно у внешнего контакта зоны Беньоффа (под ней), находятся в состоянии упругого деформирования, при этом уровень напряжений чуть ниже предела прочности пород. Они представляют собой боковую раму диапира. Трещина скалывания не может возникнуть без наличия такого ограничения, потому что без него сдвиговое напряжение приводит к вращению, а не к образованию трещины скалывания, как в зоне Беньоффа. Эксперименты на горных породах, находящихся под действием сдвиговых напряжений величиной ниже предела прочности, показывают, что в этих породах звуковые и сейсмические волны распространяются со скоростью на 5% большей, чем при отсутствии напряжения. Как было обнаружено, сейсмическая скорость в области, расположенной под зоной Беньоффа, выше нормальной. Это интерпретировалось как доказательство опускания холодной литосферной пластины; однако такие аномальные скорости неизбежны в напряженных породах поднимающегося диапира там, где величина напряжения чуть меньше прочности пород на разрыв.

В соляном куполе зоне Беньоффа эквивалентна его внешняя граничная поверхность — между растущим диапиром и слоями, лишь затянутыми вверх, т. е. поверхность, к которой приурочено крупное стратиграфическое несогласие (рис. 56).

Сейсмограммы одного и того же землетрясения, полученные на целом ряде сейсмостанций, дают возможность определить направление смещения в точке разрыва и распознать его характер — горизонтальный сдвиг, разрыв растяжения (сброс) или разрыв скалывания (надвиг). Для всех землетрясений, кроме мелкофокусных, разрывные смещения в зоне Беньоффа представляют собой разрывы скалывания. Их интерпретировали как свидетельства сжатия коры, несовместимого с общим

режимом растяжения. Однако на границе диапира, имеющего форму перевернутого колокола, должна возникать именно такая обстановка, когда висячее крыло, принадлежащее диапиру, надвигается на неподвижное крыло. Тем не менее, как уже отмечалось (рис. 19 и относящийся к нему текст), даже в режиме общего растяжения образование разрывов растяжения возможно только на небольших глубинах, где вес нагрузки меньше, чем сопротивление породы скалыванию, поскольку на любой большей глубине скалывание должно произойти до того, как региональное растяжение сможет уменьшить любое напряжение до нуля, чтобы вызвать образование разрыва растяжения.

Проф. Уильям Таннер из Университета штата Флорида продемонстрировал эмпирически и экспериментально, что диапиры образуются только в областях, испытывающих растяжение.

Орогенические дуги Восточной Азии, особенно Японии, — типовые области, в результате исследования которых возникло представление о зоне Беньюффа, — отличаются от континентальных орогенов, модель развития которых представлена на рис. 62, по трем важнейшим характеристикам. Во-первых, они являются полициклическими, причем третичный орогенический цикл наложен на позднемезозойский вдоль зоны, которая была активной начиная со времени зарождения Тихого океана в протерозое. Во-вторых, мезозойские и третичные орогены были существенно асимметричными в поперечном сечении, поскольку их западное крыло было образовано континентальной литосферой, а восточное — океанической. В-третьих, рост диапиров в случае орогенических дуг Восточной Азии происходил исключительно быстро (рис. 68).

Процесс орогенеза, модель которого изображена на рис. 62, начинается с нормальной континентальной литосферы, которая постепенно становится тоньше и исчезает, замещаясь орогеническим диапиром. Если в ходе дальнейшего более быстрого растяжения скорость подъема поступающего из мантии вещества увеличится, орогенический комплекс может быть разорван и раздвинут в разные стороны и над осевой зоной диапира останется только симатическое вещество. В результате зарождается океанская впадина с центральным разрастающимся хребтом.

Нижняя часть зоны Беньюффа там, где ее можно проследить на достаточную глубину, находится под небольшими морями, образовавшимися при растяжении (которые 30 лет назад я назвал «дизъюнктивными морями», т. е. морями разрыва сплошности, а теперь сторонники тектоники плит называют «задуговыми бассейнами»); примером является Японское море.



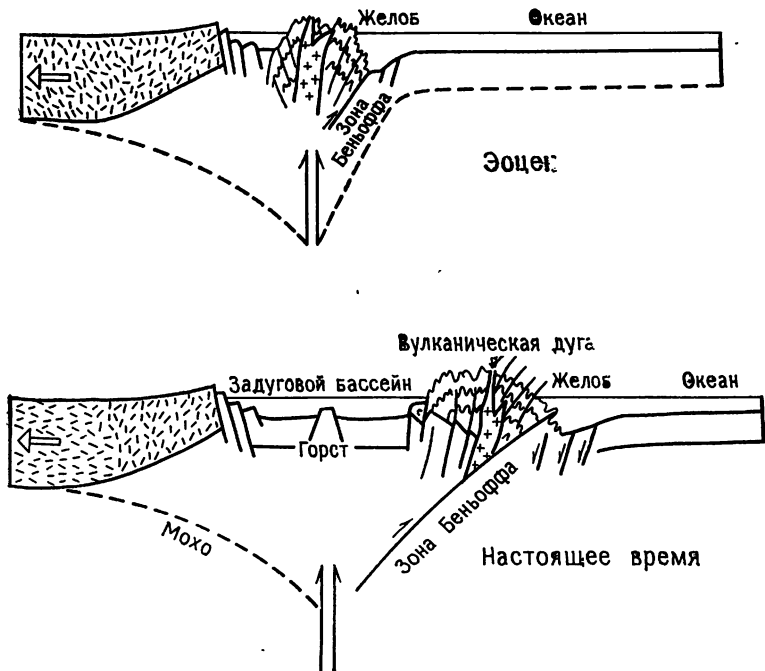


Рис. 68. Развитие задугового морского бассейна восточноазиатского типа в ходе асимметричного сближения верхней части осевой зоны островной дуги мантийным диапиром.

Проф. Форезе Вецель из Урбино показал, что здесь была расположена ось мелового орогена, но по мере того как диапир продолжал подниматься, вынося вещество из мантии, наступила стадия, когда центральная зона орогена оказалась сложенной только мантийным веществом. В результате возникло новое море, дно которого состоит из материала, поступившего из мантии (т. е. с океанической корой). Более древние «континентальные» части орогена в течение палеогена были в значительной степени отодвинуты в стороны, подобно «пене» на поверхности конвективной ячейки, хотя его остаточные «ломти»-горсты сохранились в виде хребтов в центре Японского моря. Если бы Африканские рифтовые долины раздвигались под действием подобного процесса до тех пор, пока между их бортами не образовалось расширяющееся океаническое дно, горст Рувензори остался бы в виде такого хребта в центре нового моря.

Вецель отметил, что в течение эоцена — олигоцена образование разломов растяжения преобладало на берегах по обе

стороны этих дизъюнктивных морей, после чего они были несогласно перекрыты миоценовыми молассовыми осадками. Поскольку Японское море располагается на месте размытой центральной области диапира, тепловой поток из мантии там гораздо выше нормального и обычно превышает 2,4 единицы теплового потока.

Недавно группа ученых французского океанографического судна «Жан Шарко», руководимая Ги Пато, установила отмершую ось спрединга длиной 500 км в Южно-Китайском море по обращенным к его внутренней зоне сбросовым уступам, вытянутым в направлении СВ  $50^\circ \pm 10^\circ$ , и по наклоненным наружу блокам.

Как отмечалось в связи с конусами обломочных отложений Аппалачей (рис. 66), ороген не растет однородно по всей своей длине, но в нем проявляется тенденция к формированию диапировых очагов примерно через 600—700 км. Если бы условия были симметричными, трубообразные диапиры сформировали на поверхности орогены округлых очертаний (крикогены Вецеля). Однако литосфере свойственна асимметрия, связанная с тем, что континентальная литосфера имеет тенденцию двигаться в западном направлении по отношению к океанической. В результате в зоне спрединга хребты разрастались несимметрично, поскольку приращение коры происходило не равномерно с обеих сторон, как в обычной модели тектоники плит, а главным образом на западных флангах таких хребтов. В итоге возникла цепочка бассейнов с расколотой рифтами континентальной корой на западной стороне, дном, образованным океанической корой, которая наращивалась с запада на восток, и орогенической дугой на восточной стороне.

Выдавливание соляного диапира в идеале тоже должно происходить симметрично, но соляной глетчер на рис. 53 течет только в одну сторону. Подобным же образом расширяющийся язык соляного купола Хайде (рис. 56) растет только в одном направлении. Дальше мы увидим, что существуют более убедительные фундаментальные причины асимметрии, связанные с вращением Земли. За исключением Алеутской и Зондской дуг, которые по сходным причинам обращены выпуклостью к экватору, все дуги, связанные с зонами Бенъоффа, в том числе дуги Антильских островов и Скоша, выпуклы к востоку, и орогеническое надвигание обычно направлено на восток не только в орогенах Восточной Азии, но и в орогене Кордильер.

Разрастание внутри материков, как, например, в Африканских рифтовых долинах, продолжающихся в Красном море, а также спрединг в Южной Атлантике и южной части Тихого океана происходят в значительной степени симметрично, так как в этих случаях симметричными были контролирующие ус-

ловия: первоначальный рифт на материковой платформе пересекал материковую область и затем океаническую кору, образуя срединную зону разрастания.

Из приведенного выше ясно, что орогенические зоны генетически идентичны неправильно названным «срединно-океаническим разрастающимся (спрединговым) хребтам», которые в действительности не всегда располагаются посередине океана (позднее я покажу, что в северной части Тихого океана они никогда не были срединно-океаническими), и там, где они сочленяются с орогеническими поясами, видно, что на самом деле они окружают материки (т. е. являются циркумконтинентальными).

Часто задают вопрос, почему орогенические зоны располагаются главным образом на окраинах материков? Само это представление унаследовано с тех времен, когда еще не было установлено, что материки движутся. Если реконструировать Пангею, окажется, что крупный ороген Тетис разрезает этот мегаконтинент пополам, а Каледонско-Аппалачский ороген сформировался в пределах существовавшего в то время континента, отделив Америку от Африки и Европы. Далее мы увидим, что ороген Кордильер также зародился как внутриматериковый ороген, отделивший Восточную Азию от Северной Америки и Австралию вместе с Антарктидой от Южной Америки (см. рис. 97 в гл. 22).

Орогеническая зона, раз сформировавшись, остается более разогретой и ослабленной зоной вплоть до мантии, и последующее расширение Земли обычно имеет тенденцию сосредотачиваться в этой зоне. Таким образом, в мезозое Северная Атлантика в основном следовала еще недавно активной Каледонско-Аппалачской орогенической зоне, хотя и была повернута относительно нее в результате сдвиговых явлений, что мы рассмотрим позднее. Ороген Кордильер зародился около миллиарда лет тому назад как крупная рифтовая зона, разделившая Азию и Северную Америку, и с тех пор продолжал расширяться, образовав Тихий океан. Ороген Тетис оставался ослабленной зоной, вдоль которой происходило левостороннее перемещение на огромное расстояние (об этом будет сказано в дальнейшем), но, кроме того, и раскрытие Средиземного и Карибского морей.

Другой возникающий вопрос: почему в Атлантике нет современного орогена, если орогены и испытывающие спрединг океанические хребты генетически одинаковы? Тот же вопрос можно было бы задать и о Южном океане между Австралией и Антарктидой. Ответ заключается в скорости, с которой расширяется диапир. Позднее мы увидим, что скорость расширения Земли быстро увеличивалась в течение позднемезозойского

и третичного времени. При таком быстром расширении зона разрастания вскоре сместилась за пределы остаточной континентальной коры и области быстрого осадконакопления. Таким образом, хотя мантийный диапир продолжает расти точно так же, как и раньше, только скорость его роста увеличивается, вершина этого испытывающего спрединг хребта редко достигает уровня моря, поэтому ни снос с соседнего материка, ни размыв самого этого хребта («самопожирание») не способствуют образованию осадков. Обширные подводные излияния лавы, сейсмичность (заметно пониженная из-за более высокой температуры непосредственно у поверхности), типичные корни (по сейсмическим и гравитационным данным, рис. 64), отложение сульфидов неблагородных металлов и неровности рельефа такого же масштаба, как на материковом орогене (рис. 65), — все это здесь имеется. Но здесь нет гранитов и андезитов, типичных для орогенов, расположенных рядом с материками, так как для образования этих пород необходимо присутствие осадков и остатков континентальной коры. Отсутствие зоны Беньоффа и каких-либо землетрясений с очагами на промежуточных глубинах или мелкофокусных землетрясений, приуроченных в основном к поперечным разломам, должно указывать на то, что расширение в значительной мере компенсируется излияниями базальтовых лав.

# ТЕКТОНИКА ЗЕМЛИ В ЦЕЛОМ

## 20

### Глобальное растяжение

Одним из критических замечаний Вегенера по поводу кон-тракционной теории было то, что если бы цепи складок в зем-ной коре были обусловлены сжатием глубинных частей Земли при остывании, то схема распределения складок была бы од-нородной, как при сморщивании усыхающего яблока. Но на самом деле это не так. В противоположном смысле тот же аргумент можно применить к глобальной схеме расположения на Земле структур растяжения, возникших как реакция хруп-кой коры на расширение недр планеты (рис. 69). Действитель-но, глобальная схема расположения структур расширения Зем-ли должна быть однородной.

### Иерархия расширения

Поверхность Земли содержит восемь континентальных по-лигонов по несколько тысяч километров в поперечнике, кото-рые соприкасаются друг с другом вдоль тектонически актив-ных зон (рис. 20). В теории тектоники плит эти полигоны на-зываются плитами и имеют толщину около 100 км. Я полагаю, что это многоугольные призмы, протягивающиеся вниз на всю мощность мантии, т. е. до глубины около 3000 км. Я спраши-ваю: что представляет собой первичная неоднородность Зем-ли? Несомненно, жидкое ядро с радиусом почти в половину земного, перекрытое кристаллической мантией. И, конечно, сле-дует ожидать, что эта главнейшая неоднородность должна наиболее отчетливо проявляться на поверхности. Это в дей-ствительности и имеет место.

Первичные полигоны мощностью 3000 км, как уже говори-лось, достигают в поперечнике нескольких тысяч километров;

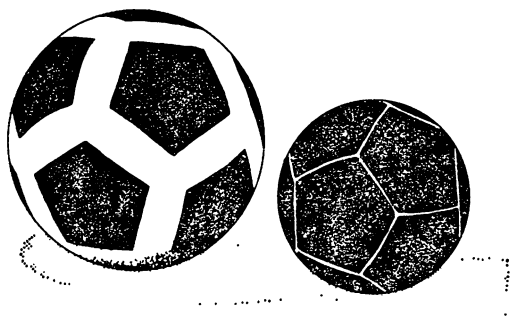


Рис. 69. Однородное распределение растяжения в коре.

Если бы мощность кристаллической мантии была равна только 1000 км, мы должны были бы ожидать, что на поверхности проявляется примерно двадцать первичных полигональных призм. Обратите внимание на рис. 20, что каждый первичный полигон (в том числе сформировавшийся более 100 млн. лет назад полигон Эопацифика, иногда называемый «плитой Дарвина», которая проявляла себя как континент) состоит из материка, окруженного нарастившей его океанической корой, которая добавилась к нему в основном за последние 100 млн. лет. Если эту новую, приращенную кору удалить, полигоны уменьшатся до половины своего размера. Это заставляет предположить, что первоначально кристаллическая мантия имела мощность лишь около 1500 км, что согласуется с величиной расширения, найденной по другим данным.

Далее я задаюсь вопросом: что представляет собой неоднородность Земли второго ранга? — Конечно, астеносфера, более слабая и легче поддающаяся воздействию тектонических процессов зона, которая отделяет примерно 100 км более прочной литосферы, лежащей выше, от находящейся на больших глубинах мантии. Несомненно, мы могли бы ожидать, что присутствие этой неоднородности также должно проявляться на поверхности как следующая самая заметная особенность после первичных полигонов, и это, конечно, действительно так (рис. 70). Первичные полигоны состоят из многоугольных в плане впадин второго порядка и разделяющих их валлообразных поднятий. Какой-то критик однажды возразил, что такие впадины и поднятия ограничены пределами материков. Так ли это? На рис. 71 показано, что этот структурный рисунок распространяется на континентальную и океаническую литосферу по всей поверхности Земли без какого-либо заметного различия между материками и океанами.

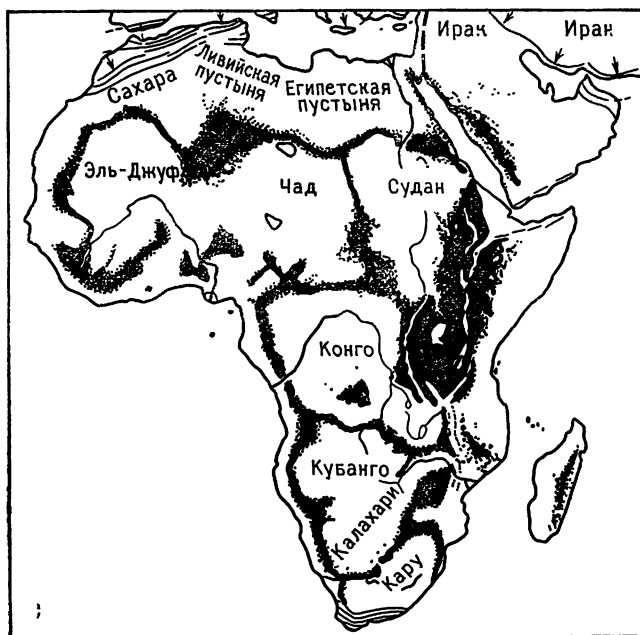


Рис. 70. Впадины и поднятия Африки (по А. Холмсу).



Рис. 71. Распределение впадин и поднятий второго порядка на континентальной и океанической коре одинаково.

Если посмотреть на всю Землю в целом, несомненно, самая большая доля идущего из глубин Земли тепла, поднимаясь разными путями от ядра, выделяется в активно разрастающихся хребтах, разделяющих первичные полигоны. С удалением от расширяющихся хребтов величина теплового потока уменьшается. Точно так же и в полигонах второго порядка: выше всего тепловой поток вдоль валообразных поднятий. В самом деле, именно поэтому они и являются поднятиями. Большая часть минеральных субстанций существует в разных формах в соответствии с температурой и давлением. Так, кремнезем присутствует в виде кварца в условиях малых глубин, в форме более плотного коэсита на большей глубине и в форме еще более плотного стишовита на еще больших глубинах. Углерод кристаллизуется в виде графита у поверхности и в виде более плотного алмаза при высоком давлении. Порода, называемая габбро, на умеренных глубинах состоящая из полевого шпата и авгита, изменяется до гораздо более плотной смеси граната и жадеита, известной под названием эклогит. По сравнению с давлением температура дает противоположный эффект. Так, если в двух местах на глубине имеются породы одинакового состава, но в одном месте температура выше, чем в другом, то глубина, на которой происходит каждое изменение плотности, будет больше на том участке, где температура выше, и это означает, что оно испытывает воздымание подобно поднимающемуся тесту. Таким образом, поднятия постепенно растут, поскольку температура под ними выше, а дно впадин по-прежнему остается низким, так как температура под ним ниже (рис. 72).

Больше всего землетрясений происходит, несомненно, на границах первичных полигонов. Но валообразные поднятия второго порядка тоже сейсмически активны, что можно обнаружить, если нанести на карту эпицентры тысяч очень слабых землетрясений. В некоторых случаях разломы, связанные с поднятиями, развиваются в крупные рифтовые долины, подобные рифтам, которые обрамляют впадину озера Виктория в Африке.

По мере того как Земля расширяется, первое приспособление к уменьшающейся кривизне поверхности происходит в основных испытывающих опрессинг хребтах, но если бы этим дело ограничивалось, то кривизна внутри первичных полигонов осталась бы слишком большой. Литосфера недостаточно прочна, чтобы в ней могло сохраняться крупное нарушение изостатического равновесия, поэтому поверхность первичных полигонов приспособляется к средней величине новой кривизны за счет сети разломов, размеры которой определяются толщиной коры до астеносферы. Этот механизм лежит в основе образова-



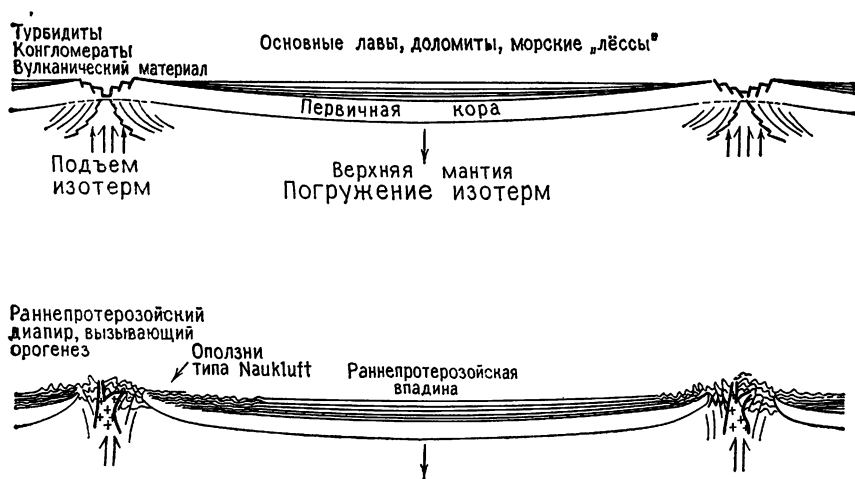


Рис. 72. Схема расположения раннепротерозойских пассивных впадин, обрамленных активными диапировыми поднятиями, которые могут развиваться в рифты, рассекающие кору, а затем в орогенезы.

ния впадин и поднятий второго порядка. Но даже в этом случае несбалансированная нагрузка на породы должна все еще превышать их прочность, и поэтому приспособление продолжается на более низких уровнях иерархии растяжения — третьего, четвертого порядка и т. д.

На рис. 73 жирными линиями очерчены полигоны, достигающие в поперечнике нескольких десятков километров. Как обнаружили японские исследователи, они колеблются независимо один от другого во время землетрясений, и в пределах этих полигонов локализованы слабые землетрясения. Внутри них имеются полигоны еще более высокого порядка, приблизительно по 5 км в поперечнике, которые испытывают наклоны независимо друг от друга и имеют еще более низкий уровень сейсмичности. Эта иерархия опускается до крупных трещин, разделенных расстоянием в несколько сотен метров, а внутри разделяемых ими блоков в свою очередь имеются системы трещин, нарушающие все породы; эти трещины обеспечивают конечную реакцию на изменяющуюся кривизну земной поверхности и на любые другие напряжения, которые может испытывать литосфера. Во всех регионах земной поверхности (за исключением областей развития наиболее молодых осадков, еще способных течь, а не раскалываться) возникают две системы трещин, располагающиеся почти под прямым углом друг





Рис. 74. «Первичный» глобус Фогеля внутри прозрачного глобуса, соответствующего современной Земле. Показано, что современное разобщение материков обусловлено главным образом их перемещением в радиальном направлении от центра Земли по мере ее расширения. Сравните это с компьютерной реконструкцией Перри, приведенной на рис. 76.

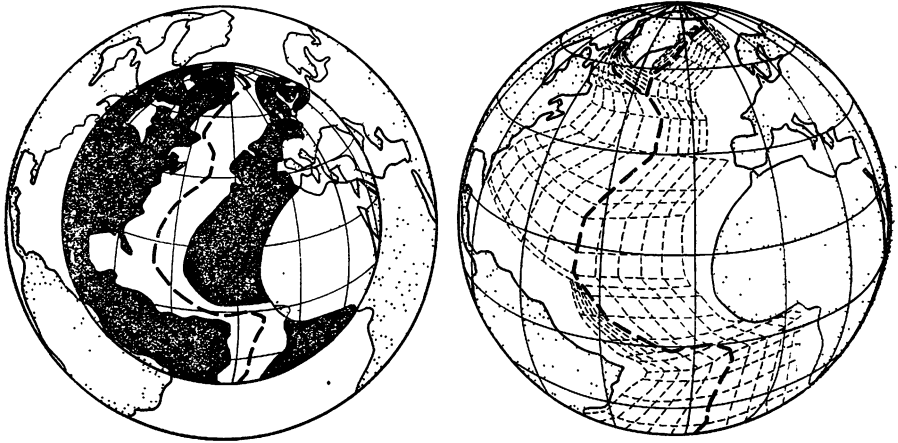
Клаус Фогель, инженер из Германской Демократической Республики, — один из тех ученых, кто подогнал все материки друг к другу на глобусе, почти вдвое меньшем по размеру, чем нормальный глобус, материки на котором изображены в таком же масштабе, и предположил, что континентальная кора сначала покрывала всю Землю, но была расколота и разошлась в стороны по мере того, как Земля расширилась до своего нынешнего объема. Но Фогель сделал еще один шаг. Он поместил свой реконструированный глобус, изображающий Землю до ее расширения, внутрь прозрачного внешнего глобуса, чтобы в одной модели показать соотношение первоначальной и современной Земли (рис. 74, 75). Фогель обнаружил то, что д-ра Шмидт и Эмблтон установили значительно позже: разделение матери-



Рис. 75. Фогель (справа) показывает свою модель «глобус в глобусе» автору этой книги (Вердау, ГДР, январь 1976 г.).

ков происходило, когда в процессе расширения Земли они двигались *радиально*, отходя в разные стороны друг от друга.

П. В. Шмидт и Б. Дж. Эмблтон, два австралийских палеомагнитолога, исследовали «пути миграции полюсов» на различных материках в течение протерозойского эона. Поворачивая материки (вместе с установленными на них траекториями перемещения полюсов) до тех пор, пока эти кривые не совпадут, они надеялись определить взаимное расположение материков на протяжении этого периода времени. К своему удивлению (а они верили в тектонику плит), они обнаружили, что пути миграции полюсов для Северной Америки, Гренландии, Африки и Австралии совпали (в пределах погрешности этого метода) тогда, когда эти материки заняли их *современную* позицию на глобусе, где они *разделены большими расстояниями!* Это заставило предположить, что угловое расположение материков относительно центра Земли в настоящее время примерно такое же, какое они занимали больше миллиарда лет назад, и что их разобшение на современной поверхности Земли обусловлено радиальным перемещением материковых блоков от центра Земли по мере ее расширения. Шмидт и Эмблтон сообщили об этом неожиданном результате в статье «Гео-



**Рис. 76.** Выполненная К. Перри компьютерная реконструкция раскрытия Атлантического океана. Изображенную на рис. 74 модель Фогель сделал у себя дома в Вердау. Эту модель Перри построил у себя дома в Вайоминге, введя в программу для своего компьютера радиальное перемещение материков от центра Земли, начиная от их положения в Пангее. Внутренний глобус Перри уже был расширен на 25%. На глобусе справа показаны полосы роста и современный испытывающий спрединг океанический хребет, воссозданные с помощью компьютерных расчетов.

тектонический парадокс: расширилась ли Земля?», опубликованной в «Journal of Geophysics» в 1981 г.

Именно в этом, несомненно, заключается смысл проведенного д-ром Паркинсоном анализа данных НАСА (с. 192—193) об увеличении длины хорды между Европой и Северной Америкой и между Австралией и Южной Америкой. Эти явления полностью объясняются удлинением радиуса Земли, происходящим со скоростью  $2,4 \pm 0,8$  см/год, установленной по увеличению хорды между Австралией и Северной Америкой без какого бы то ни было движения «плит».

Доктор Кен Перри из Вайоминга с геометрической точностью продемонстрировал то, что Фогель обнаружил с помощью своих глобусов. Он составил программу на основе матричной алгебры и скрытолинейного алгоритма, согласно которой материи могли перемещаться радиально от центра Земли, используя один центр подобия и один полюс вращения, и изобразил последовательные стадии расположения материков на различных проекциях (рис. 76). Программа Перри с успехом воспроизвела последовательные положения разрастающихся океанических хребтов, зон разломов и полосовых магнитных аномалий, и по этим данным он рассчитал величину радиального

расширения, соответствующую каждой аномалии. Кроме того, Перри показал с помощью прямого расчета, что эта геометрическая модель совместима *только* с радиально расширяющейся Землей.

## Материки, спаянные с мантией

Одним из сюрпризов начала 1960-х годов было то, что величина теплового потока на материках оказалась статистически точно такой же, как и величина теплового потока, проходящего через дно океанов. Доктор В. В. Белоусов из АН СССР и д-р Уве Вальцер из Академии наук ГДР независимо друг от друга отметили, что это общее равенство теплового потока на материках и в океанах противоречит тектонике плит. Известно, что генерация радиогенного тепла в континентальной коре на порядок больше, чем в океанической коре. Если бы континентальная литосфера двигалась над пассивной мантией по пластичной астеносфере, то тепловыделение из-под астеносферных зон Земли было бы в общем повсеместно равномерным и поэтому тепловой поток на материках был бы значительно выше, чем в океанах. С другой стороны, если бы радиогенные элементы поступали в материковую кору за счет дифференциации вещества мантии, фиксированного под ней, то суммарный тепловой поток был бы повсюду более или менее постоянным независимо от степени дифференциации. Более поздние исследования усилили этот парадокс, так как средний тепловой поток по новейшим данным оказался равным на материках и в океанах соответственно 60 и 91 мВт/м<sup>2</sup>. Эта разница предсказывается моделью расширения Земли, поскольку, согласно этой модели, большая часть океанической коры за последние 100 млн. лет поднялась примерно на 30 км, принеся с собой более высокие температуры. Это избыточное тепло радиоактивных элементов с большим периодом полураспада все еще рассеивается с экспоненциально уменьшающейся скоростью и повышает нормальный тепловой поток.

Два сейсмолога из Гарварда Адам Дзевонски и Джон Вудхаус недавно исследовали, как передаются колебания сильных землетрясений, каждое из которых было зарегистрировано на тридцати или более сейсмических станциях, с тем чтобы выяснить распределение температур ниже поверхности Земли. Они построили глобальные карты температур на глубинах приблизительно 100 и 340 км. Не удивительно, что аномально высокие температуры, как оказалось, распространяются вниз под раздвигающимися океаническими хребтами, кора которых образовалась за последние 100 млн. лет. Но они не ожидали, что

аномально пониженные температуры под материковыми ядрами также сохраняются далеко в глубь Земли, как это видно на картах, построенных для глубин 100 и 340 км и даже на еще больших глубинах — более 500 км. Это именно то, что предсказывает теория расширения Земли. Но такие факты совершенно противоречат тектонике плит, для которой необходимы отрыв литосферных «плит» от мантии и их свободное относительное перемещение на большие расстояния по астеносфере. Даже более древние части дна Тихого океана (сформировавшаяся более 100 млн. лет назад «плита Дарвина», которая с тех пор ведет себя как континент) остаются прикрепленными к подстилающей их мантии. Доктор Вудхаус отметил: «Это все еще представляет большую трудность. Теперь об этом надо подумать». Но эта «большая трудность» существует только для тектоники плит.

П. Д. Лоумен-мл. из Годдардовского центра космических полетов подтвердил эти данные и указал на механические препятствия перемещению континентов относительно подстилающей их мантии:

«Проведенные недавно исследования выявили три проблемы, связанные с концепцией континентального дрейфа, как дополнительное следствие движения плит: 1) сила субдукционного затягивания не может тащить плиты, передними краями которых являются континенты, 2) под щитами отсутствует зона пониженных скоростей и 3) материки имеют корни до глубин 400—700 км. Эти проблемы означают, что если дрейф континентов происходит, он должен осуществляться посредством механизмов, которые нам пока не ясны, или что он вовсе не происходит, и в этом случае движение плит ограничивается океанскими впадинами».

Лоумен прав, перемещение действительно ограничено океанскими впадинами на расширяющейся Земле, в которых выдвигается новая кора, тогда как относительно отодвигающиеся друг от друга континенты пассивно покоятся на собственной мантии, как это показано в модели Фогеля (рис. 74) и компьютерной реконструкции Перри (рис. 76). В ретроспективе это доказывает правильность интуитивной догадки Джеффриса о том, что горизонтальное скольжение плит физически невозможно; но его ошибка заключалась в том, что он не осознал расширения Земли.

Глобусы Фогеля, геометрический анализ Перри, пути миграции полюсов Шмидта и Эмблтона, однородность теплового потока на материках и в океанах и распределение температур в глубоких зонах Земли, установленное Дзевонски и Вудхаусом по сейсмическим данным, — пять совершенно независимых методических подходов. И все они указывают на то, что разобщение континентов было вызвано радиальным перемещением континентальных блоков от центра Земли в процессе расширения.

## 21

## Глобальные кручения

Сделанный в предыдущей главе вывод о том, что блоки континентальной коры переместились в радиальном направлении от центра Земли более чем на 2000 км, имеет ряд неизбежных следствий. Вне зависимости от какого бы то ни было воздействия на общую скорость вращения Земли относительная скорость перемещения к востоку расположенного по обе стороны от экватора материкового блока, подобного Африке, вероятно, должна была увеличиться на несколько сотен километров в час, чтобы не отставать от суточного вращения Земли, в отличие от полярного материкового блока, подобного Антарктиде, скорость движения которого не должна была существенно измениться. Скорость движения к востоку северной части такого блока, как Южная Америка, должна была бы увеличиться в значительно большей мере, чем его южной части. Эти изменения происходят очень медленно — со скоростью всего около сантиметра в год, — и мы уже видели, что при движениях такого порядка кристаллическая мантия в целом течет подобно леднику. Очевидно, следует ожидать, что при этом в веществе возникнут сдвиговые перемещения. Когда смещение по сдвигу происходит вправо вокруг земного шара, возникает кручение.

Теоретически можно ожидать, что на вращающемся небесном теле, обладающем силой тяжести, отчасти жидком, а отчасти пластичном (т. е. способном за длительные периоды времени течь в твердом состоянии, как жидкость), происходят различные крупномасштабные вращения, но строгий математический анализ таких вращений не проводился. Д-р В. С. Жардецкий, опубликовавший за последние три десятилетия серию статей по этому вопросу в журналах Сербской Академии наук, Венской Академии наук, Американского геофизического союза и в журнале «Science», — один из немногих математиков, которые могли бы решить эту задачу. После моих дебатов с проф. Бухером в Колумбийском университете в 1960 г. д-р Жардецкий предложил мне работать над этими проблемами вместе, и, вернувшись в Университет Тасмании, я договорился, что он, находясь на пенсии, сможет сотрудничать со мной в разработке этих проблем. Но, к сожалению, он умер как раз перед тем, как приступить к этой работе. Поэтому я снова обратился к эмпирическому рассмотрению данных о таких движениях.



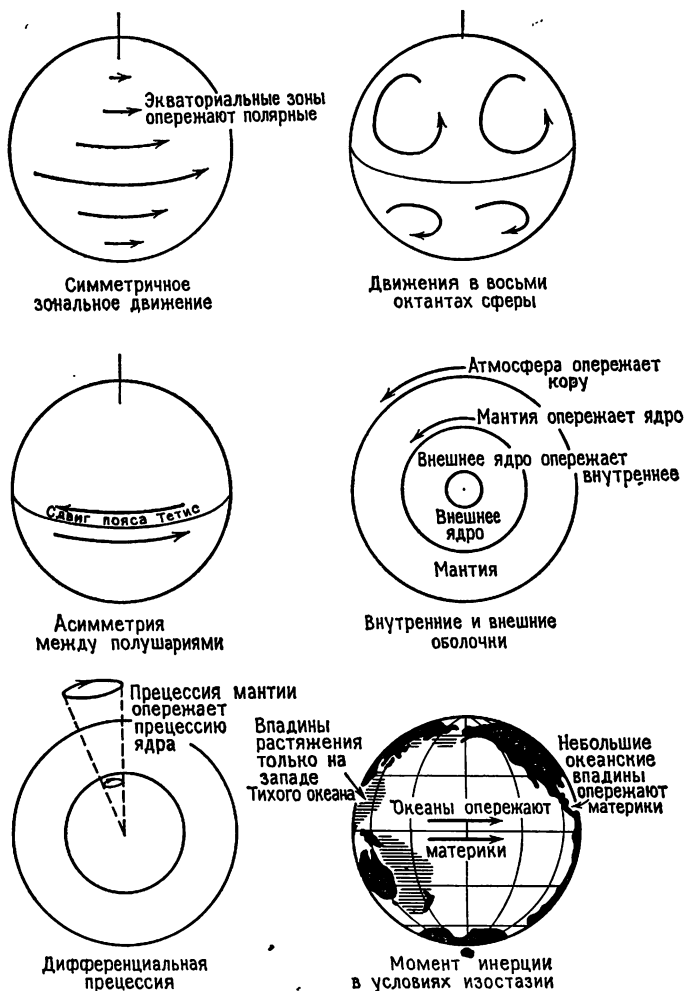


Рис. 77. Виды вращения внутри Земли.

Можно выделить следующие типы движений: 1) движения между полушариями; 2) дифференциальные движения континентальной и океанической литосферы; 3) движения, происходящие в каждой одной восьмой части сферы, как показано на правой верхней схеме земного шара на рис. 77; 4) межзональные движения, например перемещения экваториальных зон относительно циркумполярных зон; 5) дифференциальные движения между оболочками, например между ядром и мантией,

мантией и литосферой, литосферой и гидросферой и между гидросферой и атмосферой; 6) дифференциальная прецессия оболочек и 7) неосевое вращение Земли в целом (миграция полюсов) и, возможно, какие-либо другие (рис. 77).

1. Вращение между полушариями действительно происходит, и оно является главной темой этой главы.

2. Благодаря силе тяжести все участки литосферы стремятся к состоянию равновесия за счет плавучести, причем области с меньшей плотностью (континентальные) поднимаются выше относительно уровня геоида, чем области с большей плотностью (океанические). Следовательно, поскольку вклад континентов в момент инерции больше, чем вклад океанов, они имеют тенденцию сползать на запад, тогда как океаны стремятся смещаться на восток. Следующие из этого выводы рассматриваются ниже в разделе «Причина тетического кручения».

3. Наличие вращений в каждом из октантов (1/8 части) сферы предполагал ряд авторов (Сакухен Фудзивара, Пьер Сен-Аман, Хьюго Бенъофф, Бик Чинчан и др.). Любой блок, движущийся к экватору, удаляется от оси вращения Земли, и поэтому скорость его перемещения в восточном направлении должна увеличиваться, иначе он отстанет (т. е. сдвинется на запад). Это влияние силы Кориолиса больше всего в средних широтах. Скорость смещения в восточном направлении любого блока, движущегося радиально от центра Земли, также должна увеличиться, или он отстанет и сместится на запад, но поскольку этот эффект максимален на экваторе, вращения в октантах сферы должны происходить в результате действия той же самой кориолисовой силы. Однако большая часть установленных эмпирически вращений, рассматривавшихся упомянутыми выше авторами, вызывается не силой Кориолиса, а другой причиной (возможно, инерционным нарушением, обусловленным областями повышения температур из-за асимметричности теплового потока).

При своем подъеме вещество диапира, расплавленное или твердое, удаляется от центра Земли и поэтому при вращении имеет тенденцию отставать по сравнению с новым для него обрамлением, т. е. отклоняться к западу. Следовательно, можно ожидать, что в зоне спрединга новая кора, как правило, будет легче наращиваться вдоль ее западной стороны, чем вдоль восточной, и это должно давать такой же эффект, что и инерционные силы, упоминавшиеся выше. В результате в активных диапировых орогенах новая кора должна наращиваться на их западных флангах, с каждым новым эпизодом наращивания расширяя участок новой коры между активным орогеном и смежным материком, что мы наблюдаем у западных

(азиатских) берегов Тихого океана. В отличие от этого вдоль восточных берегов Тихого океана оси орогенов палеозойского, мезозойского и третичного возраста вряд ли смещались одна относительно другой, и новая кора внедрялась на их западных флангах. Подобным же образом материал, движущийся к экватору, должен отклоняться **на запад, а материал, перемещающийся к полюсу, — на восток**, что может проявиться как направленные к западу движение экваториальной зоны и направленное к востоку движение приполярной зоны.

4. Я не наблюдал межзональных движений типа тех, предположение о которых только что было высказано, или других зональных движений, хотя некоторые авторы (В. С. Жардецкий, М. Боголепов, У. Ф. Таннер, У. Н. Джиллиленд, Т. Х. Нелсон и П. Г. Темпл, Р. Дернли и Г. Томас и др.) считали, что они существуют. Возможно, я ослеплен собственными убеждениями. Как я полагаю, причина в том, что первоначальное расширение разбивает мантию и литосферу на первичные полигоны, изображенные на рис. 20, и вторичные полигоны, показанные на рис. 71, так что результат зонального движения выражен во вращении этих блоков. Но это заставляет предположить течение в ядре и, возможно, в мантии. Жардецкий писал, что «ни в одном небесном теле нет никаких следов механического равновесия», и я должен согласиться, что во временном масштабе геотектоники Земля в целом представляет собой жидкое тело, за исключением коры, по своей относительной толщине сравнимой с яичной скорлупой. Несомненно, смещение экваториальной зоны к востоку относительно полярных областей имеет место на Солнце, Юпитере и Сатурне. Однако эти движения и те, о которых писал Жардецкий, происходят в газообразной оболочке, и такое же экваториальное зональное движение должно происходить в атмосфере Земли, вызывая сильные струйные течения.

5 и 6. Данные о том, что мантия обгоняет в своем вращении ядро, а атмосфера — литосферу, а также сведения о дифференциальной прецессии коры и мантии были представлены в гл. 2 в связи с геомагнитным полем.

7. Американский сенатор Эстес Кефаувер, говорят, высказал опасение, что атомные взрывы могут вызвать отклонение земной оси. Его можно успокоить, потому что если миллион бомб разместить так, что их взрывы дадут наибольший суммарный эффект и каждый взрыв высвобождает энергию в  $10^{11}$  МДж, земная ось может сместиться всего на 1 см! Тем не менее существует множество данных о том, что полюсы блуждали в прошлом и мигрируют сейчас. Помимо колебательных движений Северный полюс вращения Земли за последние сто

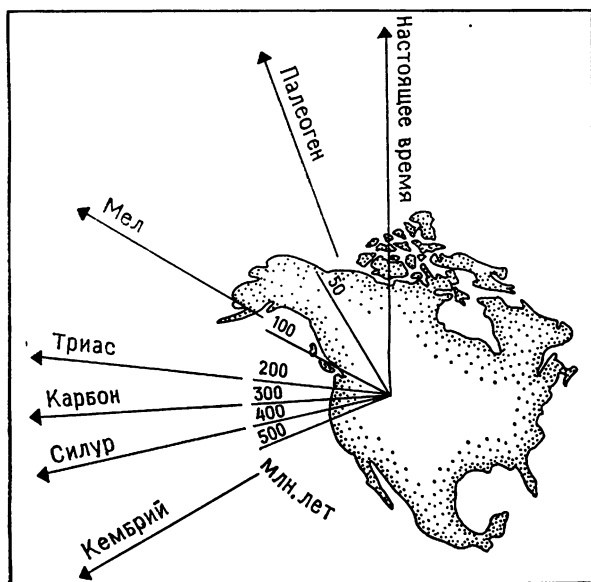


Рис. 78. Вращение Северной Америки по палеомагнитным данным.

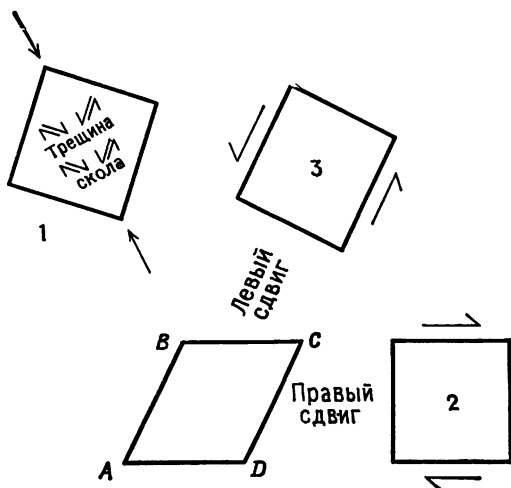
лет сместился примерно на 10 м от Северной Америки в сторону Сибири. Это, может быть, прозвучит не очень научно, но если бы такое перемещение сохранялось в течение длительного времени, то через каких-нибудь 90 млн. лет Сингапур вследствие этого оказался бы на Северном полюсе. В геологических масштабах времени это не так уж и долго. Палеомагнитные данные не оставляют сомнений в том, что в прошлом миграция полюса обычно происходила со скоростью того же порядка.

За последние 400 млн. лет Северная Америка повернулась приблизительно на  $90^\circ$  относительно Северного полюса (рис. 78), и я полагаю, что это было вызвано вращением всей литосферы вокруг Центральной Америки, о котором подробнее будет сказано позднее. Это движение могло быть обусловлено вращением литосферы относительно мантии (что исключается постоянством первичных полигонов, как говорилось раньше в данной главе), либо вращением мантии относительно ядра, либо вращением Земли как целого. Направление момента импульса Земли по отношению к неподвижным звездам должно сохраняться, если не считать изменения под действием моментов внесемных сил, таких, как сила притяжения Солнцем и Луной асимметричной выпуклости Земли. Асимметричное

относительно земной оси распределение частичного плавления в мантии, давшего огромный объем юрских базальтов и долеритов, должно было вызвать образование крупного вздутия в Пангее, которое, вероятно, нарушило момент инерции Земли, несмотря на изостатическое равновесие. Это должно было вызвать как колебания оси, так и медленную миграцию полюса до тех пор, пока Земля не стала вращаться вокруг новой оси, соответствующей максимальному моменту инерции. К такому же результату должен был бы привести большой рост нового океанического дна в Южном полушарии, сосредоточенный вблизи Фолклендских островов (как будет описано далее в этой главе).

Столкновение с астероидом могло создать внешний момент сил, необходимый для того, чтобы изменить направление оси вращения Земли, но ненамного. Если бы Церера, самый крупный астероид с диаметром 1025 км и массой  $10^{19}$  т, столкнулась с Землей по касательной, то этот удар мог отклонить земную ось примерно на  $10^\circ$ , а два следующих по величине астероида — Веста (555 км) и Паллада (538 км) — могли бы изменить положение оси всего градуса на два. Реальное смещение должно быть гораздо меньше этого, так как большая часть кинетической энергии, вероятно, тотчас же рассеивается в виде тепла, а вещество астероида и сравнимая с ним масса земного вещества в месте удара испаряются и ионизируются, превращаясь в плазму. Поэтому столкновения с астероидами не являются причиной установленного смещения полюсов, достигающего больших угловых величин.

Прежде чем продолжить рассуждения, давайте четко определим значение некоторых терминов. Показанный на рис. 79 ромб *ABCD* мог образоваться в результате сжатия квадрата 1, или сдвига по часовой стрелке квадрата 2, или сдвига против часовой стрелки квадрата 3. Если бетонный блок подвергать сжатию, как блок 1, пока он не разрушится, в нем могут возникнуть вместе трещины скола как по часовой стрелке (квадрат 2), так и против часовой стрелки (квадрат 3). Поэтому сколы такого типа называют «сопряженными»; это значит, что они «соединены вместе» и образуются одновременно в ответ на одно и то же напряжение. Вместо слов «по часовой стрелке» и «против часовой стрелки» для них обычно используют слова «правосторонний» (дэкстральный) и «левосторонний» (синистральный) (от лат. *dexter* — правый и *sinister* — левый). Сопряженные напряжения перпендикулярны друг к другу, а возникающие под их действием трещины пересекаются под углом около  $60^\circ$ , что связано с необходимостью преодолеть внутреннее трение до того, как трещина может образоваться.



Фиг. 79. Ромб  $ABCD$  мог образоваться в результате деформации из квадрата под действием любого из этих типов напряжения.

Полвека назад я осознал, что Земля в глобальном масштабе испытала левостороннее сдвиговое перемещение, но скажи я об этом тогда, меня объявили бы сумасшедшим, так как в то время сдвиговые перемещения даже в десятки километров, а тем более сдвиговые смещения на сотни или тысячи километров находились вне рамок ортодоксального научного мышления. Это было до того, как в 1946 г. проф. У. К. Кеннеди показал, что вдоль разлома Грейт-Глен (Великой долины Шотландии) произошел левый сдвиг на 100 км, и до того, как в 1953 г. Мейсон Хилл и Томас Диббли сообщили о том, что по сдвигу Сан-Андреас произошло правостороннее перемещение на 300 км и что разломы Гэрлок и Биг-Пайн являются сопряженными с ним левыми сдвигами. И только в 1960-х годах существование таких движений указанного мной масштаба было широко признано.

В этой главе я покажу, что Земля подверглась воздействию двух процессов кручения панглобального масштаба, происходивших вдоль двух огромных кольцевых зон, которые располагались по большим кругам перпендикулярно относительно друг друга: по левосторонней Тетической зоне кручения и сопряженной с ней правосторонней Циркумтихоокеанской зоне кручения. Кручение в Тетической зоне происходило вдоль экватора, а Циркумтихоокеанская зона кручения проходила че-

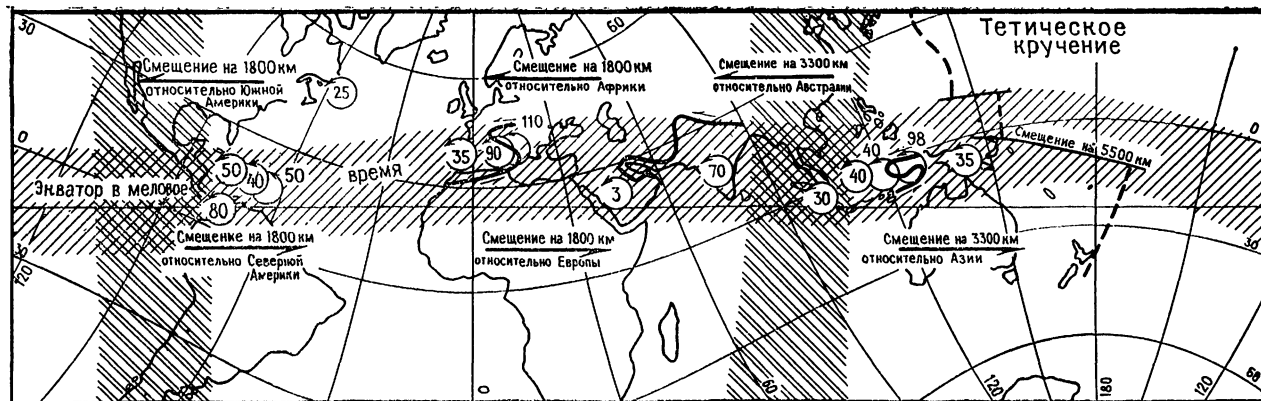


Рис. 80. Левостороннее кручение в зоне Тетис и сопряженное с ним правостороннее кручение. Центральные большие круги этих зон на картах в меркаторской проекции расположены под прямым углом друг к другу.

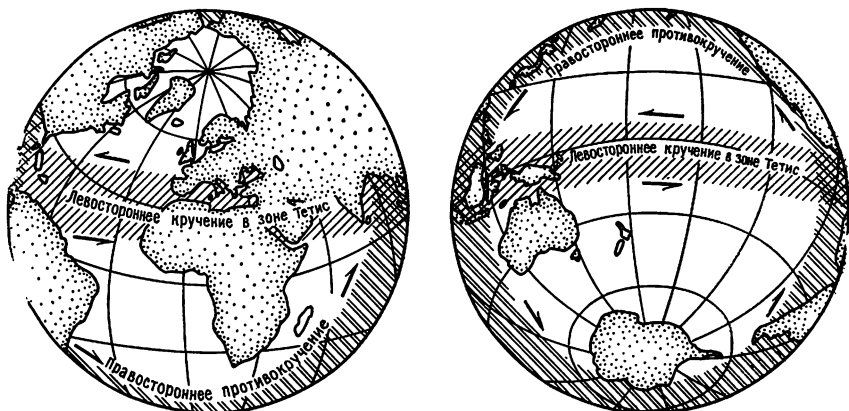


Рис. 81. Карты «материкового» и «океанского» полушарий в равноплощадной проекции, на которых видно, что Тетическая зона левостороннего кручения и сопряженная с ней зона правостороннего кручения взаимно пересекаются под прямыми углами.

рез полюсы Земли и отделяла ее «материковое полушарие» от «океанского полушария». Там, где они пересекаются под прямыми углами, возникают области раздробления — в Вест-Индии и Ост-Индии (рис. 80, 81).

### Тетическое кручение

В 1938 г. после четырех лет полевых работ на Новой Гвинее я написал в своей докторской диссертации: «Новая Гвинея была смещена в западном направлении по колоссальной системе сдвигов более крупного масштаба, чем все сдвиги, проявившиеся в любом другом месте на земном шаре... Эти огромные смещения к западу по величине соизмеримы с поперечником материков. Вероятно, они связаны с главными тектоническими структурами Земли».

На симпозиуме в Хобарте в 1956 г. я проследил эту зону левостороннего кручения вокруг всей Земли. Если обе Америки соединялись с Африкой, как это было показано в построенной с помощью ЭВМ реконструкции Булларда (рис. 29), то Северная Америка переместилась на 1800 км дальше, чем Южная, о чем свидетельствует левостороннее относительное смещение на 1800 км в районе Центральной Америки. Если Северную Америку сдвинуть назад и поместить против Африки, опять же



в соответствии с компьютерной реконструкцией, то Европу придется сдвинуть на 1800 км к западу относительно Африки. Примерно 700 км этого сдвигового перемещения проявляется в разворачивании ороклинов Средиземноморья (рис. 14), к чему следует добавить смещение по Марокканской зоне сдвига к югу от Рифа. Если реконструировать Пангею, закрыв искусственное зияние, то окажется, что Австралия смещена по левому сдвигу на 3000 км относительно Азии. Это видно в деталях при сравнении относительных положений Австралии и Китая на рис. 94 и 96 в гл. 22. «Андезитовая линия», показанная пунктиром в западной части Тихого океана на рис. 80, испытала левостороннее сдвиговое смещение на 5500 км от Новой Гвинеи до островов Самоа. Недавно С. Дж. Пигрем из Австралийского бюро минеральных ресурсов и Дж. Б. Супанджоно из Индонезийского центра геологических исследований и развития сделали вывод о перемещении «террейна» Сула от восточной части Новой Гвинеи до острова Сулавеси:

«Эти исследования показывают, что стратиграфия отложений платформы Сула не коррелирует ни с одним из предполагаемых мест ее зарождения на территории Ириан-Джая. Однако мы обнаруживаем превосходную корреляцию между стратиграфией домеловых отложений платформы Сула и той части Австралийского кратона, которая расположена на Папуа — Новой Гвинее между 141 и 145° в. д. Это заставляет предположить, что платформа Сула была сорвана из области, находящейся на 1200 км восточнее любой ранее предполагавшейся области ее первоначального расположения, что означает общее перемещение более чем на 2500 км».

Непосредственно вокруг Тетического кольца блоки, отколовшиеся от материков, и частные орогенические пояса *повернуты влево* в результате сопротивления кручению (см. табл. 2 в гл. 9). К ним относятся Испания (повернутая на 35°), Корсика — Сардиния (на 90°), Италия (на 110°), Индия (на 70°), остров Серам (на 100°), Новая Гвинея (на 35°), мезозойский Мексиканский ороген (на 130°), Колумбийский ороген (на 40—60°), Большие Антильские острова (на 35—45°) и Ньюфаундленд (на 25°). Данные о каждом из этих поворотов я опубликовал, и позднее они подтвердились палеомагнитными измерениями. (В Малайзийско-Индонезийском архипелаге имеются также вращения в противоположном направлении, обусловленные сопряженным циркумтихоокеанским кручением, которое будет рассмотрено в дальнейшем).

Когда орогенический пояс подвергается такому кручению, он приобретает S-образную форму, если смещение левостороннее, и Z-образную форму, если оно правостороннее. Вокруг Тетической зоны кручения располагается несколько ороклинов, испытавших левостороннее смещение: Атлас в Северной Африке, Сицилия — Италия и Альпы (рис. 14); Загрос в Иране — Бе-

луджистан — Кашмир — Гималаи (рис. 12); Суматра — Ява — петля Банда — юго- и северо-восток Сулавеси — Зондский выступ до Новой Гвинеи; петля, идущая от северной Венесуэлы, через Тринидад, Малые и Большие Антилы — это южная половина такой S-образной структуры, северная половина которой представлена крупным левосторонним мегасдвигом, проходящим через желоб Кайман и зоны сдвигов Мотагуа и Клиппертон. (В противоположность этому парная по отношению к ней структура в зоне Гималаи — Ассам — Таиланд — Малайзия — Суматра имеет Z-образную форму и относится к сопряженному циркумтихоокеанскому кручению.)

Тетическое кручение проявляется в каждой крупной структуре. На рис. 82 показано, как сложная картина заполненных осадками глубоких трогов и изгибов в структуре домезозойского фундамента, протягивающихся через северо-западную Венесуэлу и Колумбию, может быть преобразована в обстановку, существовавшую 150 млн. лет назад. Для этого надо вернуть в прежнее положение структуры, испытавшие левостороннее смещение, которое расширило этот регион, напоминаящий ныне растопыренные пальцы руки. Левостороннее кручение преобладает в структурном рисунке Пуэрто-Рико, где присутствуют складки и надвиги северо-западного простирания, меридионально ориентированные разломы растяжения и широтные левосторонние сдвиги. На рис. 83 Мануэлем Итурральде-Винентом из Кубинской Академии наук показано, что перед тем, как структуру Кубы нарушило тетическое кручение, она представляла собой типичный ороген (ср. с рис. 62), содержащий миогеосинклинальные осадки вдоль северного края с надвинутыми на них офиолитами, на которые в свою очередь надвинуты мощные эвгеосинклинальные отложения; в осевой зоне этот ороген прорван гранитами и перекрыт чехлом вулканитов, завершающих процесс развития орогена. Затем Куба была вовлечена в движение между разветвляющимися левосторонними мегасдвигами, вызванными кручением в зоне Тетис, в то время как сопряженные правые сдвиги нарушили ее структуру под косым углом к простиранию этой зоны.

Аналогично этому, как видно из рис. 14 в гл. 9, Европу можно переместить назад в западном направлении относительно Африки до того положения, где она должна была находиться, чтобы Америка окаймляла Африку так, как это показано на схеме, построенной с помощью компьютера. Тогда Пиренейский полуостров должен повернуться как один блок и закрыть Бискайский залив; ороклад Риф развернется и расположится против побережий провинций Уэльва и Алгарви (хотя он по-прежнему не отделяется от Марокканского побережья, так как Сре-

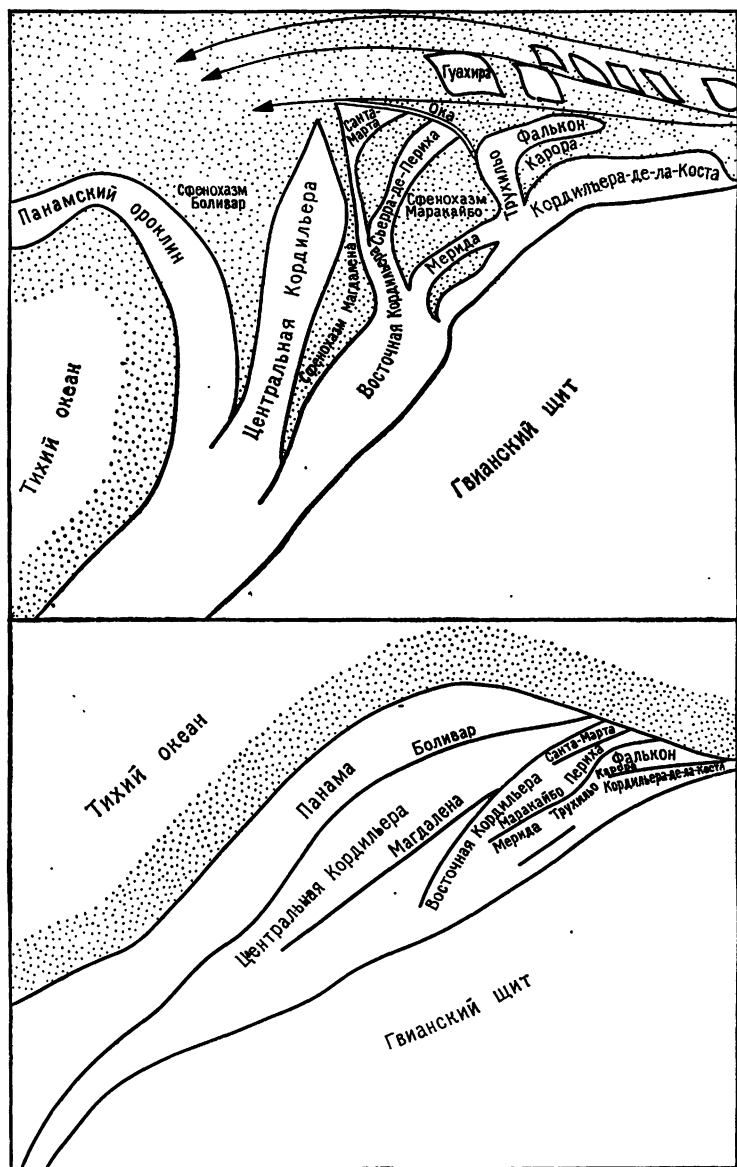


Рис. 82. Перекос простираний структур в Венесуэле и Колумбии. На нижней схеме показана реконструкция положения структур в раннемеловое время, до того как произошел сдвиг, вызванный кручением в зоне Тетис.

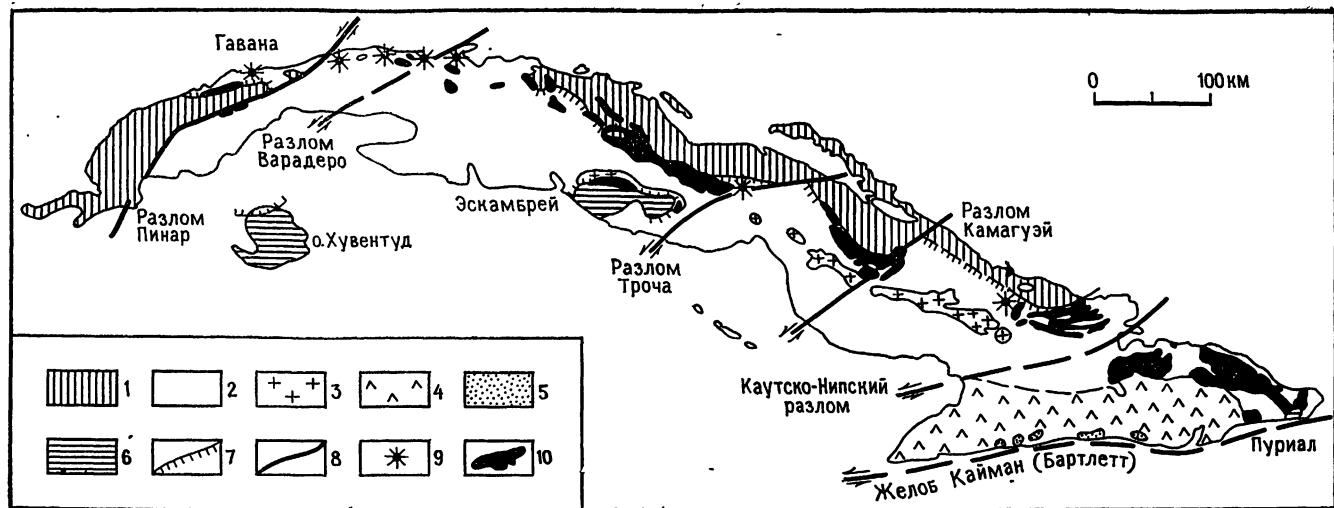


Рис. 83. Основные особенности геологии Кубы со снятием большей части кайнозойских осадков (по данным М. А. Итурральде-Винента). 1 — образования северной континентальной окраины; 2 — центральный эвгеосинклинальный комплекс на океанической коре; 3 — позднемеловые гранитоиды; 4 — палеогеновый вулканический центр; 5 — позднеоценовые гранитоиды; 6 — южный метаморфический комплекс; 7 — линии надвигов; 8 — палеогеновые сдвиги; 9 — отдельные глубокие скважины, в которых обнаружен комплекс 1, подстилающий комплекс 2; 10 — выходы пород офиолитовой ассоциации.

диземное море с тех пор значительно расширилось); Лигурийский сфенохазм закрывается, в результате чего Корсика и Сардиния снова вернутся к своему положению против Лазурного берега, в то время как южная оконечность Сардинии соединится с островом Менорка (так что Риф, Бетская Кордильера, Балеарские острова, Сардиния, Корсика и Лигурийские Альпы вытянутся в единый протяженный пояс, параллельный орогену Атласа в Северной Африке), а Сицилийский и Лигурийский ороклины развернутся таким образом, что Атлас, Сицилия, Калабрия, Апеннины и Альпы также образуют единый прямолинейный пояс, который вместе с Рифско-Лигурийским поясом составит единый крупный ороген, параллельный экватору. После того как я сделал сообщение об этих поворотах, все они подтвердились палеомагнитными данными. Таким образом, единственное действие, возвращающее в прежнее положение структуры, испытавшие впоследствии тетическое кручение, разрешает все сложности тектоники западного Средиземноморья. Подобные простые тектонические реконструкции применимы для Индонезии, Новой Гвинеи, Соломоновых островов и Карибского региона.

## Поперечное растяжение в поясе Тетис

В теории тектоники плит утверждается, что Африка переместилась на север к Европе, вызвав смятие Альп, Индия переместилась на север к Азии, приведя к смятию в Гималаях, а Южная Америка продвинулась на север, вызвав смятие в Больших Антилах. Я уже показал, что Альпы и Гималаи сформировались в результате диапирового орогенеза в зоне поперечного растяжения, а не сжатия. Тектоническая реконструкция для Средиземноморского региона свидетельствует о том, что этот регион расширился в поперечном направлении примерно на 700 км за счет появления в нем новой океанической коры (рис. 14). Проф. Таннер из Университета Флориды оценил увеличение расстояния в меридиональном направлении между Северной и Южной Америкой более чем в 5000 км, если сравнить их современное положение с положением в Пангее.

Расширение в меридиональном направлении между Австралией и Китаем, как показано на рис. 84, составляет 34° (3700 км). Оно распределяется между серией небольших морей растяжения, а также впадиной Ордос в Китае, относящейся к общему с ними типу структур, но целиком заполненной осадками.

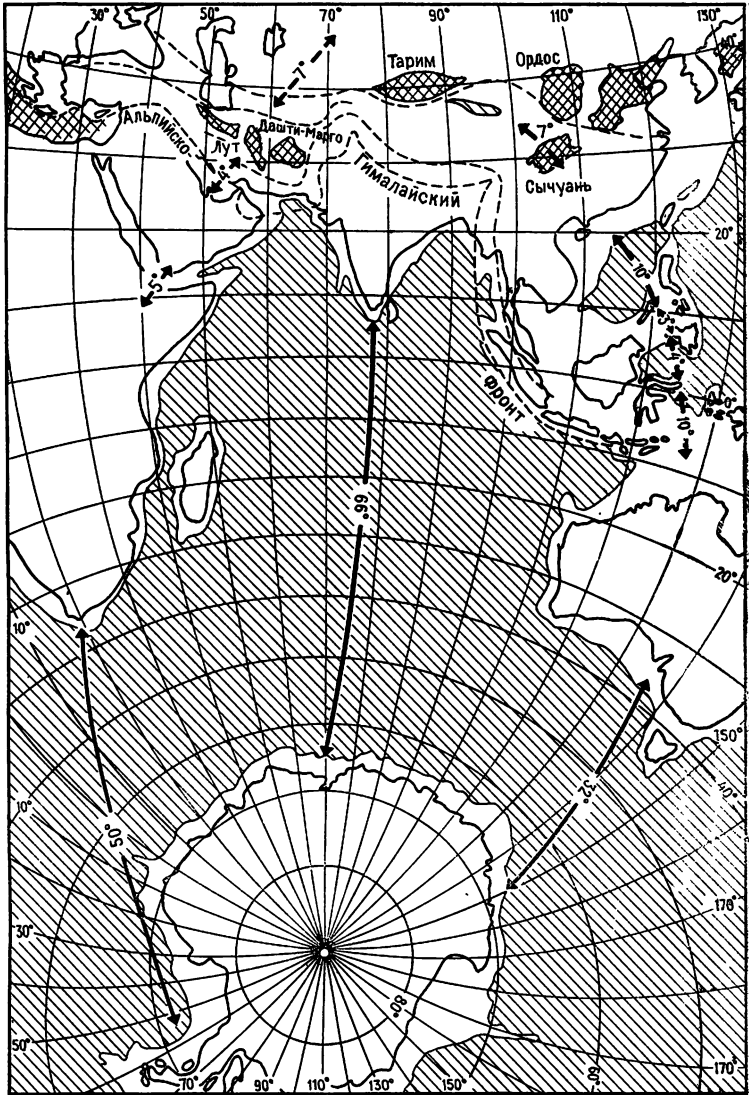


Рис. 84. Рассредоточенное растяжение в области между Антарктидой и Китаем. Австралия находится внутри этой области.

Расширение между Восточной Африкой и Центральной Азией составляет  $22^\circ$ . Оно распределяется между Красным морем —  $5^\circ$ , Персидским заливом —  $5^\circ$  и впадинами растяжения (Джазмурин, Машкель и Гильменд), которые в настоящее время все заполнены молодыми осадками, —  $12^\circ$  (рис. 85). Расширение на  $12^\circ$  между Аравией и Туркменией проявляется также в  $12^\circ$ -ном смещении фронтальной зоны орогена Тетис между горами Омана и подножиями Гималаев вблизи Джамму. В течение гималайского орогенеза расширение было лишь ограниченным, но в целом между Индией и Антарктидой произошло меридиональное расширение на  $66^\circ$ . Расширение между Азией и Антарктидой составляет  $66^\circ$  независимо от того, как его измерять, — через Австралию ( $34^\circ$  между Китаем и Австралией и  $32^\circ$  между Австралией и Антарктидой, как на рис. 84), через Индию ( $66^\circ$  в едином раскрытии) или через Африку ( $22^\circ$  между Африкой и Азией, как было показано выше, и  $49^\circ$  между Африкой и Антарктидой)\*.

### Причина тетического кручения

Тетическое кручение, по-видимому, обусловлено взаимодействием инерционных сил и сил тяготения. Земля имеет форму геоида, которая определяется положением уровня моря (как если бы мы прорезали каналы на уровне моря через материк, чтобы показать эту фигуру). Вращение Земли создает на ней выпуклость в районе экватора, и множество процессов меньшего масштаба, статических и динамических, вносят в это свой вклад. Тяготение, самая мощная сила, действующая на Земле, повсюду поддерживает почти точное изостатическое равновесие. Точно так же как айсберг поднимается до уровня, при котором его вес равен весу вытесненной им воды, материк поднимается до той высоты, при которой его вес равен весу более плотной подстилающей симы, которая в случае его отсутствия должна была бы здесь находиться. Центр тяжести материкового блока располагается примерно на 2,5 км выше по отношению к поверхности геоида, чем центр тяжести океанского блока такого же размера. Следовательно, каждый материковый блок вносит значительно больший вклад в момент инерции Земли, чем равноценный ему по площади океанский блок.

---

\* Судя по рис. 84, расширение между Африкой и Азией составляет не  $22^\circ$ , а  $16^\circ$ , а между Африкой и Антарктидой —  $50^\circ$ , и тогда суммарное расширение между Азией и Антарктидой также составляет  $66^\circ$ . — *Прим. ред.*

Взаимодействие инерционных сил и сил тяготения, обусловленное более высоким расположением центра масс на материках, стремится сдвинуть материки на запад относительно океанической коры, что проявляется в разных масштабах. На западе Тихого океана имеются впадины растяжения, расположенные на всем протяжении от полюса до полюса (моря: Берингово, Охотское, Японское, Желтое, Восточно-Китайское, Южно-Китайское, Филиппинское, Сулу, Сулавеси, Банда, Бисмарка, Соломоново, Коралловое, Тасманово), чего нет у восточных берегов Тихого океана. У западных берегов Тихого океана Азиатский и Австралийский материки стремятся сместиться на запад относительно океанической коры, тогда как последняя имеет тенденцию смещаться на восток, что является причиной большего масштаба происходящего здесь общего растяжения; в то же время вдоль восточных берегов Тихого океана Американские материки от полюса до полюса стремятся переместиться к западу, а океаническая кора — к востоку, поэтому растяжение здесь меньше и впадины растяжения не образуются.

В меньшем масштабе Карибский регион, где развита главным образом океаническая кора, имеет тенденцию двигаться относительно обеих Америк к востоку, а они — относительно него — к западу; в результате дуга Малых Антильских островов вовлечена в относительное перемещение на восток. Подобным же образом происходит относительное перемещение к востоку океанской дуги Скоша между Антарктидой и Южной Америкой, и, возможно, так же образовался выпуклый к востоку изгиб дуги Банда между Австралией и Азией.

В ходе эволюции пояса Тетис (особенно в последние 200 млн. лет) к югу от него образовалось гораздо больше новой океанической коры, чем к северу от него, и все материки (кроме Антарктиды, которая мало влияет на момент инерции) испытали значительное перемещение на север. Вследствие этого доля океанической коры постепенно увеличивалась в полушарии, расположенном к югу от зоны Тетис, по сравнению с полушарием, расположенным к северу от него. Следовательно, момент инерции Северного полушария постепенно возрастал по сравнению с моментом инерции Южного полушария. Из-за этой разницы моментов инерции полушарий возникло левостороннее кручение, которое действовало вдоль зоны Тетис, причем северная сторона ее имела тенденцию отставать во вращении (т. е. смещалась на запад) относительно южной.



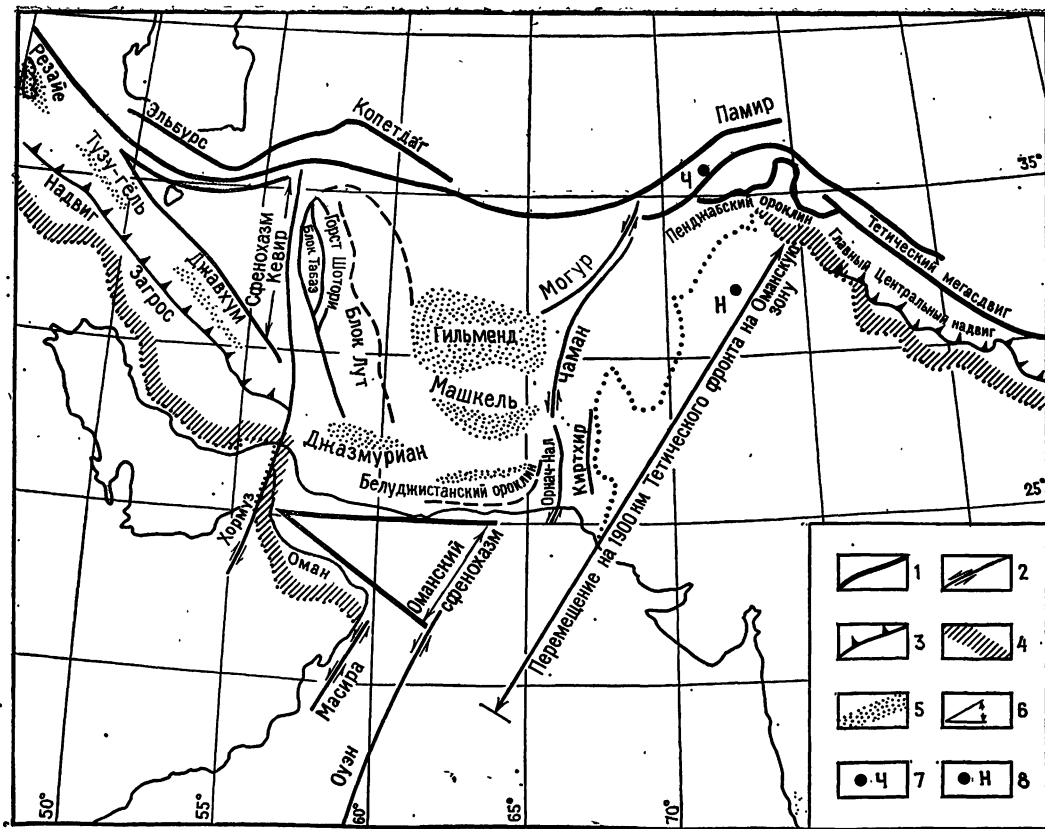


Рис. 85. Тектоника пояса Тетис между Арменией и Тибетом. 1 — Тетическая зона кручения, 2 — сдвиги Оманской зоны, 3 — Центральный надвиг, 4 — орогенический фронт, 5 — впадины растяжения, 6 — сфеноказмы, 7 — Читрал, 8 — Ноушера.

## Правостороннее кручение, сопряженное с тетическим

Правостороннее кручение вокруг периферии Тихого океана впервые было установлено в 1957 г. Хьюго Беньоффом, который своими крупными предвидениями опередил современников во многих вопросах:

«На основании представленных здесь данных складывается впечатление, что главным тектоническим перемещением в Циркумтихоокеанском регионе является вращение по часовой стрелке материков относительно заключенного внутри них океана. Полученных данных недостаточно, чтобы определить, какая из этих двух структур испытывает абсолютное движение в системе координат, фиксированной относительно оси вращения Земли. Скорость перемещения была измерена геодезическими методами только в одном регионе — в Калифорнии, где она равна примерно 5 см/год. Если эта скорость представляет собой среднюю постоянную скорость, свойственную всей системе, то для полного относительного оборота потребуется около  $10^9$  лет».

Циркумтихоокеанская зона кручения — это другая сдвигающая зона большого круга, которая делит земной шар на два полушария (рис. 80, 81). Тетическое кручение является левосторонним, а циркумтихоокеанское — правосторонним, и можно предполагать, что эти процессы являются сопряженными. Они развивались одновременно, причем главные перемещения происходили в поздне меловое и палеогеновое время. Эти зоны во всех отношениях дополняют друг друга, располагаясь под прямыми углами и пересекаясь в Ост-Индии и Вест-Индии, где их взаимодействие привело к возникновению сходных интерференционных явлений вращения.

Географы часто упоминают, что на Земле есть полушарие, занятое преимущественно сушей, и океанское полушарие. Их разделяет зона кручения, поперечная к Тетической. В материковом полушарии располагаются Азия, Европа, Африка, Гренландия и обе Америки — Северная и Южная. В океанском полушарии находятся только Австралия и Антарктида, которые вплоть до раннего мела были единым материком. Правостороннее смещение в Циркумтихоокеанской зоне кручения прослеживается восточнее Австралии через Новую Зеландию до моря Росса (альпийский Новозеландский разлом), где находился край Тихого океана в меловое время (рис. 96). Австралия располагается ныне в океанском полушарии только из-за расширения зоны правостороннего кручения от Новой Зеландии до хребта Девяностого Градуса\* в результате ее длительного взаимодействия с Тетической зоной кручения.

\* Иначе — Восточно-Индийский хребет. — *Прим. ред.*

Тот факт, что Циркумтихоокеанская зона кручения отделяет полушарие, на котором преобладает суша, от полушария, где преобладают океаны, позволяет предположить причину кручения. В условиях приблизительного изостатического равновесия в обоих полушариях Земли момент инерции материкового полушария должен превышать момент инерции океанского полушария, так как центр масс материков располагается на 2 км выше. Перед ускорением процесса расширения Земли в меловое время выходы осей этих максимального и минимального моментов инерции располагались на экваторе (в зоне Тетис), примерно посередине между Ост-Индией и Вест-Индией (т. е. в центрах Пангеи и Тихого океана). Начавшееся затем асимметричное расширение стало смещать находившуюся на экваторе зону Тетис и в конце концов переместило ее до 40° с. ш. в Средиземноморье.

Движения отдельных областей на вращающемся гравитирующем квазиджидком сферонде, который еще и расширяется, в настоящее время невозможно смоделировать на ЭВМ, но ясно, что равновесная форма поверхности такого тела сохраняется, пока оно вращается с максимальным для него моментом инерции. Настоящий случай осложняется двумя протекающими асимметрично процессами, которые уже рассматривались: во-первых, более молодая океаническая кора формируется в Южном полушарии (увеличивая момент инерции Северного полушария по сравнению с Южным), и, во-вторых, когда преобладает состояние изостатического равновесия, материковое полушарие имеет больший момент инерции, чем океанское. Хотя динамика этих процессов слишком сложна, чтобы оценить ее количественно, кажется разумным предположить, что наблюдаемые сопряженные тетическое и циркумтихоокеанское кручения были обусловлены этими асимметричными процессами, ускорившимися в течение мелового периода и нарушившими имевшееся соотношение между процессами изостатического выравнивания и действием инерционных сил.

На рис. 80 показаны обе зоны кручения: Тетическая и Циркумтихоокеанская, каждая в косо́й меркаторской проекции, причем первичный большой круг каждой проекции располагается вдоль соответствующей зоны кручения. Эти карты, быть может, выглядят непривычно, но в них не больше и не меньше искажений, чем в обычных меркаторских картах мира, которые висят на стенах во многих школах и учреждениях. Они отличаются от обычных карт тем, что на них в качестве центрального большого круга вместо экватора в каждом случае я использовал большой круг, проходящий через соответствующую зону кручения. На этих картах, а также на построенных в другой проекции картах, изображенных на рис. 81, видно, что эти две зоны

кручения действительно являются большими кругами и действительно располагаются под прямыми углами друг к другу, а кроме того, что одна проходит по поясу Тетис, а другая разделяет материковое и океанское полушария.

Поскольку Тетическая зона кручения в меловое время была экваториальной, сопряженная зона кручения проходила через существовавшие тогда полюсы, один из которых располагался в Восточной Сибири, а другой — диаметрально противоположно ему вблизи острова Буве на юге Атлантики. Положение этих полюсов уже давно определено по палеомагнитным данным. Благодаря сильному правостороннему смещению по мегасдвигу Алеутского желоба (о чем говорилось в гл. 13 в связи с аномалией подводного конуса Зодиак) и аналогичному сильному правостороннему смещению по мегасдвигу остров Буве — Южные Оркнейские острова — дуга Скоша оба меловых полюса мигрировали в процессе кручения. В результате Северный полюс стал располагаться в том углу залива Аляска, который был центром вращения для Аляскинского ороклина и осью раскрытия Северного Ледовитого и Атлантического океанов (см. рис. 15—18).

Выясняется еще один важный факт. Меловой Южный полюс представляет собой центр максимального расхождения материков (и, следовательно, ортоцентр новых океанов на земном шаре), а меловой Северный полюс — центр минимального расхождения материков. В 1970 г. в своей президентской речи на заседании Австралийской и Новозеландской ассоциации содействия развитию науки я отметил, что расстояние между каждой парой материковых блоков увеличилось. Например, если я стою на Мадагаскаре, то вижу, что Африка отдалилась, а если повернусь в другую сторону, то увижу, что и Индия, и Австралия, и Антарктида отодвинулись от меня в процессе распада Пангеи. Глядя из Венесуэлы, можно увидеть, что увеличились расстояния до Северной Америки, Гавайских островов, Африки, Австралии и Антарктиды. То же самое справедливо для Аравии, Гренландии и любого другого блока, даже для Индии, если понять природу Гималайского орогенеза (см. гл. 18). Конечно, это общее расхождение материков может означать только расширение Земли.

Как уже говорилось в гл. 12, я подсчитал ширину новой океанической коры, образовавшейся между каждой парой материков в процессе распада Пангеи. Затем для каждого материка я добавил расстояние между ним и каждым из его соседей и нашел их средние значения (см. с. 317).

Материк	Среднее расстояние от соседних материков	
Антарктида	4840	} В среднем 4232 км
Южн. Америка	4820	
Австралия	4170	
Африка	3100	
Сев. Америка	2900	} В среднем 2200 км
Индия	2300	
Европа	2100	
Вост. Азия	1500	

Эти данные свидетельствуют о том, что максимальное расхождение материков имело место вблизи мелового Южного полюса, а минимальное — около мелового Северного полюса и что расстояние между южными материками оказалось почти вдвое большим, чем между северными.

### Глобальное выражение сопряженного кручения

Теперь давайте рассмотрим несколько конкретных эффектов циркумтихоокеанского кручения. В 1956 г. на симпозиуме в Хобарте я показал, что на западном побережье Северной Америки доминировал крупный правосторонний сдвиг, к проявлениям которого относятся ров Скалистых гор, система сдвига Сан-Андреас и сопряженные деформации ороклинов Айдахо — Мендосино (что проф. Доналд Уайз из Массачусетского университета назвал в 1963 г. «возмутительной гипотезой», хотя он, безусловно, понимал ее смысл). Я показал также, что правый сдвиг был развит в основном на континентальной окраине Восточной Азии, которая была смещена вправо, в результате чего сформировались серии островных дуг и бассейнов, разделенных мегасдвигами, и что эта система продолжалась до моря Скоша южнее мыса Горн.

На рис. 86 (из моей книги 1976 г.) схематично показаны ороклины Мендосино и Айдахо, которые совместно образуют Z-образную структуру (а не S-образную, как сочлененные ороклины пояса Тетис), возникшую в условиях правосдвиговой деформации. Простое сдвиговое напряжение, как на схеме А, может быть снято в результате смещения по правому сдвигу, как показано на схеме В, или по нескольким сдвигам, между которыми возникают зияния, показанные черным цветом на схеме С, а если бы часть блока была пластичной, она могла бы изогнуться в промежутке между сдвигами, как на схеме D. На схеме E это показано в применении к Калифорнии, где правосторонний сдвиг рва Скалистых гор подставляется правосдвиговой системой Сан-Андреас. Более пластичный орогенический

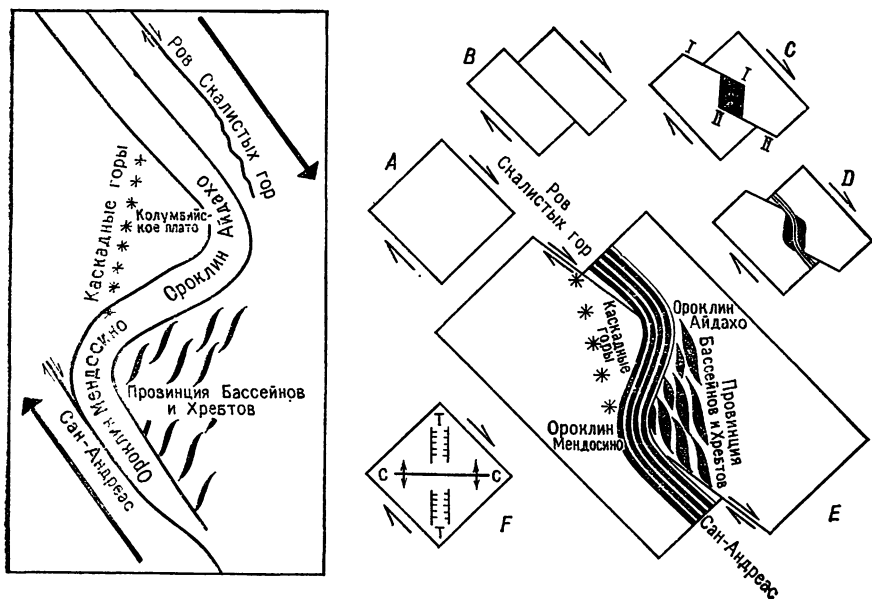


Рис. 86. Генетические соотношения между ороклинами Мендосино и Айдахо, Каскадными горами, базальтами Колумбийского плато, Провинцией Бассейнов и Хребтов, ровом Скалистых гор и системой разломов Сан-Андреас.

пояс здесь изгибается, образуя сочлененные по типу правостороннего смещения ороклины Мендосино и Айдахо. В зоне растяжения (показанной черным цветом) на вогнутой поверхности ороклинов формируется серия рифтов и хребтов, которые развиваются *только* внутри этого изгиба. Эти рифты протягиваются в целом с севера на юг, как и должны располагаться рифты растяжения  $T-T$ , показанные на схеме *F*.

Поскольку изогнутый в плане орогенический пояс располагался на побережье океана, то зона растяжения в северо-западной вогнутой части изгиба ороклина формировалась в веществе океанической коры, образовав цепь вулканов (Каскадные горы), простирающуюся параллельно рифтам и целиком лежащую внутри этого изгиба ороклина. Область расширения между Каскадными горами и ороклинальным поясом заполнена (как и следовало ожидать) базальтами. Пояс Каскадных гор и расположенная за ним базальтовая толща представляют собой океанский аналог Провинции Бассейнов и Хребтов. На базальтовом плато имеется несколько антиклинальных складок, и их простираения, как и можно было ожидать, совпадают с направлением сжатия  $C-C$  на схеме *F*.

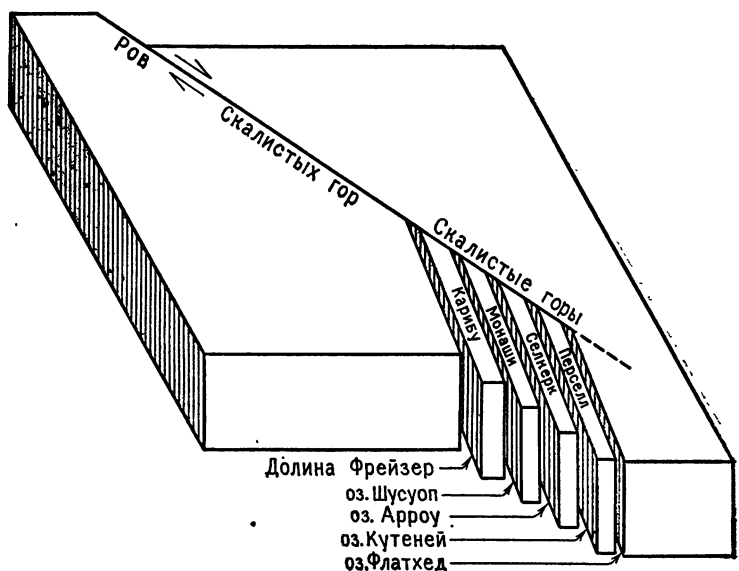


Рис. 87. Юго-восточное окончание рва Скалистых гор.

Палеомагнитные исследования показали, что многие породы в ороклинальном поясе и в связанных с ним выпуклых участках обнаруживают признаки вращения — всегда правостороннего, но переменной величины из-за различной степени смещения многочисленных нарушенных разрывами пластин. Согласно статистическим данным, более древние базальты испытали большее вращение, чем более молодые, так как процесс кручения продолжался длительное время.

Ров Скалистых гор характеризуется огромным правосторонним сдвигом на севере (д-р Дж. Гейбриелс из Геологической службы Канады оценивает правостороннее смещение по нему более чем в 900 км, дополняемое смещением более чем на 300 км к западу от него), но этот сдвиг полностью затухает у озера Флатхед в шт. Монтана. На рис. 87 показано, как смещение по сдвигу постепенно компенсируется растяжением в серии рифтов растяжения, к которым приурочены озера и крупные реки. Эти рифты протягиваются с севера на юг параллельно направлению растяжения  $T-T$  на схеме  $F$  рис. 86.

За последние десять лет у западных берегов Канады были обнаружены хребты, образованные сложным «коллажем» из блоков континентальной коры («террейнов»). Его можно описать как «континентальную брекчию», смежные блоки в которой

отличаются друг от друга комплексами ископаемой фауны и палеомагнитными характеристиками. Помимо обычных факторов, ухудшающих стабильность намагниченности, здесь играют заметную роль и более позднее перемагничивание, наклоны пластов, тектонические вращения, явления обратной магнитной полярности (особенно важные здесь из-за того, что не определено, к какому полушарию принадлежали рассматриваемые блоки) и значительные горизонтальные перемещения. Д-р Э. Ирвинг из Тихоокеанского центра канадской обсерватории Доминион в журнале «Geophysical Surveys» за 1983 г. обобщил все эти данные. Он сделал такие выводы:

«Следовательно, по-видимому, существуют веские доказательства того, что большая часть западной и центральной Британской Колумбии (Прибрежный плутонический комплекс, остров Ванкувер, блок Стикин, а также — если верен рассмотренный ранее аргумент о намагничивании батолита Гвихон и интрузии Коппер-Маунтин — и блок Кьюсел) в течение палеогена переместилась к северу, возможно, на 1000 км или более. Предположительно это движение происходило вдоль крупных продольных разломов (таких, как разломы вдоль Тинтинского желоба), характерных для этого региона. В настоящее время эти разломы неактивны, но, возможно, они представляют собой древние аналоги системы разломов Сан-Андреас. Это перемещение является одним из ключевых кинематических элементов ларамийской орогении, ко времени которой деформация в зоне складок и надвигов форланда (Скалистых гор) должна была закончиться.

За единственным исключением, блуждающие третичные палеополюсы свидетельствуют о вращениях по часовой стрелке, а в нескольких случаях — и о перемещении на север. Исключением являются результаты исследования пород Алеутских островов. Группа данных, самыми ранними из которых были результаты Коха (1957), полученные для северо-запада США, указывают на крупное и изменчивое вращение Береговых хребтов на территории шт. Орегон и Вашингтон (Блэк-Хилс, формация Оханапекш, вулканы Силетц, формация Тайи-Флауэрной, базальты Ячатс). Большой интерес представляют вращения по часовой стрелке и перемещения к северу примерно на 1000 км, на что указывают данные по вулканикам Поперечных хребтов Калифорнии; это отражено и в результатах палеомагнитных измерений пород соседнего позднемелового батолита. Очевидно, эти смещения вправо и далеко в сторону палеополюсы свидетельствуют о длительном перемещении на север Юго-Западной Калифорнии по разлому Сан-Андреас».

Все эти вращения по часовой стрелке и крупные перемещения представляют собой выражения циркумтихоокеанского правостороннего кручения. Совсем недавно Гильденбранд, Симпсон, Годзен и Кейн из Геологической службы США вновь обнаружили правостороннее смещение вдоль Монтанско-Флоридского линеамента больших гравитационных аномалий, Аппалачского орогенического пояса и шельфа Флориды (рис. 88, соответствующий рис. 160 и 162 из моей книги 1976 г.) и изобразили это на обложке журнала «Transactions of the American Geophysical Union» за август 1984 г.

По Алеутскому желобу (одному из сдвигов, связывающих систему Скалистых гор с системой сдвигов Восточной Азии)



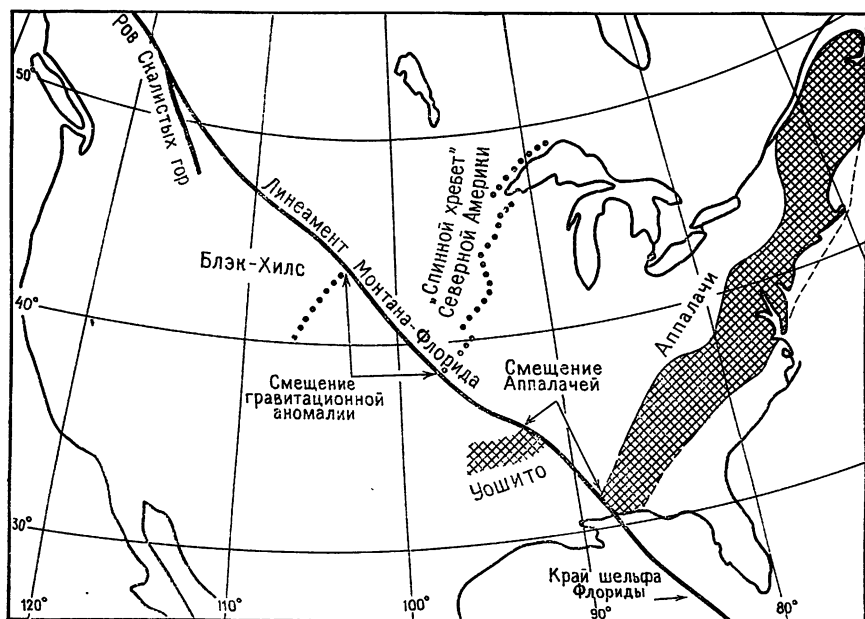


Рис. 88. Линеамент Монтана — Флорида.

произошло правостороннее перемещение почти на 800 км, что проявляется в смещении конуса выноса Зодиак (рис. 40).

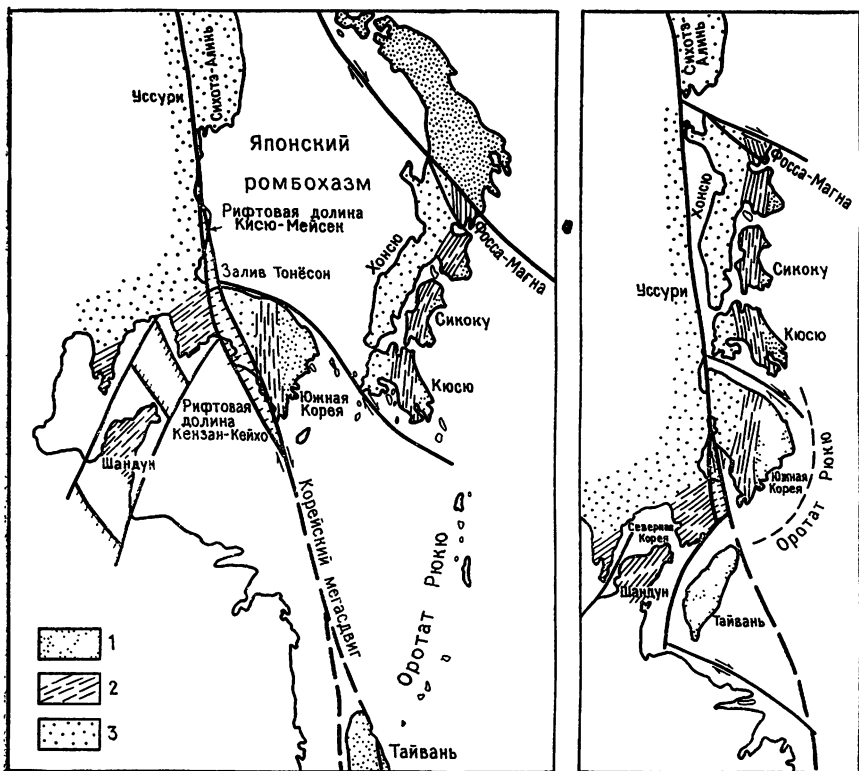
В целом структура Восточной Азии сильно изменяется по линии, протягивающейся от оси Ассамского ороклина до Анадырского залива Берингова моря. Эта линия разделяет прибрежную и внутреннюю части Китая. К северо-западу от нее структуры простираются широтно. К юго-востоку же располагается большая серия правых сдвигов северо-восточного простирания с обширными горстами и грабенами, низменностями и множеством озер. Главный линеамент, который является результатом тетического кручения и протягивается в восточно-юго-восточном направлении на 2000 км, начинаясь за озером Чин-Хай, через Сиань и Наньянь, срезается южнее Нанкина циркумтихоокеанским линеаментом, имеющим северо-северо-восточное простирание; этот линеамент протягивается почти на 5000 км от Тонкинского залива, западнее Нанкина и полуострова Шандун, через Шеньян (Мукден) до Охотского моря. Это не единый мегасдвиг, а целая система структур кручения.

Хотя в Восточной Азии преобладают разломы северо-северо-восточного простирания, там существует также сеть второстепенных трещин западно-северо-западного простирания, ориенти-

ровка которых несколько колеблется относительно этих трех направлений. Эта сеть отражает существование системы кручения, так как линии пересечения любых трещин этой сети почти вертикальны. В системе сжатия, напротив, линии пересечения сопряженных сдвигов друг с другом и со связанными с ними разломами растяжения и складками должны располагаться горизонтально. Тихоокеанское побережье Азии напоминает Тихоокеанское побережье Северной Америки в том отношении, что в крупных тектонических структурах преобладает правостороннее кручение.

Юго-восточнее линии Ассам — Анадырь разломы меняют направление на все более южное, так как правый сдвиг сочетается здесь с раскрытием океана, образуя моря ромбической формы позади дуг, обращенных выпуклостью в направлении от материковой рамы, — Охотское море, Японское, Желтое, Восточно- и Южно-Китайское, Филиппинское, а также моря Сулу, Сулавеси, Молуккское и Банда. Картина перемещений иллюстрируется рис. 89 и 90, которые я демонстрировал на Хобартском симпозиуме 1956 г. На ранней стадии, до того как Тихоокеанская окраина Азии сместилась в западном направлении по отношению к Тихоокеанской окраине Австралазии в результате тетического кручения, правосторонние косые смещения продолжались вдоль этой окраины через альпийский Новозеландский разлом до моря Росса.

Связанные с правосторонним сдвигом Ассамский и Зондский ороклины играют такую же роль, как и сочлененные ороклины Мендосино и Айдахо, но не являются их зеркальным отображением. Последние отодвигают прибрежный ороген к северу от зоны Тетис, тогда как первые отклоняют зону Тетис к югу. Широтное простирание Гималайской дуги резко меняется в Ассаме на  $90^\circ$ , и она продолжается на юг через Бирму, Таиланд и Индокитай, а затем снова изгибается в районе Суматры и продолжается в восточном направлении через Яву до острова Флорес. До возникновения этих изгибов Суматра и Ява служили прямым восточным продолжением Гималаев. Правостороннее смещение достигает  $34^\circ$  и равно суммарному расширению в серии впадин растяжения, как показано на рис. 84, а также расстоянию, на которое Австралия переместилась на юг относительно Индии. Комбинация этого смещения с левосторонним смещением Австралии на восток относительно Азии, достигающим  $30^\circ$  (рис. 91), определила расстояние, отделяющее ныне Северо-Западный мыс Австралии от изгиба юго-восточного побережья Индии в районе Хайдарабада (Андхра), которые, как указывают геологические данные, некогда примыкали друг к другу (см. рис. 31). Ороклинальные изгибы развились в молодых орогенах, где в мантии господствуют повышенные темпера-



Фиг. 89. Тектоническое строение Японии и Кореи (моя реконструкция 1956 г.). 1 — меловые и третичные складки, 2 — кембрий — юра, 3 — поздний докембрий (?).

туры. В более древней коре, лежащей на более холодной мантии, вместо ороклинальных изгибов развиваются мегасдвиги.

Энтони Хэллем из Бирмингемского университета, основываясь на присутствии некоторых теплолюбивых фаун, предположил, что отдельные Восточно-Азиатские блоки переместились на значительные расстояния к северу после пермского времени и что, следовательно, смещение происходило в направлении, противоположном циркумтихоокеанскому кручению. Однако это предположение основано на ложном допущении, что современная климатическая зональность в общих чертах применима к прошлому. В своей книге 1976 г. я рассматривал вековые изменения наклона земной оси, которые существенно изменяли положение климатических зон (например, холоднокровные рептилии, которые не могли переносить морозов, в раннетриасовое

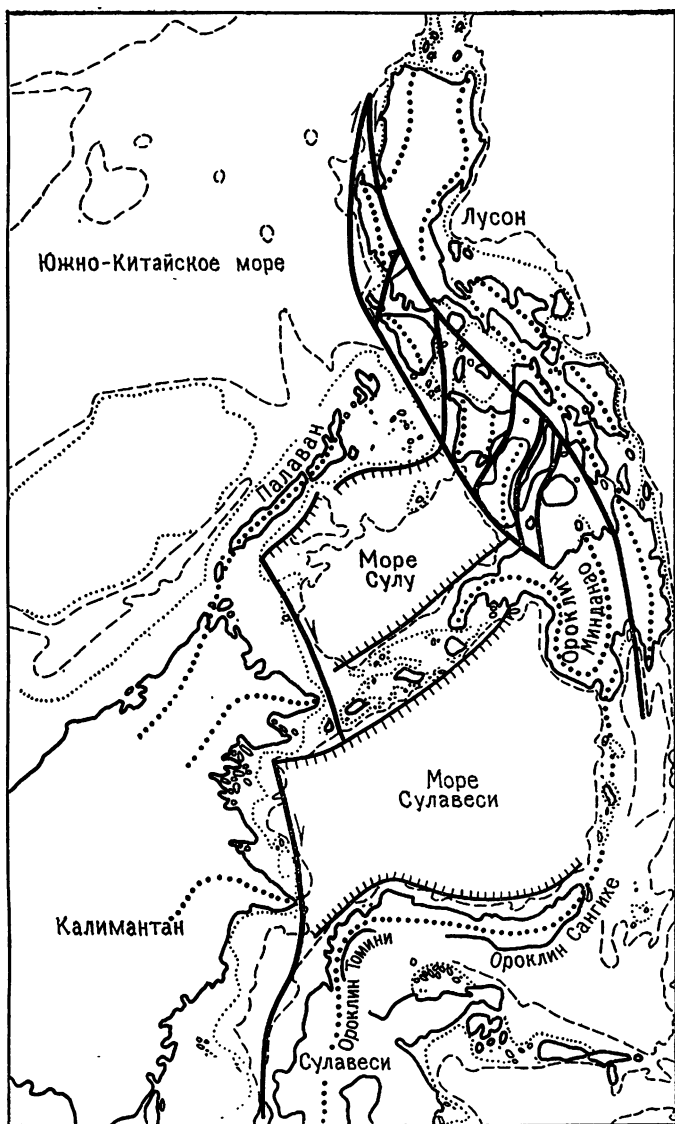


Рис. 90. Тектоника Филиппин (моя реконструкция 1956 г.).

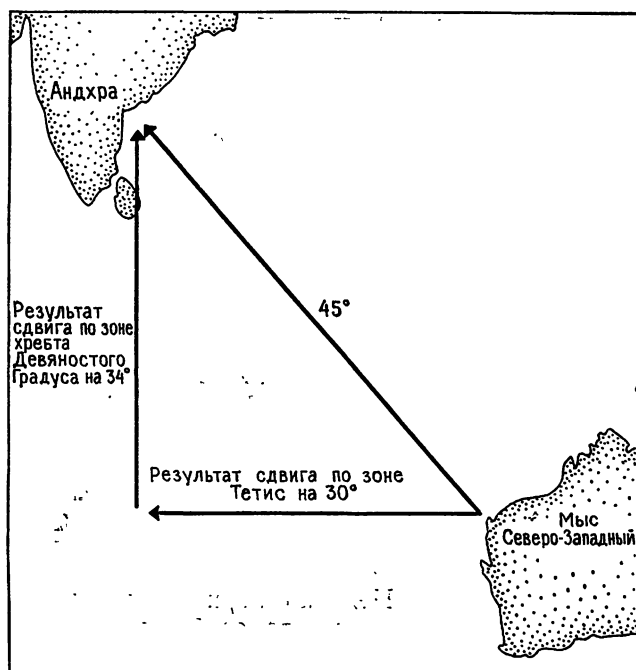


Рис. 91. Сочетание тетического (левостороннего) и ассамского (правостороннего) смещений.

время жили в Тасмании в пределах  $10^\circ$  от Южного полюса). Действительно, Джордж Уильямс, работавший в то время в Аделаидском университете, который также изучал этот вопрос, показал, что при наклоне оси вращения Земли больше  $45^\circ$  оледенения более вероятны в низких широтах, чем на полюсах. Уильямс пришел к выводу, что в позднекаменноугольное и раннепермское время наклон оси вращения был большим, а в юрское и раннемеловое время он был равен почти нулю, и тогда до высоких широт распространялся однородный климат без заметной смены времен года.

Тетическая и Циркумтихоокеанская зоны кручения пересекаются в Вест-Индии и Ост-Индии — двух уникальных зонах, похожих не только по названию, но и по морфологии и по происходившим в них тектоническим процессам. В Калифорнии, Неваде и Аризоне два этих кручения интерферируют между собой. Поперечные хребты Калифорнии, разломы Биг-Пайн и Гэрлок, являющиеся левосторонними, отклоняют систему правосторон-

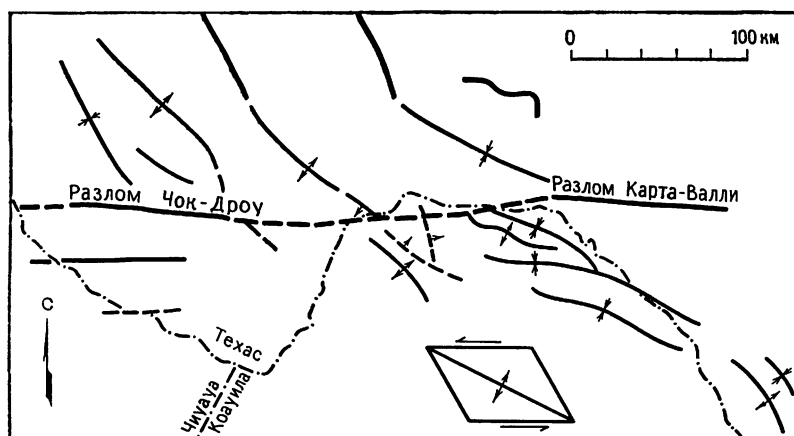


Рис. 92. Зона левостороннего сдвига Чок-Дроу — Карта-Валли в шт. Техас (по Т. И. Юингу и У. Р. Мюльбергеру).

них сдвигов Сан-Андреас. Недавно Гэри Калдерон и Роберт Батлер из Аризонского университета сообщили, что в миоценовых лавах пяти горных хребтов на юго-западе Аризоны проявляется левостороннее вращение, в среднем достигающее  $14^\circ$ , в противоположность признакам правостороннего вращения в подобных же лавах, распространенных немного севернее. Дальше к востоку, в Техасе, левый сдвиг, по-видимому, продолжается в виде зон разломов Чок-Дроу — Карта-Валли, не interfерируя с сопряженным правосторонним смещением (рис. 92).

На компьютерной модели «закрытия» Атлантики южная часть Мексики располагается против Колумбии (*AA* на рис. 93), а Флорида — против Тринидада (*BB*). Для этого требуется, чтобы произошло смещение более чем на 1500 км в широтном направлении (по Тетической зоне кручения) и более чем на 1000 км в меридиональном направлении. Это перемещение с правосторонним кручением по разломам, расположенным за-

Рис. 93. Пересечение Тетической и сопряженной с ней зон кручения в Вест-Индии. Заштрихованы области с глубиной более 2000 м. Выполненная Буллардом компьютерная реконструкция «закрытия» Атлантики совмещает точки *A—A* и *B—B*. Три глубокие впадины (Карибская, Кайман и Мексиканский залив), обозначенные буквами *T*, и северо-западное продолжение занимаемой ими полосы с приуроченной к ним серий рифтов растяжения закрываются при смыкании *A* с *A* и *B* с *B*.



паднее Монтана-Флоридского линеамента, закрывает цепочку впадин растяжения, которые образуют Карибское море, море Кайман и Мексиканский залив. В Больших Антиллах по палеомагнитным данным устанавливается сильное левостороннее вращение, превышающее  $40^\circ$ , а во всем центральноамериканском регионе имеются многочисленные крупные сдвиги широтного простирания (тетические) и северо-западного простирания (циркумтихоокеанские), а также связанные с ними структуры сжатия — надвиги и складки, простирающиеся в западно-северо-западном направлении, и рифты растяжения северо-северо-восточной ориентировки. Структуры обоих последних типов протягиваются через США на территорию Канады.

Чтобы выяснить, как переплелись в Ост-Индии основа и уток ткани этих двух систем кручения, я предложил в 1976 г. следующую реконструкцию первоначальной структуры этого региона (рис. 94):

1. Удалим новую кору, которая образует в этом регионе небольшие впадины (такие, как Южно-Китайское море, моря Сулу, Сулавеси, Флорес и Банда). Этот шаг, в частности, сближает острова Калимантан и Палаван с Южным Китаем.

2. Укоротим соответствующим образом орогаты (вытянутые орогены). Например, Зондско-Бандский ороген становится постепенно все более вытянутым по мере того, как вы двигаетесь вдоль островной дуги от Суматры через Яву, Бали, Ломбок, Сумбаву, Флорес, Ломблен, Пантар, Алор, Ветар, Романг, острова Дамар, Банда, Тертл, Лусипара, оттуда через непрерывный подводный хребет до острова Салаяр и юго-западной части Сулавеси. Подобным же образом непрерывный хребет прослеживается через острова Сумба, Саву, Роти, Тимор, Моа, Бабар, Танимбар, Каи, Горанг, Серам, Буру, Тукангбеси, Бутунг до юго-восточной части Сулавеси. Такие орогены удлинились отчасти за счет возникновения рифтов (на что указал голландский геолог Г. Г. Броувер в 1916 и 1929 гг.), а отчасти за счет растяжения, вызванного течением. Если какой-либо ороген, расположенный на 1000 м выше уровня моря, удлинился вдвое, то изостатическое равновесие в нем должно привести к превращению его в подводный хребет, поднимающийся до глубины 1500 м ниже уровня моря. Такие подводные хребты и цепи островов свидетельствуют о том, что отдельные пункты на крупных островах первоначально должны были располагаться ближе друг к другу и что произошло их укорочение в продольном направлении.

3. Выпрямим ороклины, такие, как пара Ассам — Суматра, и петли вокруг моря Банда.

4. Сверим данные о палеомагнитных ориентировках, вращениях и палеоширотах. Оказалось, что предыдущими операция-



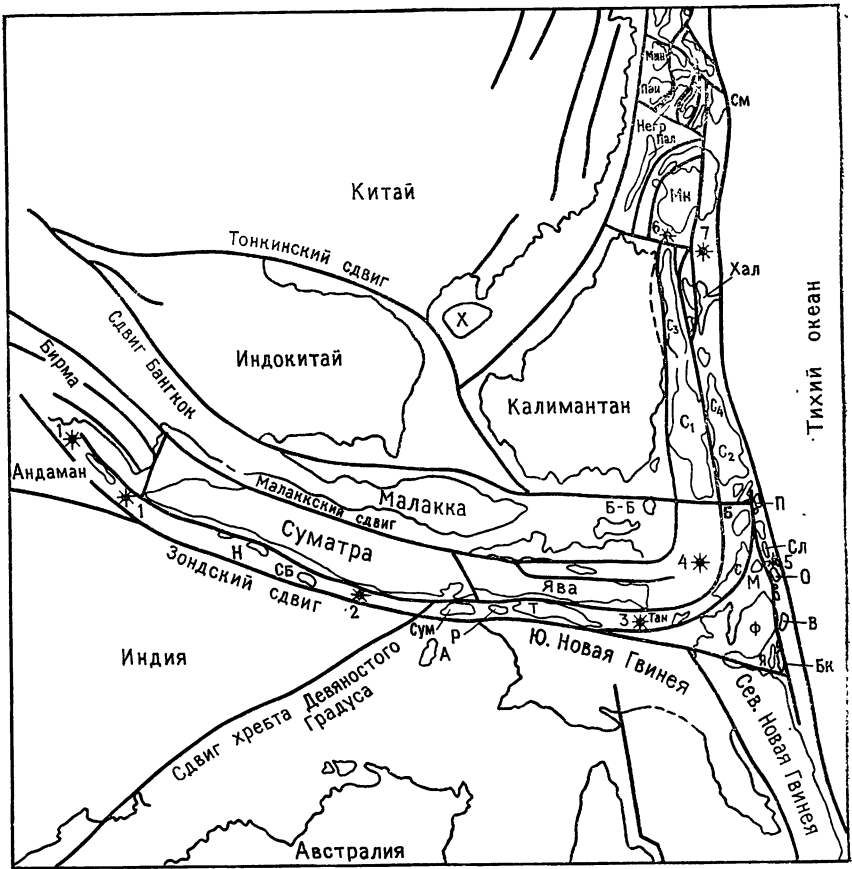


Рис. 94. Реконструкция Юго-Восточной Азии для мелового времени. А — Ару, Б — Буру, Б-Б — Бангка-Билитон, Бк — Биак, С — Серам, Х — Хайнань, Хал — Хальмахера, Я — Япен, М — Мисоол, Мин — Миндоро, Мн — Минданао, Негр — Негрос, Н — Ниас, О — Оби, П — Пеленг, Пал — Палаван, Пан — Панай, Р — Роти, См — Самар, Сб — Сиберут, Сл — Сула, Сум — Сумба, Т — Тимор, Тан — Танимбар, Ф — Фогелькоп, В — Вайгео. Цифрами со звездочками обозначены укоротившиеся орогаты: 1 — Андаманско-Никобарский, 2 — Никобар — Сумба, 3 — Тимор — Танимбар, 4 — дуга Банда, 5 — выступ Сула, 6 — Санги — Кавайо, 7 — Талаар.

ми мы автоматически их скорректировали. Например, Макелини, Хейл и Кроуфорд в 1974 г. сообщили о том, что в раннемеловое время полуостров Малакка простирался в широтном направлении в нескольких градусах севернее экватора, т. е. именно там, куда он попал в результате описанных выше операций

(рис. 94). То же самое справедливо и для поворота на  $180^\circ$  острова Серам. Правда, в регионе, претерпевшем такую деформацию, как Ост-Индия, где пересеклись зоны правостороннего и левостороннего кручений, полученные в дальнейшем данные, возможно, потребуют внести уточнения в эту реконструкцию 1976 г., но они будут незначительными, так как общая картина определяется первыми тремя приведенными выше операциями.

5. Проверим крупные сдвиги, связанные с тетическим и циркумтихоокеанским кручениями, потому что вдоль них могли произойти довольно крупные перемещения. И снова было обнаружено, что предшествующие операции в значительной степени скорректировали их.

6. Проверим, что произошло с многими фаунистическими и палеогеографическими связующими элементами, такими, как линия Уоллеса, с многими фаунистическими соотношениями, о которых сообщалось ранее в связи с искусственным зиянием, с тесными фациальными и генетическими связями, убедительно описанными знаменитым голландским геологом И. Ф. Г. Умброве в 1938 г. и значительно позднее, в 1984 г., С. Дж. Пигремом с его индонезийскими соавторами и др. Здесь предыдущие основные операции также удовлетворили всем требованиям, хотя сейчас пришло время вновь рассмотреть все эти процедуры и построить современный вариант рис. 94.

Такие реконструкции не похожи на составные картинки-загадки, в которых кусочек картинка можно снова приложить туда, куда он, как может показаться, подходит; должны соблюдаться строгие ограничения, чтобы сохранялась топологическая однородность. Ни один блок не мог «перепрыгнуть» через другой блок. Все блоки должны располагаться в той же последовательности и сохранять те же взаимные соотношения, хотя они могут разделяться вставками из полос океанической коры или быть повернутыми в результате появления между ними клиньев океанической коры либо переместиться на большие расстояния по мегасдвигам, а орогены могут изогнуться в плане или очень сильно удлиниться. Однажды появившись, новая океаническая кора сохраняется на этом месте. Никакая часть коры не поглощается и не исчезает каким-либо таинственным образом. Континентальная кора не может быть ни разрушена или уничтожена, ни создана иначе, как при расширении активных орогенов. Реконструкция заключается в удалении океанической коры, выпрямлении ороклинов, укорочении вытянутых орогенов и возвращении разделенных блоков в прежнее положение по мегасдвигам. Рисунки 14 (реконструкция Средиземноморья), 82 (Венесуэла и Колумбия) и 94 (реконструкция Юго-Восточной Азии) — хорошие примеры применения этих принципов.

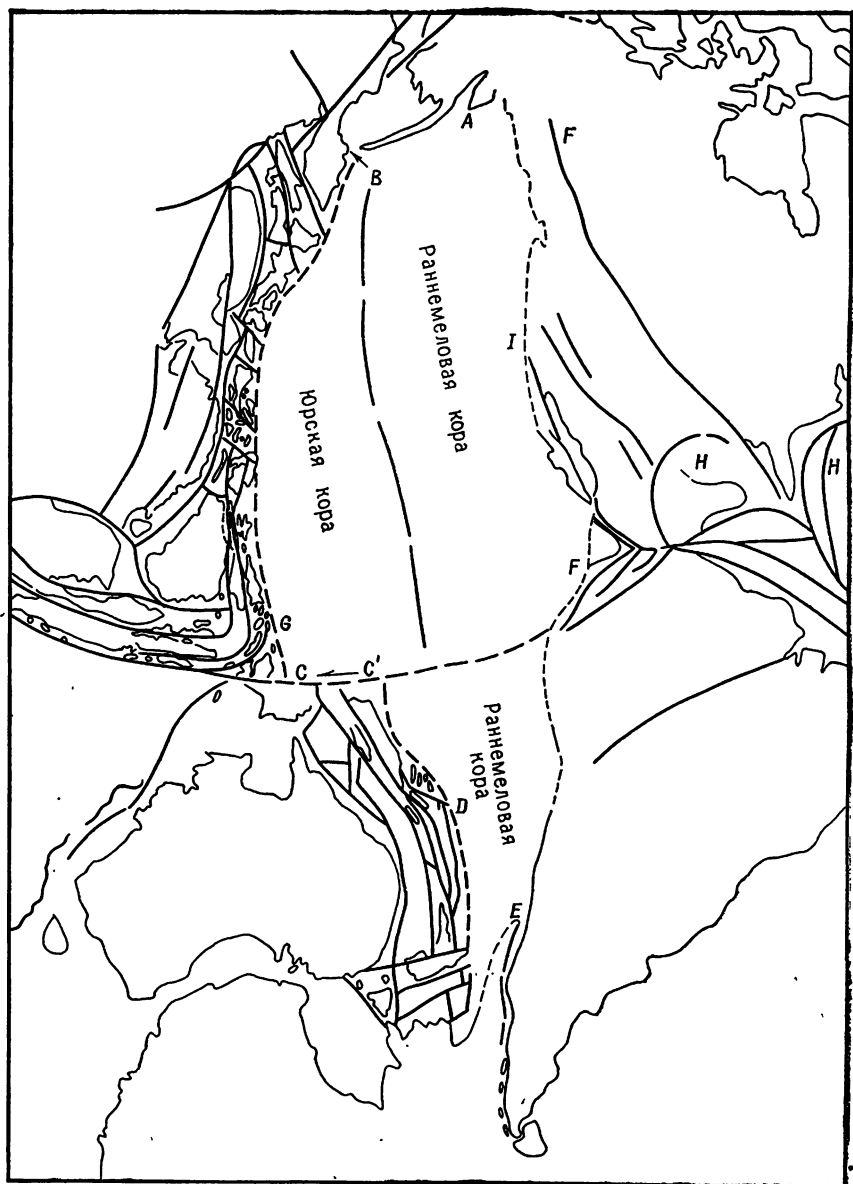


Рис. 95. Схема строения Тихого океана в конце раннего мела. *A* — сфенохазм залива Аляска в значительной мере уже открылся. *B* — Алеутский неместат еще не открылся, поэтому полуостров Аляска примыкает к Камчатке. *CC'* — кручение в зоне Тетис уже началось, сместив западную окраину Тихого океана (андезитовая линия — см. рис. 80). *D* — юго-западная окраина Тихого океана реконструирована, как на рис. 96. *E* — Антарктический полуостров. *F* — Центральная Америка, как на рис. 93. *G* — Индонезийский регион согласно реконструкции Кэри 1976 г. *H* — Мексиканский залив и Атлантический океан уже начали раскрываться. *I* — ороклин Мендосино в распрямленном виде (см. рис. 86).



## Разрастающиеся океанические хребты и зоны кручения как единая система

И тетическое, и циркумтихоокеанское кручения мало отклоняются от своих средних больших кругов и должны проходить через первичные зоны разрастания. Тетическое кручение происходит влево и между Карибской областью и Гибралтаром пересекает разрастающийся хребет Северной Атлантики. Кручение в Циркумтихоокеанской зоне происходит вправо. Эта круговая зона, подходя к Панамскому перешейку, пересекает разрастающийся хребет юго-восточной части Тихого океана, где вызывает отклонения в зонах разломов Удинцева, Мэри Тарп, Хейзена и Менарда, суммарное правостороннее смещение по которым составляет 1700 км. Глобальные разрастающиеся океанические хребты и две глобальные зоны кручения представляют собой одну общую систему. Там, где сдвиги, обусловленные кручением, пересекают разрастающиеся океанические хребты, они действуют как трансформные разломы, которые приспособляются к различиям в смещении вдоль зон кручения.

Кроме того, эти кручения взаимодействуют друг с другом и с одновозрастными с ними зонами расширения Земли. Поэтому величина смещения сильно варьирует. Например, смещение западной части ложа Тихого океана у андезитовой линии достигает 5000 км, но большая часть этого смещения происходит за счет расширения Тасманова моря, а смещение Австралии по отношению к Китаю равно лишь примерно 3000 км, причем большая его часть приходится на смещение в S-образной дуге Банда и растяжение Зондской дуги; в итоге смещение Индии относительно Китая минимально, хотя Индийский блок был сильно повернут в результате кручения. Подобным же образом смещение между Западной Европой и Африкой равно примерно 1500 км, но в основном оно приходится на Восточно-Сибирский

Рис. 96. Третичный дрейф Австралии от ее раннемеловой границы с Эопацификой. При движении Австралии к западу позади нее остается ряд хребтов, разделенных новой океанической корой и похожих на морены, оставленные при отступании ледника. *С<sub>1</sub>* — юго-западная часть о. Сулавеси, *С<sub>2</sub>* — юго-восточная часть о. Сулавеси, *Б* — Буру, *С* — Серам, *Ф* — Фогелькоп, *Бк* — Биак, *Нн* — о-ва Ниниго, *Мн* — Манус, *НИ* — Новая Ирландия, *Бв* — Бугенвиль, *Ш* — Шуазель, *И* — Санта-Исабель, *НД* — Нью-Джорджия, *М* — Малаита, *Г* — Гвадалканал, *СК* — Сан-Кристобаль, *Са* — Самоа, *Т* — Тонга, *Л* — Лау, *К* — Кермадек, *НБ* — Новая Британия, *НГ* — Новые Гебриды, *Фд* — Фиджи, *Ла* — архипелаг Луизиана, *НК* — Новая Каледония, *Ло* — о-ва Луайоте, *Н* — хребет Норфолк, *З<sub>1</sub>*, *З<sub>2</sub>*, *З<sub>3</sub>*, *З<sub>4</sub>* — Новая Зеландия, *Тас* — Тасмания, *Кв* — плато Квинсленд, *ПК* — плато Кемпбелл, *Чт* — возвышенность Чатем, *АБ* — о-ва Антиподов — Баунти, *НЗ* — Новозеландское плато, *О* — о-ва Окленд.

сфенохазм, и поэтому смещение Индии относительно Китая также минимально.

Как говорилось выше, Циркумтихоокеанская зона кручения довольно узка на Аляске, где она дальше всего отстоит от Тетической зоны кручения; но если проследивать ее на юг вдоль Восточной Азии, то можно увидеть, что по мере того, как возрастает влияние тетического кручения, от края Азиатского материка постепенно отрываются все более крупные блоки, отделяясь от него все более крупными морями растяжения.

На севере имеются только один оторвавшийся блок (Камчатка) и только одно море (Охотское) шириной 600 км. Южнее, где эта зона пересекает Тетическую зону кручения, оторванный блок намного крупнее (Калимантан вместе с Филиппинами и Сулавеси) и сам разбит на несколько кусков, а ширина морей растяжения в сумме достигает 1600 км.

Расширение Циркумтихоокеанской зоны кручения за счет воздействия на нее Тетической зоны кручения в действительности намного больше, чем расширение последней, потому что, как упоминалось выше, перед смещением под действием тетического кручения западное побережье Тихого океана продолжалось непосредственно к югу через Новую Гвинею, Фиджи и Новую Зеландию (рис. 95, 96) и между Новой Зеландией и Австралией произошел значительный правосторонний сдвиг. Эта зона мегасдвига представляет собой ответвление главного пояса правостороннего кручения и рассматривается как непосредственное продолжение мегасдвига, проходящего западнее Сахалина через остров Хонсю, по тектоническому рву Фосса-Магна и далее по линии Боинского желоба до Марианского желоба. Эта линия правостороннего смещения в настоящее время выражена альпийским Новозеландским мегасдвигом и группой зон разломов Баллени, Тасмана, Кэри и Георга V, которые вместе сместили расширяющийся подводный хребет на 1400 км вправо. Проф. Брюс Уотерхаус, прежде работавший в Торонто, а теперь в Квинслендском университете, давно утверждал, что пермская фауна Новой Зеландии свидетельствует о более теплых водах, чем пермские отложения восточной Австралии, которые содержат тиллиты и эратические валуны ледникового происхождения.

Тетическая зона кручения также смещалась правосторонним сопряженным кручением, что выражается распространением крупных зон широтных разломов, проходящих через восточную часть Тихого океана, возможно, до зоны разлома Мендосино на севере и до Панамы на юге. Впервые об этом упоминалось в 1962 г. в моей президентской речи, обращенной к геологической секции Австралийской и Новозеландской ассоциации содействия развитию науки.

Таким образом, относительные перемещения блоков коры представляют собой сложные взаимодействия нескольких движений: 1) взаимное разделение блоков по мере того, как каждый континент двигался в радиальном направлении от центра расширяющейся Земли и между ними формировалась новая океаническая кора; 2) левостороннее кручение в зоне Тетис между полушариями; 3) правостороннее циркумтихоокеанское кручение; 4) асимметрия между западом и востоком, выраженная в большем расширении вдоль западной окраины Тихого океана, чем вдоль восточной; 5) асимметрия между севером и югом, выраженная в большем расширении Южного полушария по сравнению с Северным.

## 22

### Эволюция литосферы

По представлениям древних греков Гея была богиней Земли, возникшей прямо из Хаоса. Гея — это богиня-покровительница всех геологов, и ее вечная задача — извлекать из Хаоса порядок для Земли. Уран, бог моря, был сыном Геи и ее собственного отца. Гея родила своему сыну Урану много детей, в том числе двенадцать титанов, трех циклопов (которые владели громом и молнией) и трех пятидесятиглавых и сторуких великанов (гекатонхейров). Но у Геи и Урана была также дочь Тетис, вышедшая замуж за своего брата Океана (одного из титанов). Гомер описывал Океан в виде огромной реки, окружавшей древний мир, а Гесиод рассказывал, что Океан и Тетис породили все крупные реки. Когда великий австрийский ученый Эдуард Зюсс (1831—1914) развил неймаровскую концепцию 1885 г. о средиземном море, протягивавшемся от Мексики через Альпы до Гималаев и разделявшем огромный северный материк и огромный южный, который Зюсс назвал Гондваной, он вспомнил греческий миф и назвал этот экваториальный морской проход по имени дочери Геи Тетис.

#### Что такое Тетис?

Зюсс рассматривал современное Средиземное море как остаток своего моря Тетис, которое имело важнейшее значение в географии Земли в период от 240 до 25 млн. лет назад. После

Зюсса все палеогеографические реконструкции в той или иной форме включали Тетис. Зюсс считал, что положения материков фиксированны и постоянны и что океаны, сейчас разделяющие их, возникли в результате погружения находившихся между материками масс суши. Вегенер, как мы видели, рассматривал Тетис как экваториальный морской проход, пересекавший его Пангею, части которой, отодвигаясь друг от друга, образовали современные материки; при этом Атлантический и Индийский океаны заполнили возникшие промежутки. Дю Тойт заменил Пангею двумя полярными материками, разделенными широким экваториальным океаном, который начал сужаться, образовав море Тетис, когда Гондвана скользила по направлению к Лавразии. В процессе этого перемещения значительно расширилось океаническое пространство на противоположной стороне Земли, где образовался Тихий океан. В теории тектоники плит зону Тетис рассматривают как зияние между континентальными областями шириной более 6000 км у ее восточного тихоокеанского окончания, суживающееся до нуля в западном Средиземноморье и вновь расширяющееся до 2000 км в Центральной Америке.

Согласно реконструкции, учитывающей расширение Земли, зона Тетис на протяжении всего палеозоя существовала в виде внутриконтинентальных мелководных морей и около 380 млн. лет назад приобрела экваториальное положение; распределение фораминифер семейства *Verbeekiniidae*, особенно фауна *Neoschwagerina*, доказывает, что к 260 млн. лет назад пояс Тетис представлял собой сквозной мелководный морской проход. На протяжении мезозойской эры это был мелководный геосинклинальный бассейн (с непрерывным морским проходом от Испании до Новой Гвинеи). В эоцене началось воздымание Альп и образовались глубокие рифты в Гималаях, а 15 млн. лет назад началось их быстрое поднятие; поэтому в позднем миоцене и плиоцене фауны на разных участках прежнего сквозного морского прохода развивались независимо одна от другой.

Такое представление о зоне Тетис стало общепринятым, но геологи приписывают ей весьма различное происхождение. Стратиграфы связывают понятие «тетические» с характерными фациями осадконакопления. Палеонтологи определяют тетические фаунистические провинции. По словам проф. Дерекы Эйджера, ведущего стратиграфа из г. Суонси, всегда существовала проблема, определять ли понятие Тетис в географическом, тектоническом смысле или с точки зрения литофаций (серий горных пород). Он мог бы добавить: и с точки зрения времени, так как некоторые геологи полагают, что бассейн Тетис существовал на протяжении всего палеозоя. Действительно, термин Тетис стал для стратиграфов чем-то вроде футбольного мяча, и



смысл его настолько расширился, что, по мнению некоторых, он приобрел слишком много значений и от него надо отказаться.

На следующих страницах я введу генетическое значение этого термина. Когда я рассматриваю Тетис в определении Зюсса — как существовавшую с пермского до эоценового времени сквозную экваториальную геосинклиналь, — я устанавливаю, что такой экваториальный ороген, в котором реализовывалось растяжение и кручение между полушариями, возникал на Земле по крайней мере трижды и что подобная же структура имеется на Марсе.

### Более ранние аналоги бассейна Тетис

Каледонско-Аппалачско-Тасманийская орогеническая зона являлась раннепалеозойским предшественником зоны Тетис и представляла собой опоясывающий земной шар экваториальный ороген (о чем свидетельствуют как палеошироты, установленные по палеомагнитным данным, так и окаменелости), в котором главный завершающий орогенез произошел в среднем девоне, но заключительная стадия активного развития продолжалась до конца палеозоя. Левостороннее кручение со смещением примерно на 2500 км вдоль этой орогенической зоны уже рассматривалось в гл. 13 (рис. 38 и 39). За отмиранием каледонской фазы геосинклинали и орогенеза последовал и поворот всей земной коры на  $45^\circ$  и заложение зоны Тетис вдоль нового экватора.

Еще более ранним, позднепротерозойским, предшественником зоны Тетис была орогеническая зона Кордильер на западе Северной Америки, развивавшаяся как экваториальное орогеническое кольцо примерно от 900 до 600 млн. лет назад, когда поворот против часовой стрелки на  $45^\circ$  передал эту функцию Каледонско-Аппалачскому поясу, который 300 млн. лет назад в связи со следующим поворотом против часовой стрелки на  $45^\circ$  в свою очередь передал эту функцию поясу Тетис. Еще один такой же поворот произошел около 50 млн. лет назад, когда зона Тетис отклонилась от своего экваториального положения, сместившись на  $45^\circ$  к северу в Средиземноморье.

На рис. 97 показаны общие соотношения этих трех генераций зоны Тетис на реконструкции для всей Земли, повсеместно обладавшей континентальной корой. Я продолжил контуры материков за пределы ограничивающего овала, чтобы показать их непрерывность, но в каждом случае они появляются вновь внутри овала в соответствующем положении на противоположной стороне от центральной оси, поскольку овал включает всю Землю. Участки поверхности и линии правого края в действитель-

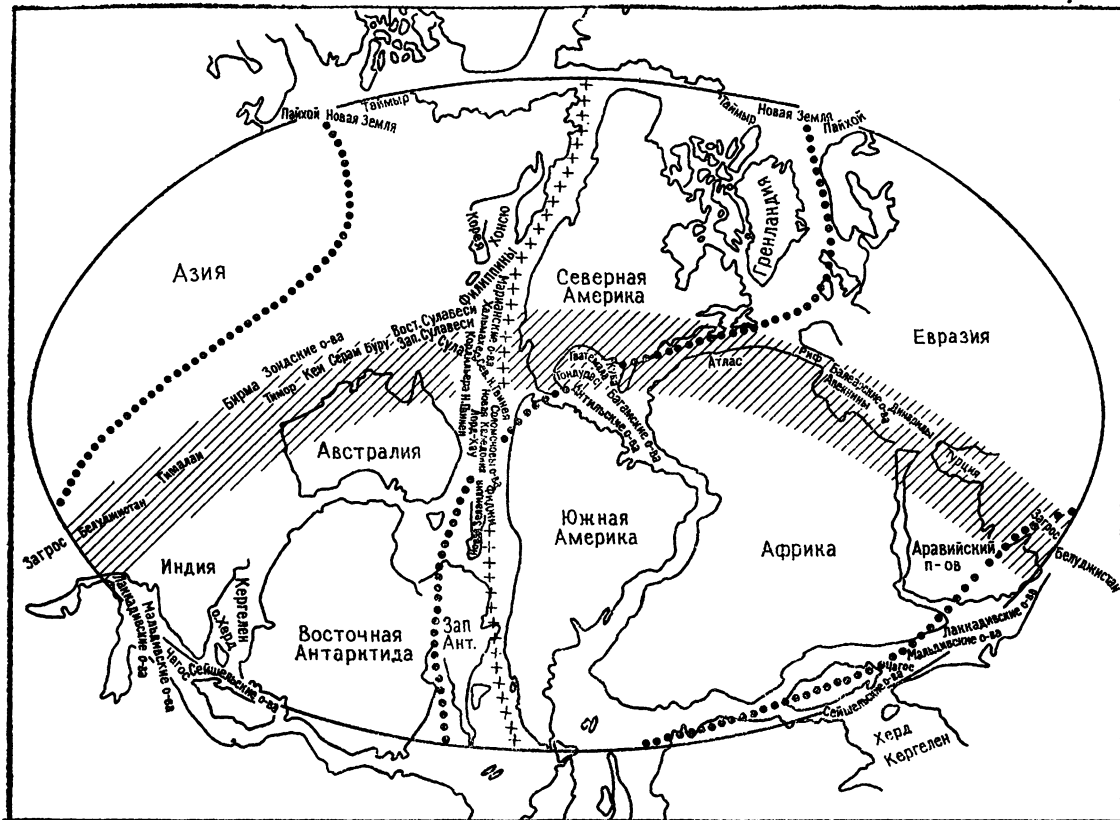


Рис. 97. Область внутри овала представляет собой предварительную схему строения Земли в целом. Показано соотношение пояса Тетис (заштрихован) и его предшественников — Каледонско - Аппалачско - Тасманийского (черные точки) и Кордильерского (крестики) поясов.

ности непосредственно смыкаются с участками и линиями у левого края овала, как если бы я разрезал глобус сзади и развернул его на плоскость.

Центральная линия, обозначенная крестиками, — это ранняя, Кордильерская, генерация зоны Тетис (первоначально располагавшейся вдоль экватора). Линия, показанная крупными точками, — это Каледонско-Аппалачско-Тасманийская ее генерация. Заметьте, что в какой бы точке она ни достигала края овала, она вновь появляется в аксиально-симметричном положении на другой стороне овала. Заштрихованная полоса — это следующая фаза зоны Тетис (Тетис в собственном смысле). Обратите внимание на то, что там, где эта полоса достигает края овала, она также появляется вновь в зеркально-симметричной точке. Вы можете спросить: что же происходит с обозначенной крестиками Кордильерской линией, когда она достигает границ овала вверх и вниз карты? Ответ таков: из точки сверху овала она продолжается вдоль обеих внешних границ овала и снова входит в него с противоположной стороны, так как ни одна линия не может проходить за пределами овала.

Я построил эту схему более десяти лет назад, но не публиковал ее, так как еще необходимо было сделать важные уточнения (например, проверить соотношение Индии и Австралии и положение Новой Зеландии), но каждый раз, когда я перемещал какой-либо участок, новые сетки приходилось рассчитывать с помощью скучных логарифмов для нескольких участков, так как форма любого материка зависит от его местоположения и ориентировки на проекции. Выполнение этой утомительной работы может облегчить применение компьютера. Мы планируем проделать ее в недалеком будущем вместе с д-ром Кеном Перри. Между тем и в настоящем виде эта рабочая диаграмма полезна для выяснения родословной зоны Тетис, но ее не следует применять ни для чего другого или ссылаться на нее как на реконструкцию Пангеи по Кэри.

Как все используемые классификации, это обобщение в виде непрерывного ряда Кордильерская зона — (поворот на  $45^\circ$ ) — Каледонская зона — (поворот на  $45^\circ$ ) — зона Тетис — (поворот на  $45^\circ$ ) весьма упрощено. Имели место промежуточные орогении, и, возможно, необходимо ввести дополнительные схемы для этих орогений. Кроме того, на всех границах полигонов предполагается диапиризм, выраженный в той или иной степени вплоть до значительного орогенеза, который был связан с орогенезом, происходившим в экваториальной зоне. Однако пока этого достаточно, чтобы показать первичную структуру.

Еще не ясно, имело ли место левостороннее кручение, связанное с экваториальным Кордильерским орогеном, подобно тому как оно происходило в зоне Каледонид и зоне Тетис,



Рис. 98. Срезание простираний докембрийских структур геосинклиналю Кордильер. Числа указывают время магматической активности в миллионах лет (По Р. Г. Гастилу из Университета Сан-Диего.)

а также имело ли место правостороннее кручение, сопряженное с каледонским или кордильерским кручением. Но может быть, важно, что все четыре зоны кручения (Тетическая, сопряженная с ней, Каледонская и Кордильерская) пересекались в районе Панамы. Этому можно не удивляться, так как, однажды возникнув, асимметрия имеет тенденцию закрепляться в этом месте процессами обратной связи. Так, в тех случаях, когда соляной диапир или диапир, движущийся под действием повышенных температур, начинает развиваться в каком-то месте, его положение закрепляется обратной связью по плотности.

Проф. Гордон Гастил из Университета Сан-Диего показал, что вплоть до 900 млн. лет назад структуры в Северной Америке были в целом ориентированы в западно-юго-западном направлении. Рифтообразование, положившее начало геосинклинали Кордильер (с которой в свою очередь началось зарождение Тихого океана), срезало наискось это простирание (рис. 98). Самые молодые породы, обладающие этим более древним простиранием, — серия Белт в США и серия Перселл в Канаде. С другой стороны Кордильерского орогена мы должны обнару-

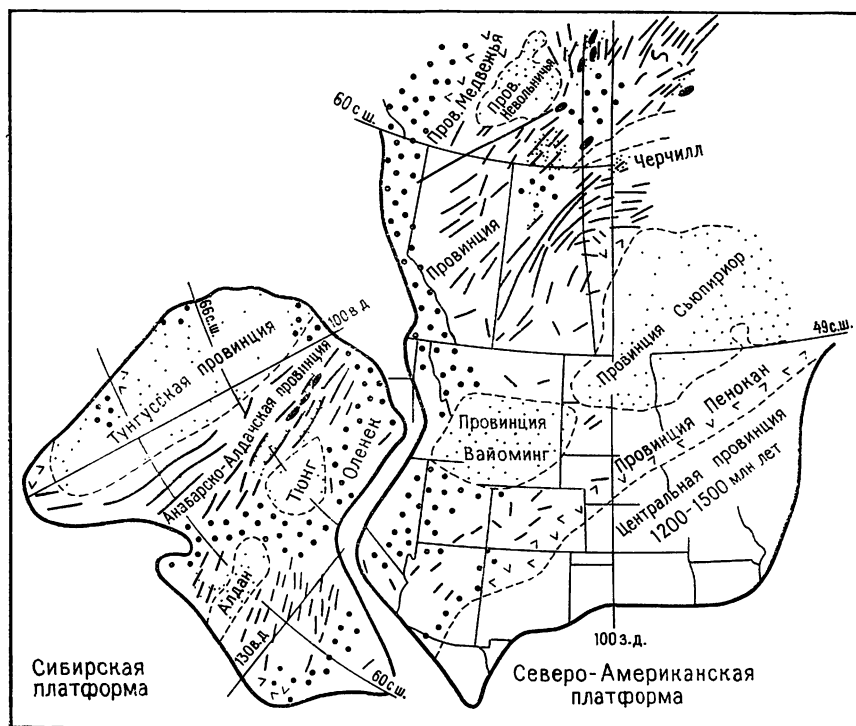


Рис. 99. Продолжение простирающихся докембрийских структур Северной Америки в восточную часть Азии, предложенное Дж. Сирзом из Университета Монтаны и Р. Прайсом из Геологической службы Канады.

жить продолжение этих срезанных древних структур там, где теперь находится Тихий океан. Проф. Джеймс Сирз из Университета Монтаны и д-р Раймонд Прайс из Геологической службы Канады нашли их — в Азии! — там, куда они протягивались до того, как раскрылся Тихий океан (рис. 99).

Первыми слоями, отложившимися в новой геосинклинали Кордильер, были породы группы Уиндермир, которые залегают несогласно на срезанных породах серий Белт и Перселл. На рис. 100 показано, как реконструировал эти отложения д-р Филип Кинг, изобразивший, какими они были до смятия в складки и образования деформировавших и нарушивших их впоследствии разрывов. Это не что иное, как стандартная модель развивающегося орогена (рис. 62). Там, где слои этой группы становятся маломощными и залегают на фундаменте Канадского щита, мы обнаруживаем известняки и существенно

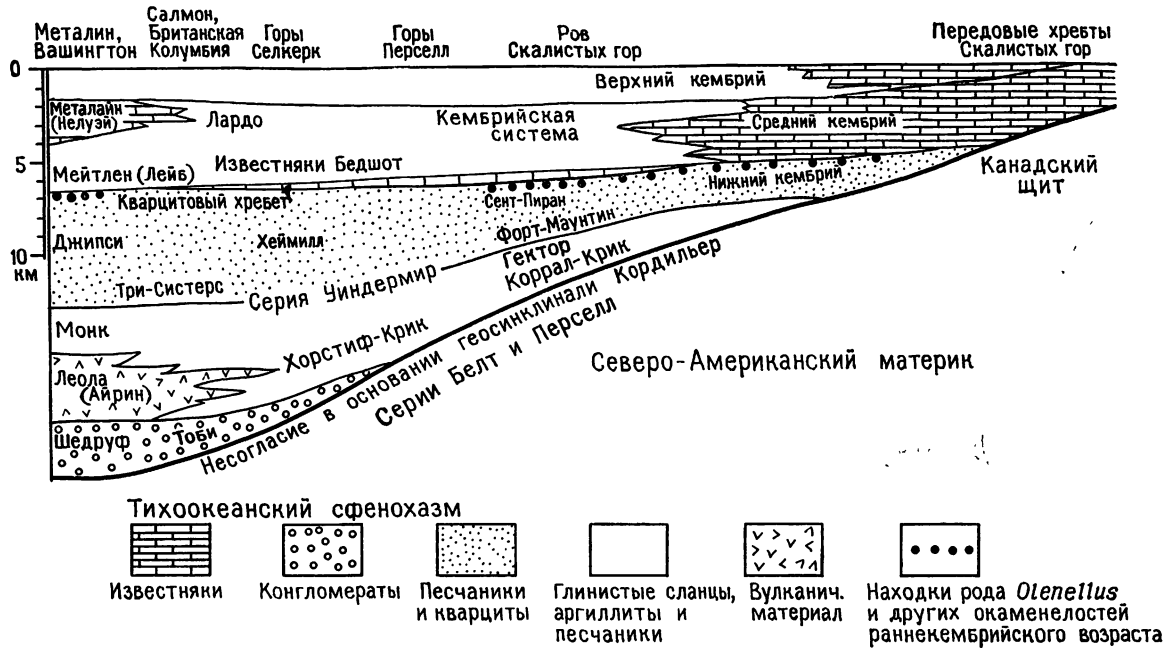


Рис. 100. Фации и мощности отложений первого осадочного цикла геосинклинали Кордильер (по Ф. Б. Кингу).

перемытые песчаники и глинистые сланцы, типичные для миогеосинклинали, однако, по мере того как континентальная кора под ними становится тоньше, их мощность быстро увеличивается, и они замещаются мощными граувакками и вулканитами (типичными для эвгеосинклинали). Если растяжение уменьшает мощность континентального фундамента до нуля, эти эвгеосинклинальные осадки залегают прямо на базальтах и других мафических породах, поступивших из мантии. Этот разрез очень напоминает отложения восточного побережья Северной Америки, накопившиеся с тех пор, как Африка откололась от нее и раскрылся Атлантический океан.

На рис. 101 в обобщенном виде изображена эволюция Земли. Временные интервалы между отдельными схемами не одинаковы, а укорачиваются в геометрической прогрессии. Радиус Земли увеличивается тоже в геометрической прогрессии. Четыре миллиарда лет назад на Земле должно было происходить интенсивное кратерообразование под действием ударов метеоритов и астероидов, и она должна была выглядеть так же, как сейчас Луна, но диаметр Земли был примерно вдвое больше диаметра современной Луны. На следующем рисунке показана Земля в архейское время с полигональными геосинклиналями и обширными впадинами типа тех, которые изображены на рис. 72. Такая полигональная система трещин, пересекающих кратеры, есть на Меркурии.

## Рождение Тихого океана

На следующей стадии, ближе к концу раннего протерозоя, начинает развиваться точно такая же экваториальная система трещин растяжения, какую мы сейчас видим на Марсе (рис. 102). С началом позднего протерозоя, около 900 млн. лет назад, образуется геосинклиналь Кордильер, располагавшаяся приблизительно вдоль экватора, — первая глобальная геосинклиналь, зародыш Тихого океана. Менее значительные геосинклинали развиваются вдоль ограничивающих полигоны рифтов, так как к расширению приспособляется вся Земля. Во впадинах внутри полигонов располагаются обширные мелководные моря (такие, как на рис. 72).

На следующей стадии, приблизительно 500 млн. лет назад, геосинклиналь Кордильер повернулась на  $45^\circ$  против часовой стрелки и примерно вдоль экватора стала развиваться новая активная геосинклиналь, фрагменты которой присутствуют на разошедшихся впоследствии четырех материках в виде Каледонского, Аппалачского и Тасманийского складчатых поясов. Орогенические движения все еще продолжаются вдоль Кор-





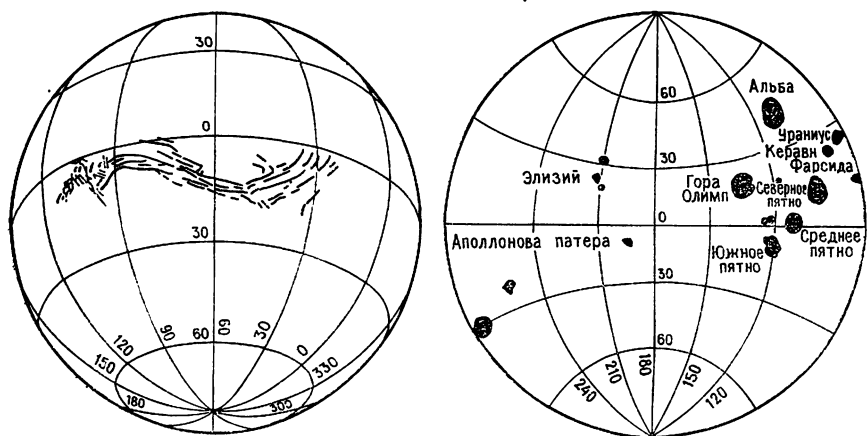


Рис. 102. Асимметрия Марса. На левом рисунке крупная экваториальная рифтовая система имеет длину в четверть окружности, что обусловлено асимметрией расширения. На правом рисунке распространение всех вулканов на Марсе ограничивается одним полушарием, что также свидетельствует об асимметрии расширения.

Еще в 1951 г. японский геолог К. Итикава пришел к выводу, что галька в базальных конгломератах триаса в горах Китиками была принесена оттуда, где сейчас находится глубокая часть Тихого океана. С тех пор несколько исследователей (в том числе совсем недавно Донг Рионг Чой) подтвердили, что массивы суши, которые японские геологи называли Куроисио и Оясио, существовали у океанской стороны Японии. Проф. Калвин Стивенс из Университета Сан-Хосе обнаружил близкородственные пермские кораллы в Кордильерах Северной Америки и Восточной Азии. Отмечается родство пермских фузулинид на западе Северной Америки и на западном побережье Тихого океана, но не по обе стороны Атлантики, раскрытие которой тогда еще не началось. Точно так же аномально появление на юго-востоке Северной Америки позднепалеозойской китайской флоры, характерной для Восточной Азии. Простое объяснение состоит в том, что до юры Тихий океан почти не раскрывался и что массивы суши Куроисио и Оясио фактически принадлежали Северной Америке. Чтобы объяснить такие аномалии в рамках доктрины тектоники плит, нужно предположить путешествующие «микроконтиненты», т. е. перемещение небольших континентальных масс через Тихий океан, который, согласно этой модели, в то время должен был быть гораздо более широким, чем сейчас.

Похожая ситуация обнаружена вдоль Тихоокеанского побережья Южной Америки. Проф. Питер Айзаксон из Университета

Айдахо показал, что в течение девонского периода на территории Боливии, Перу и северной Аргентины отложился миллион кубометров слюдяного песка, источником которого был материк, располагавшийся там, где сейчас находится глубокая часть Тихого океана. В ордовикских трилобитах и девонских брахиоподах и конодонтах Южной Америки заметно близкое сходство с соответствующей фауной по другую сторону Тихого океана — в Австралии и Юго-Восточной Азии. По сообщению проф. Уотерхауса виды пермских брахиопод из рода *Attenuatella*, обнаруженные в Новой Каледонии, близкородственны мексиканским видам, найденным по другую сторону Тихого океана. Совсем как японские геологи, о которых говорилось выше, французский геолог д-р Ж. Авья, ведущий специалист по геологии Новой Каледонии, пришел к выводу, что к востоку от Новой Каледонии, там, где теперь находится только глубокий Тихий океан, должен был существовать крупный массив суши, который он назвал Археофиджия. Позднее, на Международном симпозиуме по геодинамике юго-западной части Тихого океана, проходившем в г. Нумеа на о. Новая Каледония в 1976 г., д-р Авья заявил, что Археофиджия — не что иное, как Южная Америка.

Ряд исследователей (особенно д-р Б. Далмейрак) согласны с тем, что среднепалеозойский Андский ороген располагался посередине материка, причем метаморфические породы континентальной коры простирались на далекое расстояние в область, занятую сейчас Тихим океаном. Где же этот пропавший материк? Конечно, он не затонул. Это — Антарктида и Австралия, тогда представлявшие собой единый материк, ныне отделенный от Южной Америки в результате раскрытия Тихого океана.

Около 280 млн. лет назад (в раннепермское время) произошел следующий поворот на  $45^\circ$  против часовой стрелки, в результате которого Кордильерский пояс расположился по меридиану, а Каледонский — под углом к экватору, где их сменил в качестве экваториальной геосинклинальной зоны пояс Тетис. В это же время увеличение скорости расширения Земли привело к зарождению и развитию на ней крупных океанов. Узкие меридиональные углубления положили начало Северной Атлантике и Индийскому океану, а Кордильерский пояс раздвоился, и внутри него образовалась Эопацифика, которая к раннему мелу, 140 млн. лет назад, расширилась примерно до 3000 км (рис. 95), отделив Восточно-Азиатский ороген и Тасманиды от орогена Американских Кордильер. Новые океаны росли асимметрично, и новая кора наращивалась главным образом на западной стороне разрастающегося океанического хребта, поэтому более древняя часть Эопацифики располагалась на западе, а ось разрастания постепенно смещалась в восточном направлении.

В. А. Красилов из Дальневосточного геологического институ-

та (г. Владивосток) сделал вывод, что даже в юрское время Тихий океан, вероятно, был гораздо уже, чем сейчас:

«Флора цикадовых (саговых) представлена и на Азиатской, и на Американской окраинах Тихого океана. Имеется значительный перерыв в палеонтологической летописи цикадовых между Европой и центральной частью Восточной Азии, и цикадовые Монголии и Японии, вероятно, произошли из Америки. Миграция через сухопутный мост на месте Берингова пролива исключена, так как северные части Азии и Америки были заняты арктической мезозойской флорой (*Phoenicopsis*). Существует поразительная параллель между распределением цикадовой флоры и рогатых динозавров, причем последние были представлены только в Монголии и на западе Северной Америки. Согласно Кольберу, рогатые динозавры пересекли Тихий океан, но не смогли преодолеть море Ланс — узкую полосу воды. Миграция их по сухопутному мосту в районе Берингова пролива также сомнительна из-за климатического барьера. Эти факты дают нам возможность предположить, что путь миграции проходил через мезозойский Тихий океан в средних широтах. Это означает, что Тихий океан был значительно более узким, а не широким».

Более позднее раскрытие Эопацифики предполагал Оукли Шилдс из отделения Калифорнийского университета в г. Дейвис. В 1981 г. на Сиднейском симпозиуме по расширению Земли он сообщил, что

«семейства бабочек сосредоточены в тропиках и субтропиках Мексики, Центральной Америки, на севере Южной Америки, на западе тропической Африки, на Новой Гвинее, на севере и северо-востоке Австралии, в Индонезии, на Филиппинах, в Индокитае, на северо-востоке Индии, в восточном Тибете и на самом юге Китая. Такое размещение их должно было возникнуть до разделения континентов, т. е. до позднеюрского — раннемелового времени».

Шилдс предположил также, что сумчатые, родиной которых, по-видимому, была Северная Америка, проникли в Австралию через Центральную Америку еще до широкого раскрытия Тихого океана, а не через Южную Америку, как обычно считали:

«До предплейстоценового времени в Австралии отсутствовали плацентарные, а в Южной Америке отсутствовали однопроходные. Сумчатые же существовали в Южной Америке так же долго, как и плацентарные. Кроме того, недавние работы по сравнительной морфологии и серологии свидетельствуют о том, что южноамериканские двуутробные и австралийские сумчатые представляют собой различные эволюционные ветви. Позднемеловые североамериканские сумчатые из рода *Alphadon* имеют зубную систему, похожую на зубную систему самых древних австралийских сумчатых, и, возможно, произошли от общего предка. Многообразие сумчатых и отсутствие плацентарных в Австралии заставляют предположить, что сумчатые пришли в нее до середины мела. Предположение о миграции через Антарктиду упирается в проблему адаптации к режиму полярного дня».

Главные изменения происходили при переходе от мезозоя к третичному периоду около 70 млн. лет назад. В орогеническом поясе Тетис ускорилось воздымание диапиров. Активизировались тетическое и противотетическое кручения. Южнее Тетической зоны кручения, где расширяющийся океанический хребет,

проходивший вдоль берегов Южной Америки, уже отделялся от Австралии полосой меловой коры Эопацифики шириной почти 4000 км, асимметричный спрединг сменился симметричным и продолжался между Антарктидой и Австралией, впервые отделив их друг от друга. Расхождение этих материков в меридиональном направлении наряду с одновременным меридиональным расширением между Австралией и Восточной Азией и изгибанием орогенической зоны Тетис в Ассаме и Индонезии являлось результатом правостороннего противокручения между областью Тихого океана и Азией, которое сместило также разрастающийся хребет южной части Тихого океана на 2700 км по пучку сдвигов Баллени, Тасмана, Кэри и Георга V.

К северу от Тетической сдвиговой зоны разрастание океанического дна продолжало оставаться асимметричным, и ось его располагалась почти у побережья Кордильер. Отсутствие сколько-нибудь значительного разрастания в восточном направлении по сравнению с таковым к югу от Тетической зоны кручения означает, что Северная Америка переместилась на 1800 км к западу относительно Южной Америки (рис. 80).

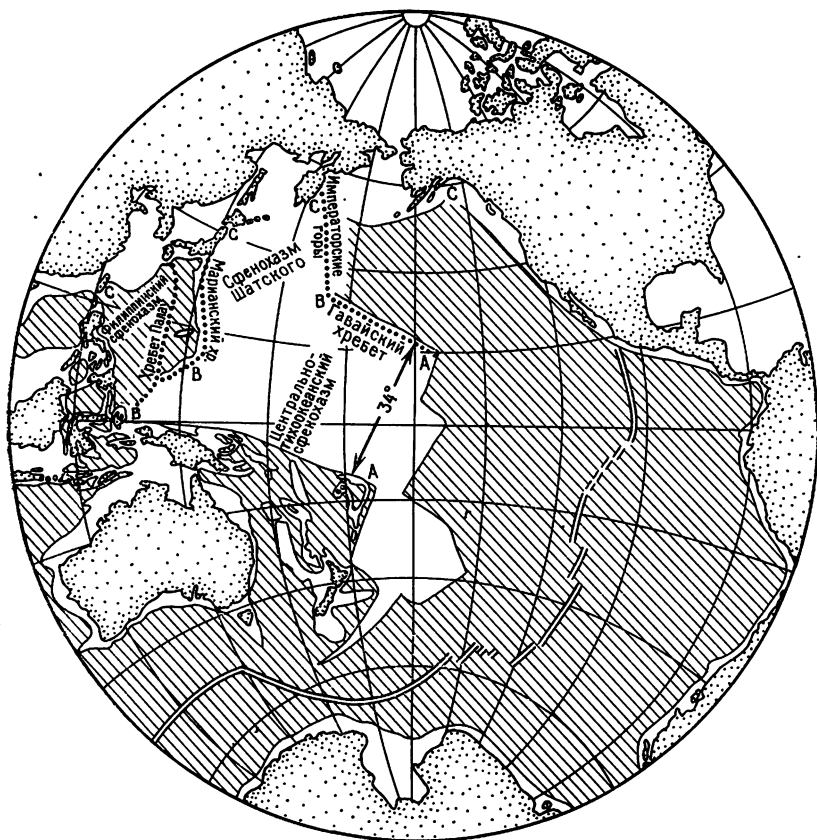
Как отмечалось выше в связи с вопросом о конусах обломочных отложений в Аппалачах (рис. 66), рост орогена не происходил равномерно по всей его длине, а проявлялся в форме роста ряда диапиров на расстоянии 600—700 км друг от друга. При этом в симметричной обстановке формировались колоколообразные диапиры, поднимавшиеся к поверхности в виде округлых орогенов (крикогены Вецеля). В асимметричной обстановке вдоль восточного берега Азии океаническая кора наращивалась в восточном направлении (как и в восточной части Тихого океана) на западной стороне орогенической зоны спрединга. В результате возникла цепочка впадин с нарушенной рифтами континентальной корой на западном фланге, днищем, сложенным океанической корой, которая росла с запада на восток, и с орогенической островной дугой на восточном фланге.

Тасманово море представляет собой более сложный вариант того же процесса (рис. 96). Восточный берег Австралии соответствует восточному берегу Азии; желоб Кермадек от островов Самоа до Новой Зеландии соответствует желобам Восточной Азии, отделяющим собственно Тихий океан от островных дуг («андезитовая линия», показанная пунктиром на рис. 95). Между ними располагается серия впадин растяжения, образовавшихся по мере того, как Австралия отступала к западу в результате постепенного наращивания новой коры на восточной стороне этой системы. Морфологически подводные хребты Лорд-Хау, Норфолк, Три-Кингс, Лау и Тонга напоминают последовательные моренные гряды, оставленные отступавшим ледником. Самые древние впадины располагаются ближе всего к Ав-

стралии, а самые молодые — ближе всего к желобу Кермадек. Относительный возраст впадин подтверждается их глубиной и выделяющимся в них тепловым потоком, потому что в каждом случае мантийный материал, который ныне слагает дно этих впадин, поднялся на несколько десятков километров, и время термической релаксации (т. е. время, необходимое для того, чтобы более высокая температура снизилась до  $1/e$  от избыточной величины) равно десяткам миллионов лет. Понижение температуры означает погружение, обусловленное происходящими на глубине фазовыми изменениями. Система Тасманова моря вдоль ее северного края срезана Тетической зоной кручения, и система Восточной Азии смещена по отношению к ней на 5500 км к западу (рис. 80 и 96).

На рис. 103 схематически изображено разрастание Тихого океана. Чтобы реконструировать Тихий океан ранней стадии его развития, сначала удалим более позднее океаническое дно (заштрихованное на рис. 103), образовавшееся начиная с середины мела; в то же время вернем в прежнее положение структуры, сместившиеся по тетическому и сопряженному с ним сдвигам, что воспроизведет обстановку, изображенную на рис. 95. На рис. 84 видно, что перемещение Австралии к югу относительно Китая равно  $34^\circ$  (суммарное смещение, распределенное по серии небольших рифтовых впадин); это согласуется со смещением на  $34^\circ$  Зондского и Ассамского ороклинов и различием в амплитуде перемещения к северу Австралии и Индии по отношению к Антарктиде (тоже  $34^\circ$ ). На рис. 103 расстояние между Гавайским подводным хребтом и краем Меланезийского плато (между Новой Гвинеей и Самоа) также равно  $34^\circ$ ; следовательно, перемещение Австралии в северном направлении непосредственно сблизило бы Гавайский хребет с Меланезийским плато и уничтожило бы Центрально-Тихоокеанский ромбохазм, который образовался в процессе разрастания океанического дна с триаса. Таким образом, на рис. 103 совместились бы две точки *A*, так же как и три точки *B*. Это движение сочетается с правосторонним глобальным кручением, закрывающим ромбохазм Шатского и совмещающим точки *B* и точки *C*. Эти точки *C* переместились из района залива Аляска в результате скольжения вдоль Алеутского желоба (рис. 41).

Согласно одной из теорем великого математика Леонарда Эйлера (1707—1783), любое перемещение на поверхности шара можно рассматривать как вращение вокруг некоторого полюса на этой поверхности; следовательно, расширение на  $34^\circ$  должно уменьшиться у этого полюса до нуля. Но эта теорема не является справедливой для расширяющейся Земли, на которой описанное выше расширение на  $34^\circ$  могло происходить вокруг тетического экватора. Фактически поперечное расширение в поясе



**Рис. 103.** Разрастание Тихого океана. Заштрихованная область океанического дна образовалась за счет последовательного внедрения «ломтей» новой океанической коры начиная с середины мела. Прерывистыми двойными линиями показана зона спрединга, активная в настоящее время. Рост новой коры в гораздо большей степени происходит к югу от Тетической зоны кручения. Разрастание на  $34^\circ$  в меридиональном направлении между Китаем и Австралией выражается а) ороклинальным смещением между Гималайским и Индонезийским фронтами, б) суммой мелких ромбоазмов между Австралией и Китаем (рис. 84), в) ромбоазмом между Гавайским хребтом и Меланезийским плато и г) правосторонним противокручением.

Тетис происходило вокруг всего земного шара, но неравномерно: примерно на  $11^\circ$  в Средиземноморье, на  $20^\circ$  в Центральной Америке и на  $34^\circ$  в районе Австралии.

Сравните рис. 103 и 104, который был построен с помощью компьютерной программы доктора Перри, для того чтобы смоделировать рост Земли от 76% ее современного радиуса (сте-

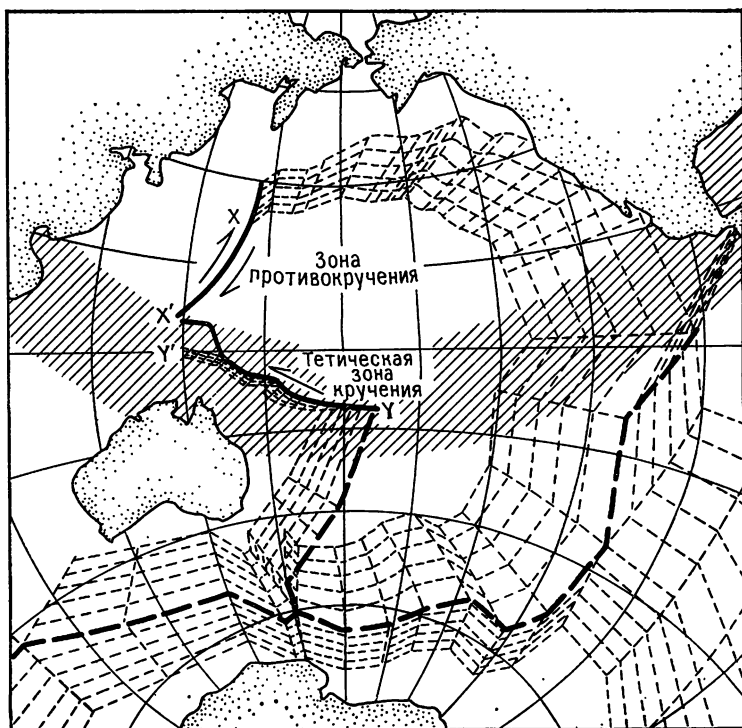


Рис. 104. Эволюция Тихого океана, согласно реконструкции Перри, выполненной по компьютерной программе, в которой учитывается радиальное движение континентов в разные стороны от Пангеи, вызвавшее левостороннее кручение  $Y-Y'$  в зоне Тетис и правостороннее противокручение  $X-X'$ , отодвинувшие в итоге точку  $X$  от точки  $Y$ . В этой реконструкции Тетическая зона кручения отделяет область симметричного спрединга в юго-восточной части Тихого океана от активно расширяющегося хребта в его северо-восточной части. Заштрихованная область кручения в зоне Тетис на этой схеме добавлена мной.

реографическая проекция). Возвращение в первоначальное положение блоков, смещенных тетическим кручением, совместит точки  $Y$  и  $Y'$ , а относительное перемещение в зоне правостороннего сопряженного кручения — точки  $X$  и  $X'$ ; это перемещение также приблизительно равно  $34^\circ$ . Сдвиговые перемещения по зонам кручения в компьютерной реконструкции возникают автоматически.

При анализе данных, обобщенных на рис. 103, равное  $34^\circ$  расширение за счет противотетического кручения и 5500-км сдвиг в результате тетического кручения рассматриваются от-

дельно от разрастания океанического дна (в заштрихованной области), как если бы это были независимые последовательные события. Однако на самом деле это не так. Эти типы движения (разрастание и кручение) разделены на данной схеме только для ясности анализа. В действительности движения обоих типов происходили одновременно и взаимно дополняли друг друга. Для выполнения интегральной последовательной реконструкции, стадия за стадией, потребовалось бы гораздо больше информации.

Сторонники тектоники плит придают большое значение уменьшению возраста вулканических пород вдоль Императорских гор\* и Гавайского хребта и объясняют его движением Тихоокеанской «плиты» над «горячей точкой», расположенной в мантии неподвижно. Но эти датировки возраста лав отмечают лишь время, когда вулканизм *заканчивался*. На Гавайских островах лавы достигают мощности 12 км. Я полагаю, что у основания разреза они гораздо древнее тех лав, возраст которых определен на поверхности, и, возможно, такие же древние, как и любые лавы в Императорских горах.

### Краткие выводы

По палеомагнитным данным установлено, что Северная Америка поворачивалась против часовой стрелки с тех пор, как Тихий океан зародился в виде Кордильерского рифта (рис. 78). Сначала этот рифт простирался вдоль экватора того времени, а Северный полюс находился к юго-юго-западу от Северной Америки в ее современной позиции на карте. В меловом периоде, когда экваториальное положение занимал пояс Тетис, Северный полюс располагался к северо-западу от Северной Америки в ее современной позиции, и с того времени Северная Америка повернулась еще на 45° против часовой стрелки. Увеличивающиеся углы между интервалами времени в 100 млн. лет на рис. 78 показывают, что скорость вращения возрастала. Больше половины всего поворота приходится на последние 150 млн. лет. Это соответствует тому, что за то же время образовалось более половины нового океанического дна. Получается, что каждый тектонический процесс со временем становится интенсивнее и скорость его увеличивается.

Все крупные орогены вначале были экваториальными рифтами: первичный Кордильерский, Каледонско-Аппалачско-Тасманийский и Тетис. Другие орогенические зоны были вторичными. Когда возрастающая скорость расширения Земли 200 млн. лет

\* Иначе — Северо-Западный хребет. — *Прим. ред.*



назад потребовала образования сквозного меридионального рифта, самый важный рифт развился вдоль зоны Кордильер, которая в это время уже была ориентирована меридионально, и образовались новые межконтинентальные рифты, положившие начало Атлантическому и Индийскому океанам (вместе с рифтом Восточно-Сибирской равнины\*, который сейчас целиком заполнен осадками). Крупные океаны — недавнее образование на земной поверхности; до середины мезозоя их не существовало. Ускорение всех тектонических процессов означает, что в понятии «сейчас» не содержится указания на средние значения массы Земли, ее объема, физического состояния поверхности или жизни. Настоящее — это ключ к прошлому только в смысле физических законов, уже известных — или еще не открытых.

---

\* По-видимому, автор имеет в виду Западно-Сибирскую равнину.—  
*Прим. ред.*

# ОБЩИЙ ВЗГЛЯД НА ВСЕЛЕННУЮ

## 23

### Земля и космология

Естественно, я должен попытаться объяснить, чем вызвано описанное мной ускоряющееся расширение Земли. Однако если предлагаемое здесь объяснение окажется неверным, то отвергнуть надо будет именно объяснение, а не саму реальность расширения. Вспомним, что Вегенер представил свои эмпирические данные о перемещении материков вместе со своим физическим объяснением. Когда последнее оказалось неадекватным, вся идея перемещения материков была отвергнута на несколько десятилетий, хотя в конечном счете она была признана в основном правильной.

Рассмотрим сначала пять объяснений, предложенных другими авторами.

1. Циклические пульсации Земли, при которых фаза расширения характеризуется раскрытием или разрастанием океанских впадин, а фаза сжатия — явлениями орогенеза. Этой системы взглядов придерживались и придерживаются некоторые советские и другие исследователи (например, Шнейдеров, Стайнер, Хаин, Кропоткин, Милановский). Пульсации — альтернатива простому расширению, но не объяснение причин. Такое представление не вяжется с экспоненциально возрастающей скоростью расширения; кроме того, оно основано на глубоко укоренившейся ложной аксиоме, что орогенез подразумевает сжатие (сокращение) земной коры. В самом деле, другие советские геологи, возглавляемые Белоусовым, всегда стояли за отказ от контракционной теории, утверждая, что орогенез — это в первую очередь процесс вертикальных движений, обусловленных силой тяжести. Я целиком поддерживаю эту точку зрения. Тем не менее я считаю весьма убедительными данные о том, что орогенезу присущи цикличность и пульсации, — вероятно, в целой иерархии временных шкал, — когда расширение то усили-

вается до самой высокой степени, то убывает, возможно, до нуля, сменяясь затем новой волной усиления. Я не вижу никаких данных, для объяснения которых требуется сжатие коры. Все грандиозные надвиги, которые можно видеть в Альпах и Гималаях, — это неизбежное следствие диапирового орогенеза.

2. В последние десятилетия некоторые ученые (например, Ф. Дакиль, С. В. М. Клюб и У. М. Напье, Л. С. Майерс и др.) предлагали объяснение, в котором главная роль отводилась аккреции (присоединению к Земле) метеоритов и астероидов. Конечно, Земля получала добавки такого рода к своей массе на протяжении всей своей истории, и были выдвинуты серьезные доводы в пользу того, что в конце мелового периода, около 60 млн. лет назад, с Землей столкнулся крупный астероид. В самом деле, каждый день происходит какое-то добавление массы за счет микрометеоритов и ежегодно в определенное время появляются хорошо известные метеорные потоки, которые по меньшей мере в некоторых случаях совпадают по времени с пересечением Землей кометных орбит. Современная интенсивность аккреции на много порядков меньше той, которая могла бы привести к сколько-нибудь существенному увеличению объема и радиуса Земли. Данные по другим планетам и спутникам указывают на то, что несколько миллиардов лет назад такой привнос вещества был весьма значительным. Однако данный процесс не может быть главной причиной расширения Земли, потому что величина метеоритного потока со временем экспоненциально убывает, тогда как расширение экспоненциально нарастает.

3. Третья и наиболее популярная среди ученых теория постулирует, что первоначально у Земли было ядро из сверхплотного вещества, которое медленно превращалось в «нормальный» материал, вызывая постепенное расширение планеты. Различные модели такого рода предлагались многими авторами из США, Канады, Австралии, Венгрии, Великобритании, Германии и Советского Союза. В предыдущих главах этой книги было сказано, что твердые вещества в результате перекристаллизации по мере возрастания всестороннего давления превращаются во все более плотные материалы: графит становится алмазом с увеличением плотности на 50%, кварц переходит в коэсит, из него — в стишхит с таким же уплотнением, базальт (состоящий в основном из полевого шпата и авгита) превращается в более плотный эклогит, состоящий из граната и жадеита. Давления на глубинах всего в несколько десятков километров достаточно, чтобы вызывать такие изменения, и предполагается, что при тех давлениях, которые достигаются в ядре, плотность может быть во много раз больше. Конечно, фантастически высокие плотности существуют, как полагают, в белых карликах и нейтронных

звездах, но критики утверждают, что давление внутри Земли никогда не было столь большим, чтобы могло появиться постулируемое сверхплотное ядро.

Стремясь уйти от ударов критики, некоторые ученые заявляют, что сверхплотное ядро было унаследовано от какой-то более ранней стадии (до того, как Земля выделилась из своего звездного прародителя) и оставалось с тех пор в метастабильном состоянии. Например, метастабильно обыкновенное стекло: его девитрификация, т. е. переход в кристаллическое состояние, происходит на протяжении нескольких столетий. Точно так же метастабильны на земной поверхности эклогит, стишовит и алмаз, однако время релаксации (число лет, за которое рекристаллизация захватит около трети всего вещества) для них очень велико. Поэтому, согласно данной гипотезе, вещество метастабильного сверхплотного ядра постепенно переходило в менее плотные материалы, что вызывало значительное расширение Земли. Остается, однако, роковое препятствие для всех таких теорий — постулат о том, что первичная Земля обладала такой же массой, как сейчас, но ее диаметр был вдвое меньше. В этом случае сила тяжести на поверхности была бы примерно четверо больше современного значения, и это проявилось бы во многих геологических процессах. Проф. Стюарт из Редингского университета в Англии отверг идею расширения Земли именно по этой причине. Но важной предпосылкой его позиции было допущение, что масса Земли существенно не менялась.

4. Согласно ньютоновскому закону тяготения, притяжение двух тел друг к другу пропорционально произведению их масс, деленному на квадрат расстояния между ними; коэффициентом пропорциональности служит «гравитационная постоянная»  $G$ . В последние полвека несколько видных физиков, в том числе Дирак в Великобритании, Йордан в Гамбурге, Дикке в Принстоне, Д. Д. Иваненко и Р. М. Сагитов в СССР, высказывали предположение, что гравитационная «постоянная» в действительности не постоянна, а уменьшается со временем. Это заставило бы Землю расширяться. Недра нашей планеты повсеместно находятся в состоянии упругого сжатия под действием веса вышележащих пород. Постепенное уменьшение значения  $G$  должно было всюду уменьшить эту нагрузку, дав всем породам возможность упруго расширяться.

Кроме того, все описанные выше фазовые изменения (графит — алмаз, кварц — стишовит, базальт — эклогит) зависят от давления, и очень большое число таких фазовых переходов происходит на всех глубинах внутри Земли. По мере уменьшения  $G$  глубина каждого из этих переходов должна смещаться вниз — до уровня соответствующего давления, так что будет развиваться все большее расширение. Многие считают, что такое изме-

нение  $G$  действительно происходит и, следовательно, связанное с ним расширение Земли неизбежно. Но остаются две проблемы. Во-первых, с помощью этого механизма трудно получить требуемую количественную степень расширения. Второе важное препятствие, на которое указывают те, кто отстаивает идею о постоянстве массы Земли, не только остается, но и возрастает: если бы значение  $G$  в прошлом было выше, то сила тяжести на поверхности должна была быть еще большей, чем в случае одного только изменения радиуса Земли. Следовательно, вековое уменьшение  $G$  не может быть главной причиной расширения.

5. Предположение о том, что расширение вызвано некой космологической причиной, связанной с вековым увеличением массы, впервые было высказано в России и затем постоянно развивалось в этой стране (Ярковский в 1889 г. и его последователи — Кириллов, Нейман, Блинов и Б. И. Веселов). В 1933 г. в Берлине независимо Хильгенберг пришел к идее о вековом возрастании массы, а в 1976 г. к этому же выводу пришел и я, убедившись в неприемлемости высоких значений силы тяжести на поверхности Земли, когда ее диаметр был меньше. Хотя другие объяснения, упоминавшиеся выше, хорошо обоснованы и предполагаемые в них процессы должны были в какой-то мере способствовать расширению, ограничения на величину силы тяжести на поверхности в прошлом не оставили мне иной альтернативы, кроме как присоединиться к русским ученым и Хильгенбергу в их заключении, что не только объем Земли увеличивался, причем с возрастающей скоростью, *но и ее масса*.

Тогда же я понял, что эта загадка относится не только к Земле. Расширение Вселенной было открыто полвека назад, но следствия закона Хаббла (о котором будет говориться позже в этой главе) заставили меня сделать вывод, что все тела во Вселенной испытывают такое же ускоряющееся увеличение массы. Поэтому чтобы понять расширение Земли, надо стремиться понять расширение Вселенной. Должен ли я, будучи всего лишь геологом, просто развести руками и оставить решение проблемы расширения Земли космологам? К сожалению, если бы я так поступил, то интерес к этому делу зачах бы и увял.

С академической точки зрения наука делится на физику, химию, геологию, геофизику, астрономию и т. д. Развитие науки сейчас идет в направлении все большей специализации, и ученые, знания которых в других областях все сокращаются, с насмешкой отзываются о тех, кто вторгается в чужие сферы деятельности, и не терпят их вмешательства. Доктрины вырастают в убеждения и преподносятся другим уже как факты. Фундаментальные проблемы, как правило, замалчиваются и откладываются на неопределенное время. Но Природа сама по себе

не знает таких барьеров. Вся наука — это по существу не что иное, как просто здравый смысл и, будучи освобождена от учебного жаргона и непонятных обозначений, должна быть доступна для понимания любого мыслящего человека. Ученые обязаны обеспечивать согласованность представлений, причем не только в пределах собственной специальности, но и по отношению ко всей природе. Для решения наиболее фундаментальных проблем требуется приток информации из различных источников. Данные геологии содержат столь же важные обоснования для формулирования новых физических законов, сколь и физические лабораторные эксперименты; более того, масштабы размеров, массы и времени в геологии выходят далеко за пределы, достижимые в лабораторных опытах. Физика себя обедняет, если пренебрегает потенциальным вкладом геологии. Так было, когда Ньютон с презрением относился к доводам Гука, Кельвин игнорировал выводы геологов о возрасте Земли, Джеффрис отвергал идею о материковом дрейфе, а современные палеомагнитологи упрямо строят свои траектории миграции палеополлюсов, не допуская значительного изменения земного радиуса. В 1970 г. я закончил свою президентскую речь на собрании Австрало-Новозеландской ассоциации содействия развитию науки следующими словами:

«Наши предки в течение тысячелетий считали очевидной истиной, что Земля плоская. Позднее мы считали очевидным, что — поскольку Солнце, Луна и звезды восходят на востоке и заходят на западе — Вселенная обращается вокруг Земли. Тысячелетиями мы считали очевидным, что диаметр Земли существенно не изменился со времени ее первичного формирования, кроме как в результате сжатия при остывании. Но теперь мы обнаруживаем, что Земля постепенно расширялась и продолжает расширяться с возрастающей скоростью. Чем скорее физики усвоят урок, вытекающий из таких примеров, тем скорее они найдут новые законы, необходимые для объяснения этих фактов. Здесь лежит ключ к важнейшему новому открытию».

Итак, в поисках смысла найденного мной возрастания как диаметра, так и массы Земли я, геолог, должен устремиться в дебри космологии, затронув такие понятия, как пространство-время, потому что если я оставлю это дело специалистам, оно не будет сделано, во всяком случае при моей жизни. Кроме того, прошлое учит нас, что вырваться из общепринятой догмы обычно под силу только тому, кто приходит из другой области знаний.

## Закон Хаббла и «Большой Взрыв»

В первые годы нашего столетия астрономы обсуждали вопрос о том, находятся ли многочисленные туманности внутри нашей Галактики (Млечного Пути) или далеко за ее предела-

ми. Эдвин Пауэлл Хаббл в 1924 г. решил этот вопрос, обнаружив переменные звезды (цефеиды) в туманности Андромеды и тем самым доказав, что она представляет собой самостоятельную звездную систему, весьма похожую на нашу собственную Галактику, но находящуюся от нее на расстоянии около миллиона световых лет. В дальнейшем он выделил еще сотни таких галактик, расположенных еще дальше, а в 1929 г. заявил, что чем дальше находится галактика, тем быстрее она от нас удаляется. В этом и состоит сформулированный Хабблом закон: скорость разбегания галактик возрастает примерно на 30 км/с на каждый миллион световых лет их расстояния от нас. Следовательно, Вселенная расширяется. Оценки «постоянной Хаббла» были несколько различными — в зависимости от метода измерения, — но это не влияет на сам принцип. Затем Дирак сделал очевидный вывод: из этого принципа следует, что если возвращаться во времени назад, то чем дальше мы будем идти, тем ближе одна к другой будут становиться все галактики. Приведем цитату из работы Дирака 1937 г.: «Вселенная возникла около двух миллиардов лет назад, когда все спиральные туманности были как бы выстрелены из небольшой области пространства или, возможно, из одной точки!».

Какую же гигантскую массу должна была иметь эта точка! Вся масса целой Вселенной концентрировалась в ней! Сотня миллиардов галактик, в каждой из которых примерно по 100 миллиардов звезд, была сконцентрирована в одной точке! Этот сверхтяжелый зародыш Вселенной, по-моему, невозможно вообразить. Как утверждают ученые, в нашей Галактике существует множество черных дыр, которые настолько плотны, что даже излучение не может исходить из них. Но и они кажутся легкими пушинками по сравнению с тем зародышем. Леметр называл его «первоатомом». Гамов присвоил ему название *улем* (айлем)\*. Но определенно ничто — ни вещество, ни даже излучение — не могло бы вырваться из такого средоточия массы. Современные космологи согласятся с этим и будут доказывать, что ничто и не вырывалось, ибо ни время, ни пространство не существовало вне такого зародыша и не существуют за пределами родившейся каким-то образом современной Вселенной. Несомненно, на начальных этапах весь космос должен был быть заключен внутри радиуса Шварцшильда и оставаться самой черной из всех черных дыр, какие можно вообразить.

Что же тогда означает закон Хаббла? Он означает, что то, что я счел возможным сказать о Земле, применимо и ко всей

---

\* Русский вариант — гилем (от греч. *ὕλη* — материал, вещество). — *Прим. перев.*

Вселенной: увеличение объема и возрастание массы идут рука об руку.

Возвращение хаббловской расширяющейся Вселенной к началу должно включать убывание массы, так что начальный зародыш имел не такую немисливо большую массу, какую предполагали Дирак, Фридман, Леметр, Эддингтон и Гамов, а наоборот, совершенно ничтожную и, возможно, даже *вовсе не имел массы!* «Большой Взрыв» (как называют теперь — несколько вольно — эту концепцию) — просто вымысел, фантазия. Как и большинство моделей Вселенной, данная концепция принимает в виде аксиомы, что все ее вещество существовало с момента возникновения. Что свидетельствует об этом? Ничто: это совершенно необоснованное допущение.

Миф о Большом Взрыве надо отвергнуть и по более серьезной причине. Согласно этой теории, вся масса целой Вселенной, т. е. сырье для последующего построения 100 миллиардов галактик, появилось мгновенно на пустом месте — из ничего. Это нарушает первую аксиому физики — закон сохранения. Бонди указывал, что «начало» Вселенной мыслится как особая (сингулярная) точка на границе сферы понятий, относящихся к физике. Любой вопрос о том, что предшествовало этому началу или какова его природа, уже не рассматривается физикой, и она не может дать на него ответ. Законы физики появились вместе с рождением Вселенной, но эти законы не рассматривают сам акт творения. Физика уклоняется от проблемы творения, пряча его, как сор под половик. По словам Макрея, рождение Вселенной случилось раз и навсегда и поэтому не может служить предметом обычной физической дискуссии, но определяет начальные условия для всех остальных обсуждаемых тем.

Такая физика не имеет корней. Я считаю это неприемлемым. Для меня законы природы, в том числе законы сохранения, должны быть универсально справедливы. Это возможно только в том случае, если Вселенная представляет собой некоторое нулевое состояние, что было высказано в 1973 г. Эдуардом Трайном на основе космологических соображений и совершенно независимо мной в 1978 г. по аналогии с идеей расширения Земли. Вселенная всегда была, есть и будет некоторым нулевым состоянием. Сотворение материи и энергии напоминает получение (когда в кассе ничего нет) банковской ссуды, с которой создается некое имущество, дающее возможность заключать все виды деловых соглашений, но при этом та же сумма возникает в виде долга, т. е. с противоположным знаком. Ниже будет развита эта концепция нулевой Вселенной.

С методологической точки зрения Большой Взрыв неизбежно включает дилемму Анаксимандра, обсуждавшуюся позднее Аристотелем, о «всеобъемлющем» первоначале, или первопри-



чине. Поскольку у этой дилеммы не было логического решения (кроме нулевого), необходимо было привлекать божественное вмешательство, не подчиняющееся ни законам природы, ни логическим построениям. С точки зрения логики это не помогает решить дилемму первопричины, поскольку только подменяет вопрос о первоначальном творении вопросом о происхождении творца, что ведет к проблеме типа «что было раньше: курица или яйцо» — бесконечной последовательности создателей, создающих создателей. Однако с самого начала развития разума то, что нельзя было объяснить с помощью наблюдений и разумных умозаключений, всегда приписывалось богам, которые могут сделать все, что захотят. Поскольку большинство философов вплоть до сегодняшнего дня верит в божественное начало, лишенная корней физика для них вполне приемлема. Это безусловно относится к Эйнштейну, который неоднократно заявлял о своей вере в Бога и не мог принять принцип неопределенности, потому что «Бог не играет в кости».

«Новая космология» ухватила за принцип неопределенности, чтобы уйти от дилеммы о происхождении Большого Взрыва. Не только вся материя и энергия целой Вселенной появились в этот момент из ничего, но и само время и пространство. До того момента не существовало ни времени, ни пространства, ни Бога. Сам вакуум флуктуирует случайным образом около нулевого состояния, в результате чего появляется вероятность возникновения материи в любой момент, и таким образом в какой-то момент появилась вся Вселенная в виде сверхплотной плазмы, которая с тех пор расширяется. Существуют надежные экспериментальные данные о том, что случайные квантовые флуктуации действительно происходят в субатомном мире и описываются волновой функцией Шредингера; это имеет важные практические приложения, например в физике полупроводников (таких, как туннельные диоды).

Однако эта модель имеет два роковых изъяна. Во-первых, в то время как вероятность играет важную роль на субъядерном уровне, ее роль уменьшается экспоненциально с ростом размеров, и привлекать квантовые флуктуации вакуума для создания модели Вселенной — полный абсурд. Во-вторых, модель Большого Взрыва допускает след за Эйнштейном, что масса и энергия — взаимопереходящие проявления одной и той же сущности; перед «началом» общая величина массы-энергии равнялась нулю, но в следующий момент она была уже невообразимо огромной — это была уже полная масса-энергия современной Вселенной. Но в модели квантовой флуктуации сумма массы-энергии до и после события остается неизменной, а роль флуктуации сводится всего лишь к тому, чтобы перепрыгнуть через потенциальный барьер (или проникнуть сквозь него), так что

частица появляется на другой стороне барьера с первоначальной энергией. Призраки Анаксимандра и Аристотеля изгнать не удалось.

Эта абсурдность «новой космологии» проявилась только потому, что концепция Большого Взрыва в последнее время стала ее общепринятым кредо, и, как сказал Джон Арчибальд Уилер, когда потребовалось объяснить Большой Взрыв, единственно возможным объяснением показалась квантовая флуктуация. Хотя Вернер Гейзенберг вывел принцип неопределенности исключительно для субатомных явлений, где сам процесс физического измерения не позволяет одновременно определить точное положение и скорость субъядерной частицы (или это волна?), теоретики квантовой механики все смелее переносят этот принцип на явления макромира — вплоть до того, что создаваемые в последнее время модели кривизны пространства и гравитации все больше похожи на плоды деятельности воспаленного мозга (см., например, обзор квантовой теории гравитации Брайса Де Витта в «Scientific American», 1984\*). Математики состязаются в умозрительном фантазировании, а «новые космологи» принимают эти фантазии за чистую монету.

В последние десятилетия не стихают дебаты о сравнительных достоинствах теории Большого Взрыва (по которой вся масса и энергия, а также время и пространство появились не более чем 20 млрд. лет назад) и теорий стационарного состояния Вселенной (сторонники которых не видят ни начала, ни конца). Недавно предпочтение отдавалось Большому Взрыву, поскольку эта теория свидетельствовала в пользу возрастающего числа радиогалактик и квазаров в единице объема с ростом расстояния (о чем можно судить по возрастанию силы сигнала и величины красного смещения в тех случаях, когда оптическое изображение совпадает с радиоисточником). Кроме того, во Вселенной, по-видимому, водорода вчетверо больше, чем гелия, что соответствует теории образования элементов при Большом Взрыве. Но еще более заметная подвижка к признанию этой теории последовала за случайным открытием, которое сделали в 1965 г. два физика из Bell Laboratories — Р. У. Уилсон и А. А. Пензиас. Они обнаружили фоновое излучение Вселенной, очень напоминающее то, которое испускалось бы «черным телом» при температуре, близкой к абсолютному нулю ( $\approx 3$  K). Такое «реликтовое» излучение было предсказано Георгием Гамовым как затухающий отсвет вспышки Большого Взрыва. Реальное существование фонового радиоизлучения Вселенной доказано, но его связь с исходным Большим Взрывом остается

\* Русский перевод: Б. С. Де Витт. Квантовая гравитация. — «В мире науки», 1984, № 2, с. 50—62. — *Прим. перев.*

только умозрительной. Я же считаю, что фоновое излучение — это неизбежное проявление того, что получило название парадокса Ольберса.

## Парадокс Ольберса

Генрих Вильгельм Ольберс (1758—1840), бременский физик и астроном-любитель, прославившийся открытием нескольких астероидов и комет, в 1826 г. обратил внимание на один парадокс (о котором на 82 года раньше сообщил швейцарский астроном Филипп де Шезо, а фактически знали и некоторые другие начиная с Томаса Диггерса в 1596 г. — Ольберс не упомянул об этом!): если бы звезды были распределены в бесконечной Вселенной равномерно, то луч зрения в любом направлении обязательно наткнулся бы на звезду и все небо было бы залито ослепительно ярким светом. Поглощающее межзвездное вещество не могло бы нас защитить, так как в конечном счете оно излучало бы столько же, сколько получало. Ответ лорда Кельвина на этот парадокс заключался в том, что поскольку звезды испускают свет за счет гравитационного сжатия (как он считал), которое ограничивает продолжительность их жизни величиной 100 млн. лет, а время распространения света от них гораздо больше, чем длится их светимость, то даже если они встречаются во всем окружающем нас пространстве до бесконечности, мы в любое данное время можем получать свет только от малой их доли. Именно Хабблу принадлежит открытие, что все галактики разбегаются со скоростями, пропорциональными их расстояниям от нас. Это окончательно разрешает парадокс Ольберса благодаря эффекту, открытому в 1842 г. австрийским математиком и физиком Христианом Иоганном Доплером (1803—1853).

Когда поезд приближается к нам с высокой скоростью, то звук его гудка постепенно поднимается до высокого тона, но когда поезд проходит мимо и быстро удаляется, его гудок становится более низким. То же самое происходит со светом его головного прожектора: при его приближении цвет световых лучей несколько смещается по спектру в сторону более высоких частот — но из-за того, что скорость приближения поезда очень мала по сравнению со скоростью света, на деле очень трудно заметить «посинение» света прожектора с приближением поезда и «покраснение» при его удалении.

Но скорость, с которой разбегаются далекие галактики, составляет уже не такую малую долю от скорости света, и доплеровское смещение цвета к красному концу спектра весьма значительно и вполне измеримо. В самом деле, свет самых да-

лекних из наблюдаемых галактик смещается ко все более длинным волнам за пределами красного конца видимого спектра в инфракрасную область. Но на таком удалении они становятся уже такими тусклыми, что неразличимы в оптический телескоп, а различать еще более удаленные галактики оказывается не под силу и радиотелескопам — Вселенная как бы исчезает.

Это связано только с ограничениями нашей техники наблюдений. Промежутки между световыми лучами, приходящими к нам от отдельных галактик (если бы мы могли видеть все более тусклые объекты и принимать излучение со все большей длиной волны), становятся все меньше и меньше, и удаляющееся облако галактик превращается в микроволнах в однородную завесу. Это и есть сплошной светящийся небосвод по Ольберсу, но не ослепительный и обжигающий, как он предполагал, а как фоновое излучение Вселенной на длинах волн вблизи предела радиообнаружения и с температурой менее 3 К. Это свечение создается не каким-то одним излучающим объектом, а идет от обширного облака галактик, столь тесно расположенных в поле зрения, что они не разрешаются антенной. Они находятся от нас на самых разных расстояниях и имеют разную величину красного смещения, поэтому их общее излучение должно быть однородно распределенным по всему спектру и, следовательно, быть таким же, как излучение черного тела. Я называю эту узкую «щель», позволяющую заглянуть в самые отдаленные области Вселенной, «окном Ольберса».

Но и этот едва заметный прощальный отблеск разбегающихся галактик в конце концов исчезает навсегда, уходя в область радиоволн, недоступных для наших методов наблюдений. Абсолютный предел той Вселенной, который мы смогли бы различить в любом отдаленном будущем, будет достигнут тогда, когда мы дойдем до скоростей разбегания, близких к скорости света. У этого предела длина волны достигающего нас «света» приблизится к бесконечности; время, необходимое для того, чтобы он дошел до нас от своего источника, также приблизится к бесконечности, а интенсивность сигнала упадет до нуля. Что бы ни случилось за этим пределом, мы никогда этого не узнаем — у нас нет для этого никаких физических возможностей. Другими словами, мы вообще ничего не увидим, даже если астрономы в тех галактиках, которые находятся за пределами нашей познаваемой Вселенной, и наблюдают точно так же, как мы сейчас, разлетающиеся от них галактики. Свет, покинувший нашу Галактику примерно 10 млрд. лет назад, только сейчас достигает границы нашей познаваемой Вселенной в виде микроволнового излучения. По отношению к наблюдателю из какой-либо находящейся там галактики мы сами окажемся на краю его познаваемой Вселенной. Точно так же, например, в откры-

том океане: моряк, корабль которого только появился на нашем горизонте, видит нас на своем горизонте, но океан продолжается и за ним далеко за пределы нашего поля зрения. Так и за пределами познаваемой Вселенной космос продолжается еще далеко-далеко — до бесконечности. Граница нашей Вселенной — продукт нашего собственного воображения, и она не более реальна, чем горизонт того моряка.

### Ньютоновское притяжение и хаббловское отталкивание

Если бы ньютоновский закон всемирного тяготения был действительно всемирным, универсальным, то все галактики притягивались бы друг к другу, сколь далеки они ни были друг от друга, но это противоречит эмпирическому закону Хаббла о разбегании галактик. Это не должно нас удивлять: ведь закон Ньютона — также чисто эмпирический. Тщательные наблюдения, проведенные Тихо Браге, позволили Иоганнесу Кеплеру объявить в 1619 г. — после шести лет отчаянных усилий по интерпретации и переинтерпретации данных Браге, — что орбита Марса представляет собой эллипс и Солнце находится в одном из фокусов этого эллипса. Ньютон объяснил это тем, что всякое тело должно притягиваться другим телом с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, и что от этого зависят вес и движение тел на земной поверхности. Отсюда закон Ньютона. Но, как я подчеркивал, говоря о влиянии масштаба на физические явления, эмпирический закон не обязательно остается справедливым, когда его экстраполируют за пределы диапазона тех наблюдений, на которых он основан, — в данном случае за пределы Солнечной системы.

Лучше всего это можно проиллюстрировать, сравнивая законы Ньютона и Хаббла с эмпирическими законами деформации. Гук нашел, что в случае упругой деформации напряжение пропорционально величине деформации, что выражается формулой

$$s = p/\mu, \quad (1)$$

где  $\mu$  — модуль упругости, иногда называемый жесткостью,  $s$  — величина упругой деформации, а  $p$  — деформирующая сила, называемая напряжением. Примерно тогда же Ньютон установил, что деформация текучести пропорциональна вязкости вещества и продолжительности действия нагрузки, что выражается другой формулой:

$$s = pt/\eta, \quad (2)$$

где  $s$  — деформация,  $p$  — напряжение,  $t$  — время действия нагрузки,  $\eta$  — эмпирический модуль вязкости (динамическая вязкость. — *Перев.*). Для случая одновременной вязкоупругой деформации законы Ньютона и Гука были объединены Максвеллом в одну общую формулу, поскольку в этом случае оба закона действуют совместно (так и я объединяю законы Ньютона и Хаббла). Итак, мы получаем уравнение деформации Максвелла:

$$s = p/\mu + pt/\eta. \quad (3)$$

Дальнейшие эксперименты по деформированию стали, льда и мрамора показали, что если чисто упругая деформация обусловлена упругим отклонением атомов от положений равновесия и исчезает после снятия напряжения, а чисто вязкая деформация связана с диффузией атомов, происходящей статистически с атомами, которые обладают более высокой энергией тепловых колебаний, то все другие виды деформации представляют собой смещения по поверхностям легкого скольжения в кристаллических зернах. Поэтому эмпирическое уравнение деформации принимает вид

$$s = p/\mu + pt/\eta + \beta t^{1/3}, \quad (4)$$

где  $\beta$  — еще одна эмпирическая константа. Физика полна примерами того, как подобные эмпирические законы оказываются несостоятельными, когда их экстраполируют за пределы тех условий эксперимента, на основе которых они были выведены.

Какое все это имеет отношение к кажущемуся конфликту между законом всемирного тяготения Ньютона и законом разбега галактик Хаббла? Он просто означает, что хотя оба закона справедливы, размеры орбиты Марса, наблюдавшейся Браге, были слишком малы, чтобы можно было заметить влияние закона Хаббла. На основании наблюдений Браге вывел свой закон Кеплер, а на основе выводов Кеплера в свою очередь Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения. В лекции на Джонстоновских чтениях 1976 г. я соединил законы Ньютона и Хаббла в общее уравнение — точно так же, как Максвелл объединил законы упругой и вязкой деформации:

$$F = Gm_1m_2 \left( \frac{1}{d^2} - \frac{ad^2H^4}{c^4} \right), \quad (5)$$

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $m_1$  и  $m_2$  — массы двух тел,  $H$  — скорость разбега галактик, найденная Хабблом,  $c$  — скорость света,  $a$  — безразмерный коэффициент, определяемый эмпирически. Величины  $H$  и  $c$  надо брать в четвертой степени для соблюдения размерности. Термин «размерность» употребляется в физике и прикладной математике в специфическом

смысле: правильностью размерностей проверяется, в каких степенях надо вводить в формулу той или иной физической характеристики массу  $M$ , длину  $L$  и время  $T$ . Размерность никак не связана с конкретными значениями величин. Таким образом, скорость — это частное от деления расстояния на время, т. е.  $L T^{-1}$  (независимо от того, велика ли скорость или очень мала), энергия — это произведение массы на квадрат скорости, т. е.  $M L^2 T^{-2}$ , и т. д. В любом правильно составленном уравнении все размерности должны быть согласованными, и это требует, чтобы в объединенный закон Ньютона — Хаббла отношение  $H/c$  входило в четвертой степени.

Что означает уравнение (5)? Если опустить последний член, оно просто возвратится к закону Ньютона. Если опустить член, содержащий  $1/d^2$ , остается только разбегание Хаббла. Сравнивая величины, видим, что  $H$  — чрезвычайно малое число, а  $c$  — очень большое. Следовательно, дробь  $H/c$  заведомо очень мала; если возвести ее в четвертую степень, получается фантастически малая величина. Поэтому в случае когда расстояние  $d$  ограничено размерами Солнечной системы, этот член настолько близок к нулю, что его нельзя обнаружить, анализируя орбиты планет, и то, что остается, — закон Ньютона в том виде, как он его и вывел. Однако член  $1/d^2$  становится все меньше при увеличении расстояния  $d$ , а единственный изменяющийся множитель во втором члене уравнения — это  $d^2$ , и поэтому второй член, вначале крайне малый, становится все больше и больше и на каком-то расстоянии должен сравняться с первым членом, т. е. их разность сократится до нуля, а значит, притяжение будет нулевым.

Это рассуждение приводит к числовому значению коэффициента  $a$ . Когда я вставил в уравнение (5) числовые значения для Вселенной и принял постоянную  $a$  равной единице, то  $d$  оказалось радиусом познаваемой Вселенной. Чтобы из этого уравнения получить наблюдаемые скорости разбегания галактик,  $a$  следует принять равным  $10^{20}$ : тогда ньютоновское притяжение и хаббловское отталкивание сравниваются при расстоянии  $10^5$  световых лет. Я называю это расстояние «нулем Ньютона — Хаббла»; его можно изобразить на графике — рис. 105.

Итак, мое уравнение (5) с успехом объединяет эмпирический закон Ньютона и эмпирический закон Хаббла. Расстояние, на котором притяжение становится нулевым, — это начальное расстояние между галактиками, так как на меньших расстояниях материя стремится сблизиться и образовать галактику, а на больших расстояниях действует космическое отталкивание, которое и объясняет тот непонятный при других толкованиях факт, что триллионы галактик примерно одинаковы по размерам — точнее, их размеры образуют гауссово распределение



Рис. 105. Модифицированный закон тяготения.

около некоторого среднего. На еще больших расстояниях тела начинают отталкиваться, и это отталкивание усиливается с увеличением расстояния. Ближе всех к нашей Галактике (Млечному Пути) находится галактика Большого Магелланова Облака: она лишь немного дальше минимума Ньютона — Хаббла, а наш ближайший спиральный сосед — большая туманность М31 в созвездии Андромеды — располагается на расстоянии около 2 млн. св. лет.

Скорость света  $c$  и постоянная Хаббла  $H$  — именно те постоянные, которые должны были появиться при таком обобщении ньютоновского закона тяготения. Они представляют собой две наиболее фундаментальные константы, связанные с космическими расстояниями, так как отношение  $c/H$  является радиусом познаваемой Вселенной; квадрат этого отношения — космологическая постоянная, которую Эйнштейн вынужден был ввести в свои уравнения общей теории относительности для объединения электромагнитного и гравитационного полей; четвертая степень данного отношения — это по существу объем Вселенной в четырехмерном пространстве-времени (так называемый гиперобъем). Эпитет «познаваемый» относится не только к способностям разума, но и к возможностям познания любых физических характеристик — энергии, массы, излучения. Следовательно, присутствие величины  $(H/c)^4$  в приведенном уравнении означает, что скорость уменьшения гравитационного притяжения с расстоянием, минимальное расстояние между галактика-



ми и гиперобъем познаваемой Вселенной — все эти величины внутренне взаимосвязаны.

Как уточнение исходных данных требовало введения дополнительных членов в уравнение Максвелла и как постепенно уточнялась формула для фигуры Земли (см. гл. 2), так и новые данные, получаемые в результате дальнейших наблюдений, могут потребовать некоторого изменения закона Ньютона — Хаббла, записанного здесь в виде уравнения (5). Кривизна графика на рис. 105 не очень точно соответствует современной формулировке закона Хаббла, согласно которой скорость разбегания галактик составляет  $H$  км/с на 1 мегапарсек (Мпс). Но значение  $H$  пока еще удается определять только грубо, и результат сильно меняется в зависимости от методов оценки.

При дальнейших исследованиях, возможно, будет найдена общая картина распределения галактик и, быть может, потребуются ввести в уравнение еще один член. Например, трое астрофизиков из Гарвардского университета (Джон Хухра, Валери де Лаппаран и Маргарет Геллер) сообщили о существовании своего рода пустот с поперечником порядка 100 млн. св. лет, которые кажутся лишенными каких-либо галактик. «Если мы правы, — говорят исследователи, — то эти пузыри наполняют Вселенную, как мыльная пена в корыте». Поистине они мыслят с космическим размахом, если могут вообразить мыльные пузыри размером более тысячи галактик, но их «корыто» может вместить миллиард миллиардов таких «пузырей»!

## Нулевая Вселенная

Вероятно, уже 5000 лет назад мудрецы в северной Индии отрицали какое-то особое сотворение материи. Прочитую сделанный Дж. Аруначаламом перевод с санскрита: «*Asdva idam agra aseat; tha do vai sata jayatah: ... tasmāt swayama kurutha uchyata iti*» (Вселенная сначала не имела формы, позднее она разделилась на сотни вещей; ...Вселенная создает сама себя — появляется сама по себе). Во втором веке до нашей эры еще без стесняющихся мысль христианских оков Тит Лукреций Кар писал в поэме «*De rerum natura*» («О природе вещей»), что никакая божественная сила ничего не может создавать из ничего. Эта же мысль повторяется в изречении Иммануила Канта (1787): «*Igni de nihilo nihil, in nihilum posse reverti*» (ничто не приходит из ничего, и ничто не может вернуться в ничто). Я бы внес уточнение: «*Omnia de nihilo gemina nasci, in nihilum gemina posse reverti*» [Все создается из ничего в виде пары близнецов (как предмет и его зеркальное отображение), и парами все может вернуться в ничто].

Как кредит и дебет в новой банковской ссуде, нулевая Вселенная требует, чтобы все в мире взаимно уничтожалось: материя, энергия, заряд, количество движения, магнитные поля, спины электронов — в общем всё. Легко представить себе, что все электрические заряды во Вселенной взаимно уничтожаются, точно так же и магнитные поля и количества движения. Одинокая частица во всемирной пустоте не имеет ни скорости, ни количества движения. Если же имеются две частицы, то каждая из них обладает скоростью и количеством движения относительно другой. Нулевая Вселенная также требует, чтобы масса и энергия были друг другу противоположны и взаимно уничтожались. Они подобны двум сторонам одной монеты: ни одна не может существовать без другой.

Д-р К. Мёллер в 1958 г. на Сольвеевской конференции в Брюсселе сформулировал непротиворечивое выражение общей плотности энергии во Вселенной, состоящее из вещественной части и гравитационной части. Если это выражение плотности энергии использовать для случая метрики однородной и изотропной вселенной, то получится, что «плотность энергии в любой момент времени равна нулю. Это означает, что положительная энергия материи постоянно уравновешена соответствующим количеством отрицательной гравитационной энергии».

Эйнштейн заметил, что самый удивительный факт в природе — эквивалентность инертной и гравитационной масс, и он положил это в основу своей общей теории относительности. Эдуард Трайон, космолог из Университета города Нью-Йорка, указал на это же обстоятельство: «Одна из самых поразительных особенностей нашей Вселенной состоит в том, что с точностью до погрешностей наблюдений независимо измеренные величины  $G$  [гравитационной постоянной],  $M$  [массы доступной для наблюдений Вселенной] и  $R$  [хаббловского радиуса] удовлетворяют соотношению  $GM/R=c^2$ , где  $c$  — скорость света». Трайон отметил, что нет никакой причины заранее ожидать такого равенства, так как  $G$ ,  $M$ ,  $R$  и  $c$  — независимые физические постоянные. Но этот факт, «удивительный» для Эйнштейна и «поразительный» для Трайона, с неизбежностью вытекает из концепции нулевой Вселенной, где масса и потенциальная энергия — неразлучные близнецы, взаимно уничтожающиеся в любой момент времени. Приведенное выше соотношение просто означает, что энергия, соответствующая инертной массе ( $mc^2$ ) любого тела во Вселенной, всегда равна потенциальной энергии Вселенной в поле этого тела ( $mGM/R$ ). Иначе говоря, всегда, когда ко Вселенной добавляется какая-то новая масса, потенциальная энергия Вселенной возрастает на величину, эквивалентную этой массе. Масса и энергия — взаимно уничтожающиеся противоположности. Начиная от нулевой пустоты, масса

и энергия добавляются равными порциями — их сумма остается равной нулю в любой момент времени.

Это можно выразить и иначе. Если ко Вселенной добавляется частица с массой  $m$ , она обладает, по Эйнштейну, внутренней энергией

$$E_{\text{int}} = mc^2.$$

В то же время добавление этой частицы создает новую гравитационную потенциальную энергию, обусловленную взаимодействием ее со всеми остальными частицами Вселенной:

$$E_{\text{pot}} = - \sum \frac{Gmm_1}{r_1},$$

где  $m_1$  — масса частицы, находящейся на расстоянии  $r_1$  от новой частицы  $m$ . Но

$$\sum \frac{Gm_1}{r_1} = \frac{Gm}{R},$$

что, как указал Трайон (см. выше), эмпирически равно  $c^2$ , так что

$$E_{\text{pot}} = - mc^2.$$

Следовательно,

$$E_{\text{int}} + E_{\text{pot}} = 0.$$

Значит, масса и энергия, добавляющиеся ко Вселенной, дают равный по величине, но противоположный по знаку вклад; они приходят из нуля и взаимно уничтожаются, обращаясь в нуль.

Мах, а позднее Эйнштейн были согласны с тем, что потенциальная энергия всей Вселенной — это *непосредственная причина* появления инертной массы. Согласно принципу Маха, одиночная частица в пустоте имеет нулевую инертную массу. Бесконечно малая сила придает ей ускорение. Энергия равна нулю, потому что инертная масса равна нулю, а значит, и потенциальная энергия  $mgh$ , и кинетическая энергия  $mv^2/2$  равны нулю. Инертная масса — проявление всей материи Вселенной. Эйнштейн подчеркивал также, что одиночная частица в пустоте не может обладать инерцией, потому что не может быть инерции материи относительно пространства, а только относительно другой материи. Энергия — это простая линейная функция инертной массы. Исходная форма ее  $mgh$ , и из нее можно получить выражение для любого другого вида энергии. Универсальная потенциальная энергия (как и производные из нее другие виды энергии) прямо пропорциональна общей инертной массе Вселенной.

Герман Бонди в книге «Космология» (1960) пришел к сходному выводу, используя безразмерные числа Дирака (не зависящие от длины, времени и массы). В 1937 г. Дирак писал: «Любые два очень больших безразмерных числа, встречающиеся в Природе, связаны между собой простым математическим соотношением, в котором коэффициенты определяются порядком величины». Из того, что было сказано раньше о размерностях, ясно, что безразмерные числа появляются в физических соотношениях только при сравнении однородных характеристик, например массы с массой, энергии с энергией, силы с силой, потенциала с потенциалом. В следующей системе уравнений, взятой из книги Бонди,  $e$  — заряд электрона,  $m_e$  — масса электрона,  $m_p$  — масса протона,  $\gamma$  — гравитационная постоянная,  $c$  — скорость света,  $\rho_0$  — средняя плотность вещества во Вселенной,  $T$  — величина, обратная постоянной Хаббла (имеющая размерность времени). Выражение (1) — отношение силы электрического притяжения к силе гравитационного притяжения между электроном и протоном. Выражение (2) — отношение радиуса «познаваемой Вселенной» к «эффективному» радиусу электрона. Выражение (3) — отношение массы «познаваемой Вселенной» к массе протона (что соответствовало бы числу атомов в «познаваемой Вселенной», если бы все они были атомами водорода). Выражение (4) представляет собой частное от деления (3) на произведение (1) и (2). Таким образом,

$$\frac{\text{Сила}}{\text{Сила}} = \frac{e^2}{\gamma m_p m_e} = 0,23 \cdot 10^{40}, \quad (1)$$

$$\frac{\text{Длина}}{\text{Длина}} = \frac{cT}{e^2/m_e c^2} = 4 \cdot 10^{40}, \quad (2)$$

$$\frac{\text{Масса}}{\text{Масса}} = \frac{\rho_0 c^3 T^3}{m_p} = 10^{80}, \quad (3)$$

$$\frac{\text{Энергия}}{\text{Энергия}} = \gamma \rho_0 T^2 = 1. \quad (4)$$

Последнее выражение показывает, что потенциальная энергия «познаваемой Вселенной» в поле массы  $m$  равна ее инертной массе:

$$\frac{m\gamma \times \text{Масса Вселенной}}{\text{Радиус Вселенной}} = \frac{m\gamma \rho_0 c^3 T^3}{cT} = mc^2 \gamma \rho_0 T^2 = mc^2,$$

что представляет собой формулу для инертной массы  $m$  тела. Таким образом, масса и потенциальная энергия тела равны между собой, т. е. мы пришли к тому же заключению другим путем. Масса и энергия — две стороны медали — возникают

одновременно, возрастают в равной мере и обращаются в нуль вместе.

По-видимому, не следует удивляться тому, что моя новая формулировка закона Ньютона — Хаббла добавляет еще одно «большое число» к числам Дирака, так как отношение радиуса познаваемой Вселенной к радиусу типичной галактики составляет  $10^{20}$  и число звезд во Вселенной оценивается как  $10^{20}$ .

Ясно, что числа  $10^0$ ,  $10^{20}$ ,  $10^{40}$  и  $10^{80}$  колоссально различаются между собой. Бонди заметил по этому поводу: «Вероятность совпадений между числами порядка  $10^{40}$ , возникающих без особой причины, так мала, что трудно удержаться от вывода, что они представляют собой выражение некоей связи между космосом и микромиром — связи, еще никем не понятой». Но эта связь теперь становится понятой, так как она автоматически вытекает из концепции нулевой Вселенной.

Выведенное Виллемом де Ситтером однородное стационарное решение уравнений Эйнштейна впервые предсказало разбегание галактик со скоростями, пропорциональными их расстояниям, но это решение существует только в случае, если плотность массы-энергии равна нулю; другими словами, модель де Ситтера была моделью нереальной пустой Вселенной. Этот кажущийся дефект исчезает, если масса-энергия была, есть и всегда будет нулевой.

Закон Ньютона и закон Хаббла — оба эмпирические. Не известно никаких априорных причин, по которым каждый из них должен быть таким, а не иным. Просто было установлено, что Вселенная ведет себя именно так. Сам Ньютон был весьма озадачен этой эмпирической истиной, о чем писал в одном из писем Ричарду Бентли:

«То, что тяготение должно быть врожденным, унаследованным и неотъемлемым свойством материи, так что одно тело может действовать на другие на расстоянии через *вакуум*, без посредства чего-либо еще, что передавало бы их действие и силу от одного к другому, — кажется мне такой дикой нелепостью, что, думаю, ни один человек, способный трезво мыслить о философских вещах, никогда не впал бы в этот абсурд».

Подходя философски, мы не должны удивляться взаимодействующему характеру законов Ньютона и Хаббла, поскольку в нулевой Вселенной все существует парами и взаимно уничтожается. Поэтому открыв гравитационное притяжение, мы непременно должны были обнаружить дополняющее его отталкивание, определяющее поведение материи на другой стороне от нулевой точки, как показано на рис. 105. Ньютонское поле тяготения распространяется от каждой массы *наружу*; хаббловское поле распространяется от всей Вселенной — *внутри* ее. Законы Ньютона и Хаббла — пара близнецов, неотделимых друг от друга. Ускорение силы тяжести не зависит от массы тела,

движение которого ускоряется. Точно так же хаббловская скорость разбегания возрастает независимо от массы ускоряющегося тела. Применяя рационализацию Паркинсона к обсуждаемым ниже основным размерностям, находим, что ньютоновское ускорение и хаббловское разбегание имеют одну и ту же размерность  $T^{-1}$ .

## Космологический принцип

Концепция стационарной Вселенной восходит к Гераклиту Эфесскому (535—475 до н. э.): его вечно живая Вселенная не имела ни начала, ни конца, постоянно находилась в движении — в ней все время что-то возникало, разрушалось, но не было никакого направленного развития. Столетие спустя Платон вернулся к идее определенного начала, когда Бог создал мир и установил законы природы. Затем Аристотель отверг представление о начале времени и стал отстаивать мысль, что суша, море и небеса над ними существовали всегда — в установившемся состоянии потока без направленного развития.

В 1948 г. концепция стационарного состояния была возрождена Германом Бонди и Томасом Голдом и независимо от них в том же году Фредом Хойлом, официально утвердившим «Космологический принцип», согласно которому наблюдатель, находящийся в некоторой точке космического пространства, видит во всех направлениях ту же общую картину, что и наблюдатель в любой другой точке космоса. Это утверждение было распространено и на время: наблюдатель в какой-либо точке видит ту же картину, что и другой наблюдатель где-либо, и не только сейчас, но и в любой другой момент в прошлом или будущем. В этом состоит «Совершенный Космологический Принцип» — постулат, не опровергнутый пока никакими наблюдениями.

Здесь необходимо ввести кое-какие новые определения. Термины «Вселенная» и «космос» обычно употребляются как синонимы. Когда Хаббл доказал, что туманности — это галактики, находящиеся далеко за пределами нашего Млечного Пути, стало модно называть их «островами во Вселенной», и кое-кто продолжает употреблять такое название. Поэтому я предлагаю называть «галактиками» просто галактики, «Вселенной» — нашу физически познаваемую Вселенную, а «космосом» — все беспредельное сущее, бесконечное в пространстве и времени согласно Совершенному Космологическому Принципу. Однако, если хаббловская скорость разбегания никогда не может достичь скорости света, Вселенную и космос можно считать идентичными и в равной мере бесконечными.

Модель стационарной Вселенной Бонди — Голда — Хойла

несет в себе летальные гены, подразумевая, что материя должна непрерывно из чего-то создаваться, что противоречит законам сохранения. Эта дилемма исчезла только в последнее десятилетие, когда Трайон и я пришли к выводу, что материя и энергия — взаимно уничтожающиеся противоположности. Теория стационарного состояния должна также объяснять равновесие между распадом радиоактивных элементов и накоплением их стабильных продуктов распада.

Приверженцы концепции Большого Взрыва, полагая, что скорость разбегания — это остаточная скорость, полученная галактиками от начального толчка, рассуждают о том, будет ли Вселенная расширяться вечно или этот процесс замедлится и она в конце концов испытает коллапс в соответствии с ньютоновским законом всемирного тяготения, — возможно, вплоть до «Большого Схлопывания», когда вся материя соберется в точку и новый Большой Взрыв породит, как птицу-феникс, новую Вселенную, обреченную в свою очередь схлопываться и взрываться снова и снова, как вечный космический дизель. По их представлениям вопрос об общей массе Вселенной решается так: если она достаточно велика, то никакая материя не исчезает и суммарная масса в конце концов должна замедлить разбегание галактик вплоть до полной его остановки и заставить их начать ускоренное возвращение к центру. Современные оценки общей массы Вселенной не позволяют им пока решить, является ли Вселенная гиперсфероидом, который должен будет когда-то испытать коллапс, или гипергиперболоидом, который будет расширяться вечно.

Приверженцы «новой» космологии делают далеко идущие выводы из своего открытия, что масса Вселенной настолько точно уравновешена, чтобы воспрепятствовать бесконечному расширению и в то же время предотвратить конечный коллапс; она так точно отлажена, — говорят они, — что в этом виден какой-то руководящий замысел.

Концепция нулевой Вселенной не оставляет по этому поводу никаких сомнений. Большого Взрыва никогда не было. Вселенная, согласно данному здесь определению, имеет постоянную массу и постоянный радиус. Новая материя вечно возникает у «нуля» Ньютона — Хаббла (и в других сингулярностях, упоминаемых ниже), но и вечно уходит за пределы нашей познаваемой Вселенной. Общепринятая догма о том, что Вселенная расширяется, в действительности неверна. Конечно, все галактики удаляются от нас, но это только выражает процесс постоянного появления новых галактик и их постоянного разбегания и исчезновения за пределами познаваемого мира. Этот стационарный процесс подобен установившемуся состоянию отрезка реки, который всегда остается неизменным, хотя в него непрерывно

поступает новая вода, что уравнивается вечным оттоком «старой» воды.

Представьте себе воздушный шар, покрытый пятнами. Когда его надувают, пятна кажутся удаляющимися одно от другого, и чем дальше, тем быстрее. Это и есть модель хаббловского разбегания галактик, если не считать того, что оболочка воздушного шара — это двумерная поверхность, развивающаяся в трех измерениях, тогда как Вселенная — это трехмерная система, развивающаяся в четырехмерном пространстве-времени. Если вы теперь вообразите, что при увеличении расстояния между соседними пятнами между ними появляется новое пятно, вы получите модель стационарной Вселенной, всегда статистически-одинаковой, даже несмотря на непрерывное расширение. Но масса, размеры физически познаваемой Вселенной и число галактик в ней всегда остаются примерно одинаковыми, потому что, по мере того как в пустотах постоянно образуются новые галактики, другие галактики непрерывно исчезают за горизонтом познаваемого мира.

В 1966 г. д-р Ричард Стотерс из Годдардовского центра космических полетов постулировал, что «материя создается там, где ее недостает (между скоплениями галактик), и именно потому, что ее там недостает (вследствие всеобщего расширения)».

«Нуль» Ньютона — Хаббла — сингулярная точка, где ускорение, обусловленное тяготением, равно нулю, но потенциальная энергия частицы для падения к центру какой-либо галактики максимальна. Значит, из этой области начисто выметается любая материя и там поддерживается самый полный вакуум во Вселенной. Материя может появиться там в результате случайных квантовых флуктуаций, но она не задерживается в этой области. Не остается ни одного из фатальных пороков «новой космологии» Большого Взрыва. Из-за того что в этом «нуле» нет никаких сил, а значит, и никакого ускорения, вновь создаваемая материя должна накапливаться здесь в виде разреженного газа, из которого зарождаются звезды — семена будущих галактик, которым суждено расти до тех пор, пока присущее им пространство не достигнет их собственного «нуля» Ньютона — Хаббла. Поэтому галактики и имеют статистически-одинаковые размеры во всей Вселенной — факт, которому прежде никто не мог дать объяснения.

Поверхность максимальной потенциальной энергии располагается по нормали к линии, соединяющей две ближайшие галактики; возможно, именно поэтому галактики и имеют тенденцию к уплощению. Поскольку в смежных галактиках новое вещество возникает между ними, должны появляться скопления галактик, что и обнаруживается в действительности.



В противоположность «нулю» Ньютона — Хаббла, любой центр масс — будь то планета, звезда или галактика — имеет минимум потенциальной энергии, где флуктуации вакуума встречают нулевой или по крайней мере минимальный энергетический барьер. В центре Земли ускорение силы тяжести равно нулю. Следовательно, материя должна появляться там, как и во всех других таких местах, в результате случайных квантовых флуктуаций. В 1928 г. Джеймс Джинс писал в своих «Очерках по космогонии»: «Своего рода догадка, которая представляется довольно обоснованной, состоит в том, что центры туманностей обладают свойствами сингулярных точек, где материя вливается в нашу Вселенную из каких-то других и совершенно посторонних ей объемов пространства, и поэтому обитателю нашей Вселенной они кажутся точками, в которых материя непрерывно создается».

Эту точку зрения поддержал Уильям Макрей из Суссекского университета. Энергетический барьер непосредственно вблизи сингулярности возрастает сильнее, чем увеличивается концентрация массы, так что скорость возникновения массы не должна линейно зависеть от ее концентрации. Возможно, в этом и заключено объяснение моего эмпирического наблюдения, что раньше расширение Земли происходило очень медленно и резко ускорилось 100 млн. лет назад; эту скорость нельзя линейно экстраполировать на Солнце.

Таким образом, казалось бы противоречащие друг другу взгляды Джинса и Стотерса на то, где во Вселенную поступает новая материя, могут быть в равной мере правильными. Но есть и различие: материя, собирающаяся у «нуля» Ньютона — Хаббла, обладает большой потенциальной энергией для падения на ближайшую галактику, поэтому данная область близка к абсолютному вакууму; наоборот, вблизи любого центра масс материя появляется с минимумом потенциала, в результате чего в этой области всегда происходит возрастание концентрации масс.

Конечно, в таких сингулярностях материя и энергия могут не только входить в систему, но и покидать ее, поскольку квантовые флуктуации должны быть обратимыми. И здесь процесс не должен быть линейным. По мере возрастания концентрации масс сам этот факт, возможно, увеличивает скорость обратного процесса.

В какой форме новая материя появляется во Вселенной? Дирак сравнивал достоинства модели «множественного» творения, в которой «существующие атомы порождают новые атомы, и «аддитивного» (последовательного) творения, когда вещество появляется вначале в более простой субатомной форме. Он принял предположение, что материя, порождаемая при множе-

ственном творении, «состоит из атомов такого же вида, что и уже существующие». Чаовень Чин и Стотерс спрашивали по этому поводу: «Почему хорошо сохранившиеся докембрийские и раннекембрийские окаменелости [захороненные более 500 млн. лет назад] остаются существенно не изменившимися по форме, если их массы увеличились на значительный процент?» Согласно нулевой модели, вероятность квантовых флуктуаций, порождающих новую материю, исчезающе мала во всех местах, кроме межгалактических «нулей» или центров концентрации масс, где ускорение силы тяжести близко к нулю. Следовательно, расширение происходит в центре Земли, а кембрийские окаменелости и другие породы литосферы им не затронуты, кроме как по периферии, где происходит деформация оболочки, изменяющейся в соответствии с ростом ядра.

Далее, предположение Дирака о том, что атомы кремния должны порождать кремний и что вообще атомы должны порождать себе подобных, в высшей степени неправдоподобно. Вероятная форма вещества, возникающего при квантовых флуктуациях, должна быть самой простой возможной формой: «инфракварки» или что-то в этом роде (кварки — простейшая форма субатомных частиц, открытых до настоящего времени). Тогда мы могли бы ожидать, что вначале образуется атомарный водород — простейший атом, к тому же самый распространенный во Вселенной. Однако даже самоочевидные факты (на которых и основаны все аксиомы) могут повести по неверному пути.

Все атомы построены из нуклонов (протонов и нейтронов) и электронов. В ядре атома водорода только один нуклон, у железа — 56 нуклонов, у урана — 238. Из всех элементов железо имеет наименьшую энергию на нуклон. Чтобы построить атомы железа, требуется наименьшая энергия связи в расчете на нейтрон и протон, чем для любых других атомов. Так не может ли первым появляться железо, а не водород? Конечно, «раскаленного» железа во Вселенной наблюдается менее 1%, и современная догма утверждает, что железо возникает только при медленном ядерном горении или при взрыве сверхновой. Но фактически, насколько мы знаем Вселенную, *малые холодные* тела, такие, как метеориты, астероиды и планеты, содержат значительно больший процент железа, и даже среди планет нашей Солнечной системы доля железа уменьшается, а доля водорода возрастает с увеличением размера планеты. Во многих работах последнего времени предполагается, что во Вселенной имеется по меньшей мере столько же невидимой массы, сколько ее содержат видимые звезды, в которых преобладает водород. Не может ли эта темная масса состоять из мелких тел, богатых железом?

А может быть, при росте планет земной группы энергия, выделяющаяся в результате увеличения давления в ядре, приводит к появлению все более легких элементов, поглощающих больше энергии на нуклон, вплоть до стадии Юпитера, когда водород уже доминирует и планета начинает излучать свет, как звезда? Все тела, которые мы видим во Вселенной, кажутся состоящими главным образом из водорода, но не было ли у них предшественников земного типа, в составе которых преобладало железо?

Минимальная энергия связи в атомах железа имеет отношение также к высвобождению ядерной энергии. Ядра урана и трансурановых элементов, обладающих самой высокой энергией связи на нуклон, при ядерном делении образуют пары ядер относительно легких элементов, более близких в периодической таблице к железу. Эти элементы обладают уже меньшей энергией связи на нуклон, чем уран, и именно за счет этого происходит выделение энергии. Подобным же образом атомы легких элементов — например, гелия и водорода, — также обладающих гораздо большей энергией на нуклон, чем железо, при синтезе, если он возможен, образуют элементы, более близкие к железу и с меньшей энергией на нуклон, и тогда также происходит высвобождение избыточной энергии. Как при делении тяжелых элементов, так и при термоядерном синтезе легких элементов единственный вид получаемой энергии — это энергия связи нуклонов в ядре, а ни в коем случае не энергия самих составляющих нуклонов. Ни деление, ни синтез не могут привести к выделению энергии из железа.

В этом отношении ядерная энергия аналогична разным формам химической энергии. Заряжая батарею аккумуляторов, мы добавляем электрическую энергию, которая повышает степень окисления окиси свинца. Забирая эту энергию обратно, мы возвращаем окись свинца к прежней степени окисления. Сжигая бензин (который давным-давно накопил солнечную энергию в электронных оболочках составляющих его атомов), мы получаем в выхлопных газах двуокись углерода и воду, которые имеют в электронных оболочках атомов меньше энергии, чем бензин, и разность этих энергий движет наш автомобиль. Мы можем создать запас упругой энергии, натянув тетиву лука, и высвободить эту энергию, пустив стрелу. В случае ядерной энергии запас энергии возникает вследствие особой конфигурации нуклонов и мезонов внутри атомного ядра, в случае химической энергии этот запас создается конфигурацией электронных оболочек между ядрами, в случае упругой энергии — расположением целых молекул относительно друг друга.

## Процесс эволюции планет по Элтону

Сэм Элтон, геофизик из города Манхаттан-Бич (в южной Калифорнии, США), И. В. Кириллов и В. Б. Нейман из Москвы, В. Ф. Блинов из Киева, Бранислав Чирич из Белграда и позднее Якоб Эренспергер из Винтертура (Швейцария) независимо друг от друга высказали поразительное предположение, что не только все звезды, планеты и их спутники находятся в состоянии увеличения массы, но и Солнечная система на некоторой ранней стадии была похожа на современный Юпитер с его лунами, а также что современная Солнечная система — это зародыш будущей галактики.

В модели Элтона каждая галактика вырастает из некоторого подобия Солнечной системы, которая раньше выросла из эмбриональной звезды, разбившейся из первичного газового облака, которое накопилось в процессе самопроизвольных квантовых флуктуаций у «нулей» Ньютона — Хаббла между галактиками. Если изложить ее в обратном порядке, эта концепция представляет собой в точности то же самое, что заключалось в моем заявлении в начале этой главы, что «возвращение хаббловской расширяющейся Вселенной к началу должно включать убывание массы, так что начальный зародыш имел не такую немисливо большую массу, как предполагали Дирак, Фридман, Леметр, Эддингтон и Гамов, а наоборот, совершенно ничтожную и, возможно, даже *вовсе не имел массы!*» Такое развитие событий происходило всегда в прошлом и всегда будет происходить в будущем. Элтон подчеркнул, что нам надо оставить статические представления об определенном количестве материи, импульсивно сотворенной в едином «начальном» акте, и принять вместо них представление о Вселенной как о непрерывном стационарном *процессе*.

В таком процессе не только звезды, но и галактики должны проходить все стадии эволюции: начиная с «нуля» Ньютона — Хаббла, собственного у каждой галактики, затем — стадию молодости с обилием газа и зарождающихся звезд, далее стадию зрелых спиралей и в конце концов стадию эллиптической галактики, состоящей из старых звезд с небольшим количеством остаточного газа. Хотя каждая галактика проходит свой полный жизненный цикл, общая картина устройства Вселенной должна оставаться такой же, какой мы могли бы видеть ее миллиард лет назад или миллиард лет спустя, — точно так же, как семья и в палеолите, и сегодня включает детей, родителей и дряхлых старцев. Поскольку большинство галактик должно начинать свое существование между двумя удаляющимися друг от друга галактиками, аккреция вещества будет происходить под их влиянием в виде двух противоположно направленных

потоков, которые в результате притяжения к медленно вращающемуся центру постепенно приобретут спиральную форму. Могут появляться и более сложные структуры.

Возвращаясь к модели Элтона, заметим, что Юпитер определенно больше похож на слабо светящую звезду, чем на планету. Д-р Т. Р. Мак-Доно из Корнельского университета писал в 1974 г.: «Юпитер больше напоминает Солнце, чем Землю. Что касается его состава, генерации энергии, дифференциального вращения, эксцентричности внешнего поля и взаимодействия его плазмы с собственным магнитным полем — Юпитер проявляет истинно звездные свойства». Последующий пролет американского космического аппарата подтвердил вывод о том, что Юпитер находится в состоянии эмбриональной звезды.

В 1772 г. прусский астроном Иоганн Даниэль Тициус изложил свое знаменитое эмпирическое правило для расстояний планет от Солнца, теперь известное как «правило (или закон) Тициуса — Бодэ» (И. Э. Бодэ — редактор берлинского «Астрономического ежегодника», опубликовавший открытие Тициуса и, очевидно, приписавший себе его заслугу.) Он имеет следующий вид:

	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Астероиды	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
A	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
B	0	3	6	12	24	48	96	192	—	384
C	4	7	10	16	28	52	100	196	—	388
D	3,9	7,2	10	15,2	28	52	95,4	192	307	395

В этой табличной записи каждой планете поставлено в соответствие начальное число 4 (строка А) и одно из чисел ряда, начинающегося с 0, затем 3 и далее числа, образующие геометрическую прогрессию со знаменателем 2 (строка В); складывая числа первых двух строк, получаем строку С. Для сравнения в строке D показано действительное расстояние планет от Солнца, если принять это расстояние для Земли равным 10. Совпадение получилось достаточно хорошим, что позволило предсказать существование Урана и пояса астероидов до их открытия. Но все же совпадение не полное, так как по «правилу» в строке В для Меркурия должно стоять число 1,5, а не 0, Нептун и Плутон надо принимать за единое целое, что не так уж неразумно, поскольку их орбиты находятся в резонансе, по-

добно орбитам Земли и Луны. Но, как я указывал лет десять назад, это правило Тициуса — Боде приспособлено для расстояний относительно Земли, тогда как всё, кроме эгоизма землян, говорит об особом статусе Юпитера, а не Земли. Если взять в качестве исходного пункта Юпитер, то начальная строка, состоящая из четверок, будет не нужна, Меркурий подчинится общему правилу, а Нептун и Плутон будут меньше от него отклоняться:

	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Астероиды	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон	?
A	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	1	3	6	12	24	48
C	$\frac{1}{49,2}$	$\frac{1}{19,3}$	$\frac{1}{11,9}$	$\frac{1}{6,3}$	$\frac{1}{3}$	1	2,5	7,1	13,9	20,9	?

Эта таблица может быть выражена формулой  $T_n = 3J \cdot 2^{n-1}$ , где  $J$  — сидерический период обращения Юпитера (т. е. относительно звезд, в отличие от синодического периода — относительно Земли), а  $T_n$  — период обращения относительно Юпитера  $n$ -й планеты, расположенной дальше Юпитера; для планеты внутри орбиты Юпитера берется обратная формула. Для симметрии предсказана еще одна планета — дальше Плутона. Я назвал эту формулу «правилом Йове — Тициуса» [*Jove — Юпитер. — Перев.*]. В связи с моделью Элтона интересно отметить, что закономерность, подобная записанной выше для Солнечной системы, может быть сформулирована для Юпитера и его спутников, а также для Сатурна и для Урана. Каждая из этих систем представляет собой такую же загадку, как и Солнечная система, а именно: если Солнце, планеты и их спутники сконденсировались из газопылевого облака, как постулируется небулярной гипотезой, то главное тело системы должно нести большую часть общего момента количества движения, а не малую его долю, как наблюдается в действительности. Эта загадка исчезает, если масса центрального тела создалась в основном при спонтанном возникновении новой материи на месте, а не путем конденсации из вращающегося газового облака.

Если принять идею о вековом возрастании массы для всех этих тел, то Юпитеру, Сатурну и Урану суждено стать «солнечными системами». В самом деле, четверо физиков из Королевского университета в Кингстоне (пров. Онтарио, Канада) сооб-

шили в журнале «Nature»: «Используя принятую в настоящее время величину постоянной Хаббла  $H \approx 100$  км/с на мегапарсек, что равняется  $1,65 \cdot 10^{-4}$  мм в год на милю, и подставляя значение радиуса Земли в уравнение Хаббла  $v = RH$ , получаем скорость радиального расширения Земли 0,66 мм/год». Шведский физик Г. Б. Клепп, развивая эту тему, заметил (тоже в «Nature»), что применение того же закона Хаббла к орбите Луны дает расширение этой орбиты на 3,9 см в год.

Общее расширение планетных орбит и постепенное изменение светимости Солнца (о чем имеются косвенные данные) должны были проявиться в количестве солнечного тепла, поступавшего на земную поверхность в геологическом прошлом. Мы точно знаем, что моря существовали, дожди выпадали и реки текли уже тысячи миллионов лет назад, время от времени происходили оледенения; никакой систематической тенденции к изменению климата в геологических разрезах не обнаружено. Два космолога из НАСА — Чаовень Чин и Ричард Стотерс — исследовали этот вопрос, приняв, что масса растет пропорционально ее концентрации, и сообщили в «Nature» о «весьма удивительном результате: они [эти солнечные модели] почти такие же, как и те, что основаны на стандартной теории! Это происходит, несмотря на несравнимые значения массы, обусловленные полным диапазоном выбора значений  $t_0$ . Причина сходства заключается в том, что влияние большего значения  $G$  в прошлом повышало светимость Солнца, в то время как меньшая звездная масса понижала ее». Продолжая исследование этих влияний на орбиты, авторы пришли к выводу, что расчетные температуры поверхности Земли не противоречат палеогеографическим данным.

Итак, обобщенный закон Ньютона — Хаббла управляет всеми движениями в мире, определяет объем, занимаемый одной галактикой, и гиперобъем всей Вселенной. Всемирный «нуль» восстанавливает представление о стационарной Вселенной как о вечном выражении нулевого состояния, позволяя в то же время избежать роковой для прежних стационарных моделей загадки непрерывного возникновения материи из ничего. С бесконечно далеких прошлых времен материя и энергия в виде взаимоуничтожающихся противоположностей появлялись при случайных флуктуациях вакуума на субъядерном уровне вблизи квазинулевых энергетических барьеров, продолжали расти и конденсировались в звезды и расширявшиеся галактики, разлетавшиеся в разные стороны. Масса, энергия и радиус познаваемой Вселенной всегда были теми же, что и сейчас, и ограничивались скоростью разбегания, приближающейся к скорости света, и скоростью распространения поля гравитационной по-

тенциальной энергии. Все законы природы и Совершенный Космологический Принцип остаются универсально-справедливыми во всем бесконечном космосе без каких-либо особых моментов времени, особых мест, без начала и без конца — в поистине стационарном состоянии.

## 24

### Общие рассуждения

Стремясь подтвердить свой вывод о том, что с течением времени увеличились как объем, так и масса Земли, я пустился в поиски космической гармонии. Идя по этому извилистому пути к логически последовательной системе взглядов, я попал в неизвестные новые области. По дороге мне приходило в голову множество экзотических предположений — от твердокаменной логики до фантазий Диснейленда, — которые побудили меня отступить и рассмотреть их на расстоянии. Первое мое намерение было — закончить этот трактат предыдущей главой, но поскольку эти рассуждения были побочным продуктом всех моих поисков, я решил завершить их несколько сумбурным подведением итогов — не ожидая похвал и не боясь насмешек.

### Антивещество и черные дыры

Обычно слово «антивещество» употребляется как противоположность слову «вещество», и это мешает понять, что противоположность вещества, материи — это энергия. Название «антивещество» выбрано неправильно: оно направляет мысль по пути, ведущему в тупик. Позитрон — это «античастица» по отношению к электрону, но это «анти» относится только к заряду. Единицей измерения массы позитрона является грамм, а не «ммарг», а энергии — эрг, а не «грэ». Термин «отрицательное вещество» был бы несколько лучше. Когда Трайон впервые предположил, что Вселенная — это квантовая флуктуация нулевого уровня, он предсказал (исходя из этой ложной посылки), что в ней должны содержаться равные количества вещества и антивещества, что не подтверждается наблюдениями. На самом деле ему надо было сказать, что Вселенная должна со-



держат равные количества материи и энергии, что, конечно, правильно.

Другое очень плохо выбранное название — «черная дыра». Школьник определяет дыру как «ничто, окруженное чем-то», и это совершенно верно в его понимании и весьма четко. «Черная дыра» далека от этого определения настолько, насколько это вообще возможно, и представляет собой чудовищное сосредоточение материи, т. е. никак не дыру. В самом деле, лучше было бы ее назвать по имени ее первооткрывателя Шварцшильда, фамилия которого в переводе с немецкого означает «черный щит».

### Гравитационные волны

Вывод о том, что инертная масса какого-либо тела обусловлена потенциальной энергией (и численно равна ей) всей Вселенной в поле этого тела, подразумевает, что когда появляется новая материя, ее гравитационное поле охватывает всю Вселенную. Как распространяется это новое поле? Когда его существование становится осязаемым в отдаленной галактике? Сразу же, мгновенно? Или оно доходит туда со скоростью света? На релятивистских «мировых линиях» поле тяготения передается «мгновенно». Передается ли это поле в виде гравитационных волн? Такие волны физики ищут, но, насколько я знаю, с уверенностью они пока не выделены.

Гравитационные волны должны распространяться подобно свету, т. е. проходить через вакуум без затухания, со скоростью света. Но гравитационные волны не могут быть в точности такими же, как световые, в которых происходят колебания двух взаимосвязанных полей (электрического и магнитного) — по двум осям в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения. Весь спектр таких поперечных электромагнитных волн заполнен: от самых низких частот (очень длинных радиоволн) через более короткие радиоволны, тепловые, световые и рентгеновские лучи до самых высоких частот. Но спектр продольных волн (вакуумный эквивалент звуковых волн и сейсмических волн сжатия) «вакантен» и не изучен. Подобно пропускам элементов в периодической таблице Менделеева, само существование таких «вакансий» означает необходимость новых открытий. Несомненно, такие волны должны существовать, и несомненно, что они должны распространяться в поле тяготения, которое описывается только одним параметром, изменяющимся вдоль одной оси. В экспериментах по обнаружению гравитационных волн использовались две массы в плоскости, перпендикулярной пути распространения искомых волн. Если

мои выводы правильны, эти волны не могли быть обнаружены, даже если они и существуют, потому что их воздействие должно происходить вдоль направления распространения. Кроме того, создавая потенциальное гравитационное поле, гравитационные волны должны быть кратковременными и распространяться от любой новой массы.

Дополняющие друг друга электрическое, магнитное и гравитационное поля, перпендикулярные друг другу и распространяющиеся в виде поперечных волн электромагнитной энергии и продольных волн гравитационного потенциала, заполняют все теоретически возможные состояния и завершат изящество пары двойников — материи-энергии, непохожих, неразделимых и взаимно обращающихся в нуль.

К сожалению, эта логика противоречит общей теории относительности, которая разлагает гравитационное поле, как электромагнитное, по двум осям, перпендикулярным к вектору силы тяготения. Гексли сокрушался по поводу великой трагедии науки: прекрасную гипотезу губит один безобразный факт — а в нашем случае ее губит одна прекрасная теория.

Один из вопросов о Вселенной, остающихся без ответа, — почему антивещество в ней, как правило, отсутствует. В принятой здесь парадигме нулевой Вселенной большая часть материи появляется во Вселенной посредством квантовых флуктуаций вблизи областей концентрации масс, где имеется значительный градиент потенциальной энергии в направлении к центру масс. Поэтому тензор, определяющий место возникновения частицы, должен быть несимметричным, и гравитационные волны в направлении, нормальном к векторам электрического и магнитного полей, всегда будут распространяться от центра масс и никогда — к нему. Вполне возможно, что эта асимметрия влияет также на электрическую полярность и способствует возникновению именно вещества, а не антивещества.

### Эквивалентность размерностей массы и энергии

Сопоставление массы и энергии как взаимно уничтожающихся противоположностей заключало в себе очевидное противоречие: масса и энергия не эквивалентны по размерности, поскольку размерность массы — это  $M$ , а размерность энергии —  $ML^2T^{-2}$ . При этом я считал несомненным, что размерности  $L$ ,  $M$  и  $T$  установлены основательно и справедливы повсюду. Однако д-р У. Д. Паркинсон открыл мне глаза, указав, что такие размерности на самом деле не только произвольны и сформировались на основе нашего ограниченного человеческим

опытом восприятия действительности, но и что классическая приверженность к ним создает противоречия в теории электромагнетизма, которых можно избежать, сделав  $T$  и  $L$  одной размерности и оставив только две основные размерности —  $L$  и  $M$ .

Я повторю аргументы Паркинсона дословно, но читатели, не знакомые с теоретической физикой и сложным математическим аппаратом, могут пропустить эту цитату.

«Одной из причин введения международной системы единиц СИ [SI — *Système International d'Unités*] была несовместимость электромагнитных и электростатических единиц. В основу электромагнитной системы единиц положено понятие магнитного заряда или магнитной массы  $m$ , так что в вакууме сила взаимодействия равна

$$F = m_1 m_2 / r^2 \quad (1)$$

и размерность величины  $m$  имеет вид

$$[m] = M^{1/2} L^{3/2} T^{-1},$$

а размерность напряженности магнитного поля

$$[H] = M^{1/2} L^{-1/2} T^{-1}.$$

В основу электростатической системы единиц положено понятие электрического заряда ( $q$ ), поэтому сила взаимодействия в вакууме имеет вид

$$F = q_1 q_2 / r^2, \quad (2)$$

откуда размерность  $q$  представляет собой

$$[q] = M^{1/2} L^{3/2} T^{-1},$$

а размерность напряженности электрического поля

$$[E] = M^{1/2} L^{-1/2} T^{-1}.$$

Но электромагнитная индукция характеризуется следующими соотношениями:

$$[H] = M^{1/2} L^{1/2} T^{-2} = [E] L T^{-1},$$

$$[E] = M^{1/2} L^{1/2} T^{-2} = [H] L T^{-1}.$$

Эта несовместимость устраняется умножением одного из выражений (1) или (2) на некоторую константу с размерностью  $L^{-2} T^2$ . В системе СИ указанная несовместимость преодолевается включением в формулу (1) постоянной  $\mu$ , а в формулу (2) —  $1/\epsilon$ , так что  $[\mu][\epsilon] = L^{-2} T^2$ , и использованием силы тока в качестве четвертой основной размерности. Это необходимо, потому что три другие не определяют по отдельности ни  $\mu$ , ни  $\epsilon$ , а дают только размерность их произведения.

Имеется и другой выход из этого затруднительного положения. Если длина и время будут иметь одну и ту же размерность, скажем  $L$ , то расхождение исчезнет. В этом случае все физические величины можно выразить всего двумя размерностями —  $M$  и  $L$ . Тогда необходимо заново определить единицу времени. Если принять для нее размерность «светометр», т. е. время, за которое свет в вакууме проходит 1 м, то скорость становится безразмерной величиной, будучи некоторой долей от  $c$  (в теории относительности эта величина обозначается символом  $\beta$ ). Подходящим названием для такой единицы скорости было бы слово «штейн». Свет распространяется со скоростью 1 штейн. По-немецки это звучит как «эйн штейн» (Ein-Stein).

Эквивалентность размерностей расстояния и времени подразумевается в концепции нулевой Вселенной, так как всякое приращение массы дает равное приращение энергии, т. е. масса  $M$  равна энергии  $ML^2T^{-2}$ . Сокращая  $M$ , получаем  $L^2 = T^2$ .

Важное следствие паркинсоновского упрощения состоит также в том, что масса, количество движения и потенциальная энергия имеют одну и ту же размерность, а постоянная Хаббла — такую же размерность, что и гравитационное ускорение. Значение этого пересмотра далеко выходит за рамки одного лишь изящного избавления от несовместимости электромагнитных и электростатических единиц, которые до сих пор удавалось согласовать лишь с помощью произвольных допущений. В самом деле, тождественность размерностей длины и времени подразумевается понятием четырехмерного пространства-времени в теории относительности, где время и расстояние взаимозаменяемы, а координаты записываются в виде  $x, y, z$  и  $ict$  ( $i$  — мнимая единица, т. е. квадратный корень из  $-1$ ):  $t$  имеет теперь ту же размерность, что и другие три координаты,  $c$  — безразмерная величина, а  $i$  приложимо в равной мере к любой из четырех координат.

Сведение числа основных размерностей от четырех к двум — шаг к осуществлению мечты Эддингтона об объединении мировых констант и уменьшении их числа (желательно до взаимноуничтожающейся пары) и к идеальной космологии Милна, в которой вообще нет констант, обладающих размерностями, а также к воплощению убеждения Эйнштейна в том, что все универсальные константы должны быть логически оправданы и ни одна из безразмерных констант не должна быть произвольной.

С помощью упрощения Паркинсона скорость света  $c$  становится таким же безразмерным числом, как  $\pi$  и  $e$ , значения которых определяются с любой точностью:  $\pi$  — геометрически, а  $e$  — арифметически. Два числа — скорость света и абсолютный нуль — физические пределы бытия.

Кстати, проведенная недавно Международная конференция по мерам и весам заново определила метр — основную единицу длины — через время: как расстояние, проходимое светом в вакууме за время  $1/299\,722\,458$  секунды. Это определение метра в 10 раз точнее предыдущего, сделанного на основе длины волны оранжевой линии криптона-96.

## Космическое вращение

Размерность константы Хаббла особенно интересна в связи с космическим вращением. Один из самых поразительных фактов во Вселенной состоит в том, что почти все объекты в ней

вращаются. Даже мельчайшие субъядерные частицы имеют свой момент вращения — спин. Ядро каждого атома водорода вращается, как волчок, и это используется в ядерно-резонансном (протонно-прецессионном) магнитометре для измерения напряженности магнитного поля. Планеты вращаются вокруг своих осей и обращаются по своим орбитам. Вращаются галактики и спиральные туманности. Квазары вращаются примерно с точным периодом, пульсары — с периодом около секунды.

Почему так происходит? Что за этим скрывается? Лаплас предположил, что вращательное движение — врожденное свойство материи. Кант сделал еще более туманное допущение о случайных вращательных движениях в его первичной туманности, которые постепенно стали однородными; но если такие вращения были случайными в космоическом масштабе, то их объединение дало бы взаимное уничтожение до нуля. Более сорока лет назад П. М. С. Блэкетт выдвинул гипотезу о том, что магнетизм — фундаментальное свойство вращающихся тел, и в дальнейшем провел эксперименты, доказавшие, что его гипотеза неверна.

Физики пока не знают, почему вращение так распространено во Вселенной, так что какие-то новые законы еще предстоит открыть. Возможно, в них будет использована и постоянная Хаббла. Интересно, что «размерность» постоянной Хаббла —  $M^0L^0T^{-1}$ , или просто  $T^{-1}$ , — такая же, как у угловой скорости, которая измеряется расстоянием, пройденным вдоль окружности определенного радиуса и отнесенным к длине этого радиуса (поэтому  $L^0$ ), деленным еще на затраченное время (поэтому  $T^{-1}$ ). Простое ли это совпадение или в нем скрыт какой-то физический смысл? Хотя угловая скорость и постоянная Хаббла имеют одинаковые размерности, существует различие их векторной характеристики: когда мы движемся к краю вращающегося тела вдоль его радиуса, линейная скорость (под прямым углом к радиусу) возрастает прямо пропорционально расстоянию от центра; то же справедливо в отношении хаббловского разбегания, только в этом случае скорость возрастает *вдоль* радиуса, а не перпендикулярно к нему. Не являются ли вращение и космоическое разбегание фундаментальными свойствами Вселенной и не связаны ли они друг с другом так, как векторы магнитного и электрического полей?

## Масса, субстанция, энергия и разум

Для большинства философов — вплоть до нынешнего дня — масса и материя означают некоторую осязаемую «субстанцию», тогда как энергия — умственная категория, реальная, однако

все же не «субстанция». Но мое сопоставление массы и энергии как взаимоуничтожающихся противоположностей означает, что осязатая, осязаемая «субстанция» (материя) приравнивается к неосязатой и неосязаемой энергии. Этот инстинктивный барьер человеческого разума уже был преодолен Эйнштейном, но это было мучительно для Макса фон Лауэ и ряда других современных физиков. Дэвид Бом, биолог и физик из Лондонского университета, сказал, что физика имеет дело с «реальными свойствами», такими, как масса, длина, время, заряд и т. д., которые, как считается, существуют «вовне», независимо от человека, тогда как «качества», такие, как гармония и несовместимость, красота и уродство, — существуют, по-видимому, только для наблюдателя. Но упомянутые первыми предположительно «реальные свойства» тоже созданы разумом человека. Какие-то несколько тысяч лет назад никто не считал их существующими «вовне».

Твердость субстанции — не что иное, как иллюзия, создаваемая нашими органами чувств. Мы *ощущаем* кристалл кварца и *узнаем* о его твердости. Но дифракция световых и рентгеновских лучей показывает, что кварц — это по преимуществу пустое пространство, в котором расстояния между атомами значительно больше их размеров. Но вот атомы-то уж, наверное, твердые — однако обнаруживается, что каждый атом также в основном состоит из пустоты и расстояния между составляющими его электронами и ядром много больше, чем их собственные размеры. Но уж электроны-то и ядро — это материя, имеющая массу и осязательность субстанции: так считалось, пока не было обнаружено, что и ядро также содержит в основном пустоту — подобно планетной системе, построенной из протонов, нейтронов и различных мезонов. К настоящему времени стало совершенно ясно, что соотношение пустого пространства и общего объема элементарных частиц «твердого» кристалла кварца — такое же, как между звездами галактики! Но уж по крайней мере протоны, нейтроны, электроны и мезоны — они-то, ясное дело, твердые. Так ли? Современная физика элементарных частиц говорит, что и эти частицы состоят из 15 видов кварков.

Можно ставить воспроизводимые физические эксперименты для обнаружения и количественной оценки свойств, которые мы называем массой, зарядом и спином (а также других чарующих странных свойств, прямо так и называемых — без лишних пояснений — «очарование», «странность»), но мы не имеем никакого представления, что это такое в действительности. Чем основательнее мы исследуем эти свойства, тем менее осязательными они становятся. Заряд и спин проявляются в макроскопической энергии, к релятивистской массе добавляется кинетическая

энергия, а, согласно принципу Маха, инертная масса отдельной частицы в мировой пустоте должна равняться нулю и начинает появляться только благодаря потенциальной энергии взаимодействия с другими частицами, под действием которого частица может начать двигаться. Электрон и позитрон, каждый из которых обладает массой, могут соединиться и тем самым избавиться от своей массы покоя, превратившись в лишенные массы покоя фотоны, которые представляют собой чистую энергию! Очевидно, наша интуитивная аксиома о субстанции ввела нас в заблуждение.

В противоположность этому ирландский философ-метафизик епископ Джордж Беркли (1685—1753), давая отповедь развивавшемуся тогда французскому материализму и охватившему всех вольнодумству, утверждал в книге «Трактат о началах человеческого знания» (1710), что материя нигде, кроме как в уме человека, не существует. О вещи, которую нельзя почувствовать, нельзя ничего узнать, а если о ней нельзя узнать, то она не может и существовать. Софистика Беркли проистекает из его убеждения в божественности разума. Будучи моложе, чем Гук и Стено, но старше, чем Кювье, епископ Беркли не имел ни малейшего представления об ископаемых белковоподобных микросферах в кварцитах Исуа — наиболее отчетливых проявлениях жизни, существовавшей почти 4 млрд. лет назад, т. е. задолго до того, как любой человеческий разум мог ощутить и материализовать что бы то ни было.

## Туман обозначений

Наш привычный образ мыслей может скрыть от нас простые истины, даже если сам по себе этот образ мыслей совершенно правилен. Умножить 1444 на 3888 нам нетрудно, но школьникам в Древнем Риме умножить MCDXLIV на MMMDCCLXXXVIII представлялось задачей, непосильной как для них, так и для их учителей. Эта задача, если бы ее предложили римскому студенту, была бы трудна для него не из-за каких-то внутренних свойств целых чисел, а исключительно из-за неудобных обозначений, придуманных для них людьми. Тем не менее римские цифры вполне употребимы, а для некоторых целей могут быть идеальным обозначением чисел. Если бы мы описали движения планет как обращение по эллиптическим орбитам вокруг Солнца, а затем переместили начало координат на Землю, то провели бы работу, весьма похожую на работу Птолемея, но алгебраические выражения были бы громоздкими, хотя и совершенно правильными. К сожалению, наши предки сразу же углубились именно в такой образ мыслей, который на протя-

жении тысячелетий не позволял им понять более простую истину.

Здесь есть что-то общее с рассказом о состязании Ахилла с черепахой. Этого состязания никогда не было, но философы всегда охотно спорили о его результате. Как гласит эта притча, Ахилл должен дать черепахе существенную «фору» и пройдет некоторое время, прежде чем Ахилл добежит до места, где стартовала черепаха, но за это время черепаха должна, конечно, продвинуться на какое-то расстояние. Поэтому пройдет еще какое-то время, прежде чем Ахилл достигнет этого следующего пункта, но за это время черепаха продвинется еще на какое-то расстояние, так что должно пройти еще какое-то время, прежде чем Ахилл... Нужна испорченная граммофонная пластинка, чтобы она повторяла это снова и снова! Именно так и доказывали философы свою правоту. Ахилл никогда не сможет догнать черепаху, потому что, когда он добежит до того места, где черепаха была последний раз, коварная рептилия продвинется чуточку дальше, и этому не будет конца. Все совершенно правильно, но мы поставили задачу в виде бесконечного ряда, состоящего из стольких членов, на сколько у нас хватит времени и терпения писать, — и после этого впереди останется такая же бесконечность.

Сейчас нам все это кажется очень простым и наивным. Но как часто в науке мы делали в точности то же самое! Мы смотрим на задачу с какой-то одной стороны, и путь решения кажется совершенно правильным, но мы не можем достичь решения, потому что заблудились и идем в бесконечность или в тупик. И в случае с римскими цифрами, и с геоцентрической Вселенной, и с состязанием Ахилла и черепахи сложность заключается не во внутренних свойствах задачи, а вносится нашим образом мыслей, диктующим путь решения. В первой задаче это просто выбор обозначений, непригодных для решения, во второй — неправильный выбор начала координат, а в третьей задаче бесконечное число членов появилось только в результате неправильного подхода к решению.

Подобным же образом наша интуитивная убежденность в принципиальном различии самой природы материи и энергии ввела нас в заблуждение. Помните спор между солнцем и ветром, кто сильнее? Ветер (материя) дул на человека и тому становилось холодно, солнце (энергия) жгло его — и ему было жарко. Подобное, но противоположное действие! Не пытайтесь опровергать это, доказывая, что ветер дует в паруса, а солнце не может, потому что тогда я скажу, что у радиометра Крукса тоже есть «паруса» из полированной металлической фольги, зачерненной с одной стороны, и в вакууме они вращаются на шарнирах, приводимые в движение поглощением ли-



шенных массы фотонов (энергии) на черной стороне и отражением от полированной стороны.

Я не могу удержаться от искушения и не бросить шутливый (впрочем, только отчасти) упрек в адрес современной ядерной физики. Нельзя ли сделать вывод, что витки усложнения структуры атомных, ядерных и субъядерных частиц (или это волны?), на которое указывают результаты наблюдений, просто отражают ограниченность нашего мышления?

Когда я был студентом, мы знали о 92 атомах — неделимых и неизменных элементарных частицах, которые так изящно размещались в периодической таблице, что еще не открытые элементы как бы сами заявляли о себе, отсутствуя на явно для них оставленных местах. Затем «неделимые» атомы были расщеплены на протоны и электроны, а потом появились и нейтроны. С этими новыми субатомными частицами каждый атом обрел структуру оболочек с множеством частиц в сложных группах орбит — солнечные системы в миниатюре, в каждой из которых имеется центральное ядро, которое каким-то неизвестным образом собирает протоны и нейтроны в одно центральное солнце. Затем из этого ядра вдруг выскочило новое таинственное существо, *единственное* в своем роде, — мезон. Сразу же после второй мировой войны один японский физик был осмеян, когда он объявил, что нашел *два различных мезона*. Но опровержение было недолговечным, и вскоре мезоны стали размножаться, как кролики. Теперь у нас имеется почти сотня таких субатомных частиц, образующих оболочечную структуру ядра, и свойства частиц так же определяются строением ядерных оболочек, как и свойства элементов в периодической системе Менделеева. В связи с этим Мэтьюз не удержался и спел старую песенку о больших блохах, на которых сидят и кусают их маленькие блохи, на которых сидят и кусаются еще более маленькие блошки и так до бесконечности.

Не начинаем ли мы новый виток в этой спирали? Не покажет ли кто-нибудь вскоре, что «элементарные» частицы (раньше так называли атомы) сами представляют собой еще более мелкие солнечные системы? О точности лабораторных наблюдений речь не идет, но не возникают ли новые циклы усложнения структуры, выявляющиеся при этих наблюдениях, в результате опоры на ложные аксиомы, унаследованные от старых, окостеневших взглядов на вещи? Некоторое время назад физики-теоретики обсуждали состояние материи и то, как происходил синтез элементов через минуту после катаклизма Большого Взрыва, затем — через секунду после этого взрыва, потом — через миллисекунду, затем через миллионную долю секунды, миллиардную, триллионную, а теперь — через квадриллионную долю секунды — совершенно серьезно, без всякой мысли по-

смеяться над собой! Не бежит ли опять ахиллова черепаха? Согласно самой безупречной математике, Ахилл никогда не догонит черепаху на спирали, ведущей к асимптоте через бесконечный ряд витков с постоянно уменьшающимися промежутками. Теоретики, находящиеся сейчас всего лишь в одной квадриллионной доле секунды (или меньше) от того важнейшего мгновения, когда началось время и пространство и Бог создал Бога, никогда не достигнут своего миража.

Можете ли вы вместе с Пифагором услышать гармонию сфер? На протяжении тысячи лет дотошные и тщательные рассуждения мыслителей, таких же пронизательных, как и нынешние, требовали все больше и больше хрустальных сфер, несущих небесные тела (их число дошло до 79), и, как провозглашал Тихо Браге, альтернатива, предложенная Коперником, означала бы существование фаз Меркурия и Венеры, а также параллаксы звезд, что определенно опровергалось тщательными наблюдениями самых компетентных астрономов в обсерваториях с наилучшим оснащением.

Уже упоминаясь здесь Дэвид Бом, который пришел в физику через биологию (и поэтому не был угнетен давлением догм), заявляет, что никаких основных элементарных частиц не существует, что эта концепция была в корне ошибочной и проистекала из учения Демокрита (V в. до н. э.), а значит, и из доктрины Ньютона, представлявшего себе Вселенную в виде совокупности билиардных шаров.

## Одиноки ли мы во Вселенной?

Одна из загадок Вселенной — почему мы до сих пор не получили сигналов от других мыслящих существ. В половодье различных излучений, приходящих от всевозможных источников в нашей Галактике и за ее пределами, не обнаружено сигналов с преднамеренной модуляцией. Конечно, если существует много квадрильонов солнц, сравнимых с нашим, в высшей степени маловероятно, что мы — единственные во Вселенной сознательные существа или что мы достигли наибольшего прогресса. Тем более если возразит Вселенной бесконечен! Почему же мы не получаем никаких посланий от других существ?

Один ответ состоит в том, что они еще не получили никаких сигналов от нас — пока. Христианский фундаменталист — человек, убежденный в безусловной правоте исповедуемого учения, — ответит, что не только Земля, но и вся Вселенная созданы исключительно для человека, так что других обитаемых планет быть не может. Или же ответ заключается в неизбежном саморазрушении, к которому приходит в конце концов

любая система, основанная на конкуренции, на борьбе за выживание? Это саморазрушение происходит вскоре после того, как система в своем развитии достигнет достаточно высокого технического уровня. Поэтому не означает ли отсутствие сигналов, что во Вселенной никогда не было и никогда не будет племени, значительно более развитого, чем наше?

А может быть, мы исследуем не то средство общения? Еще столетие назад мы понятия не имели о радиоволнах. Возможно, когда мы освоим способ модуляции и демодуляции когерентного светового излучения, мы и найдем все те послания, которые ищем. В конце концов, свет может нести гораздо больше информации, чем любой радиоканал, и именно этот способ общения, вероятно, выберут те, кто умеет с ним обращаться. А вдруг мы прорвемся в какую-то новую коммуникационную систему Галактики? Возможно, нам надо научиться общаться посредством какого-то другого поля, способного быстро распространяться, например посредством правитационного излучения или какого-то совсем другого поля, пока нам неизвестного. Возможен ли обмен мыслями на расстоянии, реальна ли телепатия? Я не знаю, умеют ли телепаты обмениваться мыслями, но, конечно, не могу утверждать, что не умеют.

Размышлениям о чужой сознательной жизни сильно мешает постулат, что жизнь в любой точке Вселенной должна базироваться, как у нас, на аминокислотах. Люди как-то забывают, что наша модель сформировалась за 4 млрд. лет случайной химической эволюции и естественного отбора в особых условиях тех температур и давлений, которые существуют в наших гидросфере и атмосфере. В других условиях вместо углерода на центральном месте мог бы оказаться кремний, который образовывал бы полимеры на основе  $\text{SiO}$  и кремнийфторорганические соединения с силаном ( $\text{SiH}_4$ ) и четырехфтористым кремнием ( $\text{SiF}_4$ ), аналогичные метану. При умеренных температурах и давлениях кремний образует целый ряд сложных соединений с водой (гидратов) и фторидами, а если случайные реакции происходят в подходящих условиях на протяжении миллиардов лет — кто может предсказать результат? Ведущиеся сейчас исследования по металлоорганическим соединениям дают поразительно широкий диапазон стабильных синтетических материалов, не появившихся в природе, но вполне способных образоваться при другой обстановке химической эволюции, и перспективы таких исследований выходят далеко за рамки нынешних представлений. Металлический кремний, обладающий меньшей электроотрицательностью, чем олово, — самый подходящий материал для такой новой химии.

Наши компьютеры, полностью свободные от органических соединений, уже подсказывают другие способы сложных логи-

ческих выводов — с возрастанием уровня избыточности, случайности, саморегуляции, с обучением на собственном опыте и даже со своего рода «сочувствием». Правда, они еще не способны к самовоспроизводству и самостоятельной выработке энергии для своей работы, но определенно нельзя уже утверждать, что такие пути развития невозможны.

И сколь дерзкими ни были бы наши рассуждения, нет никаких сомнений в том, что прославленные сейчас достижения в науке весьма тривиальны по сравнению с промадной неизвестностью, окружающей нас.

## Эпилог

Мы проследили развитие общих взглядов на Землю и Вселенную от первобытного человека до эпохи Эйнштейна и более позднего времени и видели, как рушатся одна за другой аксиомы, которые казались очевидными истинами и потому никогда не ставились под сомнение.

На протяжении тысячелетий здравый смысл говорил о том, что Земля плоская, пока Пифагор не распознал ее тень на Луне; но его представление о сферической Земле отвергалось еще целое столетие. В течение следующих 16 столетий ученые твердили, что Земля — неподвижный центр мироздания, пока Коперник не низвел ее просто до положения одного из спутников Солнца, причем и Солнце вскоре стало казаться ничем не выдающимся среди миллиардов других солнц; но провидение Коперника было отвергнуто современными ему астрономами и богословами. Живые существа считались уникальными, неизменными созданиями, пока Дарвин не выдвинул идею эволюции, но эту идею до сих пор подвергают злобному осмеянию верные последователи буквального толкования Библии. Формирование органических химических соединений считали возможным только посредством «жизненной силы» живых организмов, пока Фридрих Бёлер не синтезировал мочевину; но прошло еще несколько десятилетий, прежде чем старое ложное представление было отброшено. Живое подобие Бога — человек, для которого создана вся Вселенная, только сейчас начинает осмысливать себя как промежуточную вершину эволюционного процесса, который должен продолжать развиваться по еще неизвестным путям на протяжении неисчислимых будущих эонов. Еще в текущем столетии аксиомой считалась неизменность относительного расположения материков, но Вегенер потряс мир, показав, что очертания этих материков удивительно точно совпадают. Однако он подвергся насмешкам и издевательствам, потому что физики настаивали на невозможности скольжения материковых плит по нижележащему субстрату. Когда американские океанологи не оставили сомнений относительно того, что все океаны расширяются с поразительно высокими скоростями, возражения физиков были сметены потоком всеобщего признания тектоники плит. Но оглядываясь назад, мы видим, что физики были правы. Материки не движутся по подстилающей их мантии. Истина была скрыта — как от геологов, так и от физиков — еще одной ложной догмой: безосновательным допущением, что радиус Земли неизменен. Рост океанов дает Земле возможность расширяться без перемещения материков относительно находящейся под ними мантии.

Избавились ли мы наконец от всех наших ложных аксиом?

Конечно, нет. Сегодня нам надо набраться смелости и по примеру Пифагора, Аристотеля, Леонардо да Винчи, Ньютона, Дарвина, Вегенера и Эйнштейна освободить свой разум от еще более ложных аксиом, унаследованных в нетронутом виде от нашего первобытного прошлого, — от того, что мы якобы хорошо «знаем» и считаем само собой разумеющимся, по сути не задаваясь вопросом, верно ли это.

Во-первых, ортодоксы всегда считали, что Вселенная была создана со своим полным количеством материи, которое в дальнейшем оставалось постоянным. Считалось также, что вся материя, имеющаяся в современной Солнечной системе, присутствовала и в первоначальной газовой туманности, из которой зародились Солнце и его спутники. Подобным же образом считалось само собой разумеющимся, что все вещество Земли унаследовано от времен ее первоначальной аккреции. Все эти родственные допущения неверны: материя создается непрерывно и самопроизвольно на всех уровнях.

Во-вторых, современная космология цепляется за миф о том, что время и пространство начали существовать несколько миллиардов лет назад и что все вещество 20 миллиардов звезд возникло из «ничего» при Большом Взрыве и с того момента продолжает разлетаться во все стороны.

В-третьих, ортодоксальная догма учит, что полная масса-энергия Вселенной колоссально велика. В отличие от этого Трайон и я независимо друг от друга пришли к выводу, что космос всегда был, есть и всегда будет нулевым. С философской точки зрения никакого иного решения нет: ненулевой космос никогда не мог бы появиться.

В-четвертых, Эйнштейн выражал удивление по поводу того, что инертная и гравитационная массы оказываются в точности равными, хотя это и не следует ни из какого фундаментального соотношения. Он также вывел формулу, согласно которой масса равна энергии, деленной на квадрат скорости света (последняя, по мысли Паркинсона, представляет собой безразмерную величину). Таким образом, масса и энергия относятся к одной категории понятий — по существу это дополняющие друг друга двойники, как две стороны медали, рождающиеся вместе и уничтожающиеся тоже вместе. Если ко Вселенной добавляется новая масса, то добавляется и потенциальная энергия, в точности равная ее инертной массе, — и наоборот.

В-пятых, законы Ньютона и Хаббла взаимно дополняют друг друга: один описывает наблюдаемое поведение Солнечной системы, другой — наблюдаемое поведение галактик. Соединенные в одном уравнении, они управляют динамикой всей Вселенной, автоматически делают ненужной космологическую постоянную Эйнштейна и определяют средний размер галактик.

Каждое из этих пяти положений убивает одну из ложных догм, которые с самого начала принимались на веру, и они становятся, таким образом, в один ряд с представлением о сферической Земле Пифагора, гелиоцентризмом Коперника, принципом эволюции Дарвина, учением о расхождении материков Вегенера.

Общий смысл всего этого долгого повествования — неоднократно повторяющиеся случаи сопротивления прогрессу со стороны наших убеждений — будь то религиозная доктрина, аристотелевские догмы эпохи Ренессанса или вето современного общества. Даже величайшие мыслители не могут избавиться от шор своей веры, своих убеждений. Вера — это наркоз, препятствующий познанию.

Чем радикальнее отход от существующих ортодоксальных представлений, тем более несомненно, что «ересь» будет осмеяна и отвергнута. Стремление оградить свой престиж — уязвимое место великих людей, и даже такие реформаторы науки, как Вернер, Ньютон, Кельвин, Джеффрис, Бейли Уиллис, Гейлорд Симпсон и Дж. Т. Уилсон, не преминули внести свою лепту в беспощадную травлю отвергаемых ими новых идей.

Дело не в том, что новое поколение приходит слишком поздно. Слава выдающихся достижений науки, так изумляющих нас, будет тускнеть и тускнеть все сильнее в самых неожиданных местах, и каждый новый успех будет освещать новые, более далекие горизонты — и так *ad infinitum* (до бесконечности).

Но не ждите, что вас будут приветствовать, как героя, когда вы сделаете великое открытие. Скорее всего к вам отнесутся с неприязнью и презрением — может быть, провалят на экзаменах. Ваши статистические выкладки, или ваши наблюдения, или ваше исследование литературы, или что-то другое наверняка покажутся явно несовершенными. Не сомневайтесь, что в наш просвещенный век действительно важные достижения отвергаются и будут отвергаться чаще, чем получать одобрение. Не следует сомневаться и в том, что в нашей собственной профессиональной деятельности мы также будем отвергать с высокомерной категоричностью наиболее значительные идеи, когда они попадут на наш рабочий стол.

Должны ли мы в таком случае доверять каждому еретiku и бунтарю с его наивностью, энтузиазмом или упрямством, с какими он бросает вызов существующему порядку вещей? Конечно, нет! В большинстве случаев еретические взгляды бывают ложными, однако в нагромождениях лжи скрываются жемчужины века. Чтобы найти их безошибочно в доктрине или в ереси, нужен более острый ум, чем когда бы то ни было до сих пор, — но это наша вечная и, очевидно, недостижимая цель.

# Словарь терминов

Курсивом выделены обычные слова, используемые в качестве специальных терминов. Жирный шрифт указывает на перекрестные ссылки на включенные в словарь термины, представляющие особый интерес.

**Actualism** — актуализм. Синоним термина униформизм (**uniformitarianism**).

**Alluvium** — аллювий. Осадки, откладываемые рекой, когда скорость течения уже недостаточна для их переноса.

**Amphibole** — амфиболы. Важная группа темноцветных минералов (в шлифах обычно зеленых), представляющих собой силикаты магния, железа и алюминия и содержащих, кроме того, гидроксильную группу. В небольших количествах могут присутствовать многие другие элементы. По химическому составу они очень близки к пироксенам (**pyroxenes**), но формировались в обстановке с бóльшим содержанием воды.

**Amphibolite** — амфиболит. Метаморфическая порода, состоящая главным образом из амфибола и плагиоклазового полевого шпата, иногда с небольшим количеством кварца.

**Andalusite** — андалузит. Минерал с химическим составом  $Al_2SiO_5$ , образующийся на низких ступенях термального метаморфизма глинистых пород. Силлиманит и кианит имеют такой же состав, но кристаллизуются в разных обстановках.

**Andesite** — андезит. Тип вулканической лавы (названный так фон Бухом в 1826 г. исходя из того, что такие лавы широко распространены в Андах). Характерен для вулканов, расположенных вдоль складчатых поясов. Андезиты обычно содержат полевой шпат (называемый соответственно андезином), промежуточный по составу между натриевым и кальциевым концами плагиоклазового изоморфного ряда, и мафические минералы, такие, как пироксен, амфибол или слюда.

**Anhydrite** — ангидрит. Минерал, состоящий из безводного сульфата кальция.

**Anticline** — антиклиналь. Букв.— складка, крылья которой наклонены в направлениях друг от друга, и, следовательно, она обращена выпуклостью вверх; но более точное определение — складка, в ядре которой находятся стратиграфически более древние слои.



Aragonite — арагонит. Минерал, состоящий из карбоната кальция (того самого, который образует более широко распространенный минерал кальцит).

Archaeocyathid — археоциатовые. Группа выделяющих известь животных, внешне похожих на губки и кораллы. Была широко распространена в раннекембрийское время.

Archean — архей. Самая древняя эра в истории Земли, продолжавшаяся примерно от 4 млрд. лет назад до начала протерозоя 2,5 млрд. лет назад.

Asthenolith — астенолит. Тело из расплавленного или частично расплавленного мантийного вещества, которое благодаря своей меньшей плотности поднимается в виде диапира (см. *diapir*) из астеносферы (*asthenosphere*) сквозь литосферу (*lithosphere*).

Asthenosphere — астеносфера. Название, введенное в 1914 г.

Дж. Барреллом для слабой пластичной зоны (от греч. *ἀσθενής* — слабый), расположенной на глубине 100 или более километров от поверхности Земли, где нагрузка всех сечений земной коры гидростатически уравнивается; в этом проявляется принцип изостазии (*isostasy*). Астеносфера отделяет расположенную выше литосферу от нижележащей мантии (*mantle*). Впоследствии сейсмологи обнаружили на соответствующей глубине зону, в которой сейсмические волны распространяются медленнее, и назвали ее поэтому *зоной пониженных скоростей*. С принятием в 1960-х годах концепции «тектоники плит» астеносферу стали считать зоной раздела, по которой двигались материковые и океанические «плиты» независимо от подстилающей мантии. Некоторые называют астеносферу «верхней мантией». Для действующих кратковременно напряжений астеносфера обладает свойствами упругого твердого тела, но является текучим веществом, если напряжения действуют длительное время (аналогично течению ледника).

Astrobleme — астроблема. Шрам на поверхности Земли, образовавшийся в результате удара космического тела в далеком прошлом.

Augite — авгит. Широко распространенный черный или темно-зеленый минерал из группы пироксенов.

Basalt — базальт. Самая распространенная темная тонкозернистая порода вулканического происхождения. Как показывает изучение ее под микроскопом, состоит главным образом из плагиоклазового полевого шпата и пироксена, но в ней может присутствовать и оливин. Каменотесы его обычно называют «голубым металлом».

**Batholith** — батолит. Интрузивное магматическое тело (обычно гранитного состава), обнажающееся на площади в десятки квадратных километров. Положение нижней границы его не известно.

**Benioff zone** — зона Беньоффа. Поверхность, круто погружающаяся от глубоководных желобов Тихого океана до глубин 300—700 км, вдоль которой часто происходят землетрясения. Названа по имени выдающегося сейсмолога Х. Беньоффа.

**Big Bang** — Большой Взрыв. Гипотетический космический взрыв, положивший начало времени, пространству и всей материи во Вселенной; от этого взрыва Вселенная расширяется до сих пор.

**Black body** — (абсолютно) черное тело. Тело, которое в раскаленном состоянии излучает непрерывный спектр (ближе всего к этому идеалу углерод и вольфрам). Излучение черного тела — это то излучение, которое должно испускать абсолютно черное тело с коэффициентом поглощения, равным единице, и коэффициентом отражения, равным нулю.

**Blastoid** — бластоидеи. Вымершая группа беспозвоночных, родственная классу криноидей; имела пятилучевую симметрию и была широко распространена в палеозое.

**Blueschist** — голубой сланец. Общее название для группы метаморфических пород голубоватого цвета, обусловленного присутствием натрового амфибола (глаукофана или кроссита) и часто голубовато-серого лавсонита; нередко присутствуют арагонит и кварц.

**Boudinage** — будинаж. Структура, обычная в зонах подобной складчатости (**similar folding**), когда происходит значительное увеличение площади поверхности слоев, вследствие чего более прочные слои имеют тенденцию разрываться на куски в форме оладий или колбасок, называемые будинами.

**Brachiopod** — брахиоподы. Организмы, относящиеся к беспозвоночным, внешне напоминающие двустворчатых моллюсков, но более примитивные и наращивающие свои раковины вправо и влево, а не вперед и назад.

**Caledonides** — каледониды. Название «каледониды» относится к ранне- или среднепалеозойскому складчатому поясу, обнаруженному в Скандинавии, на Британских островах (отсюда — каледониды), на о. Шпицберген, на востоке Северной Америки и северо-западе Африки; в настоящее время этот пояс разорван на части в результате раскрытия Атлантического океана в мезозое. (Суффикс «ид» используется для обозначения древних складчатых поясов разного возраста, например альпиды и тасманиды.)

**Cambrian** — кембрий. Интервал времени между 570 и 505 млн.

лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название предложено Адамом Седжвиком для пород этого возраста в Северном Уэльсе.

Carboniferous — каменноугольный период, карбон. Период времени между 360 и 286 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Назван так из-за обилия углей этого возраста в Европе.

Catastrophism — катастрофизм. Концепция, согласно которой физическая и биологическая эволюция Земли происходила преимущественно во время бурных эпох крупных изменений, масштаб которых находится за пределами нашего опыта, — в противоположность концепции униформизма (*uniformitarianism*), согласно которой для эволюции достаточно было медленных процессов, таких, как те, что действуют в настоящее время.

Cathaysian flora — китайская, или катазийская, флора. Позднепалеозойская флора Восточной Азии; от старого названия Китая — Китай (Cathay).

Cenozoic — кайнозой (букв. — время современной жизни). Интервал времени между 66 млн. лет назад и настоящим временем (см. табл. 1 в гл. 6).

Cephalopod — цефалоподы, головоногие. Группа моллюсков, к которой относятся кальмары, осьминоги, каракатицы, жемчужные наутилусы и вымершие белемниты, аммониты и многие наутилоиды.

Chert — кремнистый сланец, кремень. Твердая, очень плотная порода, состоящая преимущественно из кремнезема; слишком тонкозернистая, так что разглядеть в ней отдельные минеральные зерна через лупу невозможно.

*Cleavage* — кливаж, спайность. В структурной геологии кливаж — структура, образовавшаяся в породах при пластической деформации. Благодаря кливажу породы расщепляются или раскалываются в плоскостях, перпендикулярных к направлению избыточного давления, вызвавшего пластическое течение. Способность раскалываться по этим плоскостям обусловлена происходящей в процессе течения кристаллизацией минералов (преимущественно слюд), определенные кристаллографические оси которых во время роста кристаллов ориентированы в направлении максимального сжатия. В минералогии понятие «спайность» относится к кристаллографическим плоскостям, вдоль которых отдельные минералы легко раскалываются из-за упорядоченного расположения их атомов.

Coesite — коэсит. Минерал того же химического состава, что и кварц, но для образования которого при комнатной температуре необходимо давление 20 кбар; поэтому на поверхности Земли коэсит известен только в астроблемах (*astroblemes*).

Colloid — коллоид (букв. — клееподобное вещество). Дисперсная

система, содержащая частицы субмикронных размеров и характеризующаяся определенной поверхностной плотностью зарядов, что оказывает важнейшее влияние на физические свойства этой системы.

Columnar jointing — столбчатая отдельность. Систематические призматические трещины (*joints*), сформировавшиеся при снятии растягивающего напряжения, которое превышало предел прочности на разрыв во время сжатия лавы при остывании. Там, где условия весьма однородны, столбы имеют в плоскости поперечного сечения совершенную гексагональную форму и системы трещин перпендикулярны по отношению к ней (см. рис. 6).

Concentric folding — концентрическая складчатость. Складчатость, при которой мощность слоев, измеренная перпендикулярно к поверхностям напластования, постоянна (см. гл. 16).

Conjugate shears — сопряженные сдвиги. Любое состояние негидростатического напряжения можно представить в виде трех взаимно перпендикулярных «главных напряжений», которые в свою очередь можно заменить двумя взаимно перпендикулярными сопряженными плоскостями (пересекающимися по оси промежуточного напряжения, где скалывающие напряжения максимальны) право- и левостороннего сдвига. Если происходит разрушение, угол между сопряженными плоскостями *разрушения* при сдвиге оказывается меньше прямого за счет угла трения, хотя угол между плоскостями максимального скалывающего *напряжения* остается прямым.

Conodonts — конодонты. Мельчайшие морские окаменелости, похожие на зубы по форме, но не по назначению; широко распространены в отложениях палеозоя и триаса и очень полезны для их стратиграфической корреляции.

Convection — конвекция. В узком смысле «конвекция» означает перенос тепла движущейся жидкостью. Поскольку большинство жидкостей при нагревании расширяются и становятся менее плотными, более холодные столбы их опускаются, а более горячие поднимаются, у поверхности теряют тепло, и так происходит конвективная циркуляция. В масштабах геологического времени кристаллический лед и кристаллическое вещество мантии (*mantle*) являются жидкостями и текут; поэтому в мантии также происходит конвективная циркуляция.

Cordillera — кордильеры. Кордильера — общий термин для обозначения протяженной системы более или менее параллельных горных хребтов. В специальном смысле название Кордильеры применяется для прилегающей к Тихому океану системы горных хребтов Северной Америки.

Coriolis effect — эффект Кориолиса. Поскольку Земля вращает-

ся, точки на ее поверхности, расположенные ближе к экватору, движутся на восток быстрее, чем точки, расположенные ближе к полюсам. Поэтому любое тело, движущееся в направлении экватора, смещается к востоку медленнее, чем поверхность, по которой оно движется, и траектория движения такого тела отклоняется относительно нее к западу. Этот эффект заставляет отклоняться течения в атмосфере или в океане либо течения жидкости внутри Земли, причем по часовой стрелке в Северном полушарии и против часовой стрелки в Южном.

*Cosmic rays* — космические лучи. Поток частиц с очень высокой энергией, состоящий из атомных ядер и поступающий на Землю из космического пространства. Происхождение их еще до конца не выяснено.

*Cosmological principle* — космологический принцип. Вселенная, наблюдаемая из любой точки, статистически представляет собой то же самое, что и Вселенная, наблюдаемая из любой другой точки. *Совершенный космологический принцип* устанавливает справедливость этого положения для любого момента времени в прошлом или будущем.

*Cosmos* — космос. В общем, синоним слова «Вселенная», но последняя определяется как физически познаваемый мир (ограниченный постоянной Хаббла, не превышающей скорости света), тогда как космос, согласно совершенному космологическому принципу, бесконечен во времени и пространстве.

*Couple* — пара сил. Система из двух параллельных, но противоположно направленных сил или напряжений.

*Cretaceous* — меловой период, мел. Период времени между 144 и 66 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Назван так из-за того, что в отложениях этого возраста обычно присутствует писчий мел (от лат. *creta* — мел).

*Crinoid* — криноидеи. Группа беспозвоночных, обычно называемых морскими лилиями и имеющих подвижные отростки, которые выступают из тела, заключенного в состоящую из известковых пластин чашечку с пятилучевой симметрией; эту чашечку несет стебелек или столбик.

*Critical temperature* — критическая температура. Температура, при которой поверхностное натяжение падает до нуля и жидкость превращается в газ независимо от того, как велико может быть давление.

*Curie point* — точка Кюри. Интенсивность ферромагнетизма уменьшается с повышением температуры, и температура, при которой она становится равна нулю, называется точкой Кюри; для разных ферромагнетиков она изменяется вплоть до 700 °C.

Declination — склонение. См. **magnetic declination**.

Décollement — срыв. Поверхность, разделяющая более сильно смятые в складки слои и подстилающие их менее смятые слои; напоминает очень пологий сброс, только верхние слои в этом случае сильнее смяты в складки, чем нижние.

Dextral — правостороннее, декстральное. Смещение в правую сторону, или по часовой стрелке, в отличие от левостороннего (*sinistral*) смещения.

Diabase — диабаз. Название породы, которое в старой литературе имело целый ряд значений, но теперь — синоним термина «долерит» (*dolerite*).

Diapir — диапир. Интрузивное тело, которое проникло вверх сквозь перекрывающие породы.

Dike (амер. написание), dyke (англ. написание) — дайка. Стеноподобное интрузивное тело, образованное внедрившейся магмой, которая расширила плоскую трещину, секущую слои вмещающих пород.

Diluvium — дилувий. Устаревший термин, применявшийся для обозначения ледниковых наносов, когда эти гравийно-валунные отложения считали результатом затопления обширных пространств, особенно во время библейского Всемирного потопы, о котором рассказывается в книге Бытие. Отсюда название «дилувияльный период».

*Dimensions* — размерность, показатель размерности. Показатель степени, определяющий, в какой степени масса, длина и время входят в единицы физических величин. Например, скорость — это расстояние, деленное на время, следовательно, ее размерность  $LT^{-1}$ ; ускорение — это скорость, деленная на время, т. е.  $LT^{-2}$ ; сила — это масса, умноженная на ускорение, и значит,  $MLT^{-2}$ . У безразмерных величин (таких, как  $e$  или  $\pi$ ) размерность равна нулю и ее обычно опускают, но если бы ее нужно было включить, то следовало бы записать  $M^0L^0T^0$ . Размерности никоим образом не указывают величины параметра.

Dolerite — долерит. Темноцветная твердая порода, состоящая главным образом из плагиоклаза и пироксена и иногда содержащая оливин; образуется при затвердевании базальтовой магмы, внедрившейся в осадочные породы. В Америке чаще употребляется название *диабаз*.

Drag — волочение. Изгибание пород, возникающее близ контакта блоков, движущихся один относительно другого; отсюда — «складки волочения».

$e$  — основание натуральных логарифмов. Определяется как предел последовательности  $(1+1/m)^m$  при  $m \rightarrow \infty$ ;  $e = 2,718282\dots$ . Безразмерные величины  $e$  и  $\pi$  — фундаментальные постоянные, используемые во многих областях математики и физики;  $e^{i\pi} = -1$ .

Earthquake epicenter — эпицентр землетрясения. Точка на поверхности Земли, расположенная непосредственно над очагом (гипоцентром) землетрясения.

Earthquake focus — очаг землетрясения. Место внутри Земли, где происходит разрыв, порождающий землетрясение.

Earth's crust — земная кора. По смыслу аналогична «корке на буханке хлеба», но в геологической литературе используется в разных значениях: а) внешняя оболочка Земли толщиной более 100 км, расположенная над астеносферой (asthenosphere); имеет тенденцию вести себя как жесткая плита (синоним термина литосфера — lithosphere); б) слой выше раздела Мохо (Moho) толщиной менее 10 км под океанами, но более 30 км под материками; граница ее определяется скачком скорости продольных сейсмических волн с 6—7 до 8 км/с; в) оболочка, лежащая выше эквипотенциальной поверхности, находящейся примерно на 50 км ниже уровня моря; выше этой поверхности нагрузка перекрывающей толщи на единицу площади повсюду одинакова (ее называют также «глубиной компенсации»); г) в понимании ранних авторов, таких, как Лайель, — та часть внешней оболочки Земли, которую человек может наблюдать в обнажениях, шахтах и скважинах и исследовать с помощью физических инструментов и о которой можно непосредственно судить по таким наблюдениям.

Eclogite — эклогит. Кристаллическая порода, состоящая из граната и богатого натрием пироксена и в меньших количествах содержащая рутил, кианит и кварц. Общий химический состав может быть точно таким же, как базальта и диабазы, и эклогит может образоваться из этих пород в условиях высокого давления в мантии, и наоборот.

Entropy — энтропия. Термодинамическая величина, которой измеряется общая неупорядоченность физической системы. Если вещество, испытывающее обратимое изменение, получает количество тепла  $dQ$  при абсолютной температуре  $T$ , его энтропия увеличивается на  $dQ/T$ . Например, когда кристаллический лед тает, образуя жидкую воду, неупорядоченность его молекул (энтропия) значительно увеличивается, продолжает увеличиваться при дальнейшем нагревании и сильно возрастает, когда жидкость кипит, образуя пар.

Еocene — эоцен (букв. — заря современной жизни). Интервал

времени от 58 до 37 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Назван так в 1833 г. Чарлзом Лайелем.

*Epoch* — эпоха. В стратиграфии используется в более узком смысле, чем в обычном языке, и обозначает единицу времени, среднюю по продолжительности между *веком* и *периодом*. Геологические периоды продолжаются несколько десятков миллионов лет, а геологические эпохи — несколько миллионов лет.

*Erratic* — эрратический. Прилагательное, относящееся к галькам, валунам или более крупным массам породы, перенесенным ледником или плавающим льдом и отложившимся в другом месте после таяния льда (от лат. *erratus* — блуждающий).

*Eugeosyncline* — эвгеосинклиналь. См. *Geosyncline*.

*Eukaryote* — эукариоты. В противоположность прокариотам (*prokaryotes*) эукариоты представляют собой организмы, стоящие на более высокой ступени развития; они имеют везикулярные ядра, различные, ограниченные мембранами органеллы и более высокоорганизованную протоплазму.

*Euler pole* — полюс Эйлера (полюс вращения). Одна из множества теорем великого математика Л. Эйлера состоит в том, что любое движение части сферической поверхности по этой сфере можно описать как вращение этой части вокруг некоторого полюса, находящегося на сфере. Следовательно, при дрейфе материков любое перемещение материка есть не что иное, как вращение его вокруг соответствующего полюса Эйлера.

*Eustasy* — эвстазия. Процесс изменения уровня моря, вызванный нарушением равновесия между общим объемом морской воды и общим объемом океанских бассейнов; отсюда прилагательное эвстатический. Синоним — эвстатизм (*eustatism*).

*Evaporite* — эвапорит. Осадочная порода, образовавшаяся в результате выпадения из раствора солей во время испарения, особенно в тех случаях, когда морская вода может продолжать поступать в бассейн, в котором происходит испарение. К минералам эвапоритов относятся гипс, ангидрит, каменная соль (галит), доломит и реже — различные нитраты и бораты.

*Exponential* — экспонента, показательная функция. В математике показательная функция — это функция вида  $y = a^x$ , где  $a > 0$ ,  $x = 0, 1, 2, 3, \dots$ . В частном случае  $a = e$  эта функция называется экспонентой.

*Fabric* — петроструктура. Термин, введенный в 1930 г. немецким петрологом Бруно Зандером для описания пород под микроскопом. Включает все аспекты структуры минеральных компонентов, в том числе статистические данные о форме, распределении



и ориентировке кристаллографических осей минералов. В специальных смыслах термин используется и в других областях науки. *Facies* — фация. Особое понятие, обычно относящееся к обстановке образования формаций горных пород. Так, например, осадки, отложившиеся в определенный интервал времени, мы можем отнести к литоральной фации, прибрежной фации, фации внешнего шельфа, фации континентального склона и абиссальной фации.

*Fan* — конус выноса обломочного материала. Конусообразных очертаний отложения осадков, накопившиеся там, где осадочный материал выносится на обширную площадь с более пологим уклоном.

*Fault* — разлом, разрыв. Трещина в породах, по поверхности которой произошло смещение.

*Feldspar* — полевой шпат. Весьма распространенная группа минералов, которые представляют собой силикаты алюминия и других катионов. Чаще всего встречаются ортоклаз (силикат алюминия и калия) и плагиоклаз, в котором катионы представлены натрием (альбит) или кальцием (анортит) или каким-то сочетанием натрия и кальция.

*Feldspathoid* — фельдшпатоиды (букв.— подобные полевым шпатам). Группа минералов, которые внешне выглядят, как полевые шпаты, и сходны с ними по химическому составу, только содержание кремнезема в них систематически ниже. Они не встречаются ни в каких породах, содержащих кварц (кристаллический кремнезем).

*Figure of the earth* — фигура Земли. Точная форма Земли.

*Flexure folding* — флексурная складчатость. Термин, обычно применяемый в Америке для концентрической складчатости (**concentric folding**); его не следует употреблять как из-за его неточности и из соображений приоритета, так и потому, что он содержит ошибочное представление о природе складчатости (см. гл. 16).

*Flysch* — флиш. Характерная фация отложений, накапливавшихся в активных геосинклиналях перед главным пароксизмом складчатости, в отличие от «молассовой» фации, следующей за этим пароксизмом. Флишевая фация представлена бедными окаменелостями песчанистыми и известковистыми аргиллитами и алевролитами с ритмичной повторяемостью осадков, постепенно изменяющихся от песка до глины.

*Fold, folding* — складка, складчатость. В геологии термин «складчатость» означает изгибание плоских поверхностей напластования или — реже — деформации других поверхностей.

*Foraminifera* — фораминиферы. Одноклеточные, преимущественно

но морские простейшие животные с раковиной (обычно из кальцита), состоящей из одной или нескольких камер, размером, как правило, с булавочную головку; некоторые из них, однако, вырастают до нескольких сантиметров в поперечнике.

Fossil — ископаемые остатки, окаменелости. Сохранившиеся в породах свидетельства жизни существовавших прежде организмов.

Fusulinid — фузулиниды. Группа фораминифер (*foraminifera*), по форме напоминающих пшеничное зерно; были многочисленны в позднем палеозое.

Gabbro — габбро. Темноокрашенная крупнокристаллическая магматическая порода, преобладающими минералами в которой являются богатый кальцием полевой шпат и пироксен. Может присутствовать также оливин, а пироксен иногда замещается роговой обманкой. Габбро представляет собой плутонический аналог базальтовой лавы.

Galaxy — галактика. Крупная система из звезд и межзвездного вещества, обладающая собственным тяготением и отталкивающая другие подобные ей системы. Средняя по размерам галактика состоит из  $10^{12}$  звезд; согласно оценкам, в известной части Вселенной до того предела, где галактики становятся слишком слабо излучающими, чтобы их можно было обнаружить, имеется  $10^{10}$  галактик.

Garnet — гранат. Группа из обладающих кубической сингонией силикатов состава  $A_3B_2(SiO_4)_3$ , где  $A = Ca, Mg$  или  $Fe$ , а  $B = Al, Fe, Mn, V$  или  $Cr$ .

Gemini — близнецы. Неразделимые двойники.

Geoid — геоид (букв. — подобный Земле). Фактически существующая поверхность уровня моря, мысленно продолженная непрерывно через континенты. Эта поверхность в любой точке перпендикулярна линии отвеса.

Geometrical progression — геометрическая прогрессия. Ряд чисел, в котором каждый последующий член равен предыдущему, умноженному на некоторое постоянное (не равное нулю) число, называемое знаменателем прогрессии (например, 1, 3, 9, 27, ...).

Geosyncline — геосинклиналь. Длинная узкая впадина в земной коре, которая непрерывно прогибается на протяжении миллионов лет, заполняясь осадками мощностью до нескольких километров. Для наиболее активной зоны в ее пределах (эвгеосинклинали) характерны вулканизм, сейсмичность, подвижки по разломам, образование гранитов, деформации и воздымание, т. е. орогенез. Параллельная ей зона (миогеосинклиналь) ис-

пытывает устойчивое прогибание до глубин в несколько километров без вулканизма, сейсмичности и орогенеза.

Glaucophane — глаукофан. Голубоватый волокнистый или призматический амфибол (*amphibole*), богатый натрием; обычно образуется при сопровождающемся течением метаморфизме обогащенных натрием магматических пород.

*Glossopteris flora* — глоссоптериевая флора. Ассоциация растений, включающая голосеменные рода *Glossopteris*; была характерна для Гондваны (*Gondwanaland*) в пермское время.

Gneiss — гнейс. Крупнокристаллическая порода с отчетливо выраженной сланцеватостью или полосчатостью; обычно содержит кварц, полевой шпат и слюду, но может содержать и другие минералы, формируется при перекристаллизации осадочных или магматических пород во время течения в твердом состоянии.

Gneiss dome — гнейсовый купол. Диапир (*diapir*), в котором ядро, состоящее из кристаллических гнейсов, в процессе восходящего течения в твердом состоянии внедряется в вышележащие породы, приподнимая их в форме купола.

Gondwanaland — Гондвана. Позднепалеозойский суперконтинент, состоявший из Южной Америки, Африки, Мадагаскара, Индии, Австралии и Антарктиды. См. Laurasia.

Gore — сферическая долька, двуугольник. Промежуток между большими кругами на сфере, имеющий форму полумесяца.

Gouge — глинка трения. Мягкий тонкозернистый материал в зоне разлома.

Graben — грабен. Протяженная опущенная зона на земной поверхности, обычно ограниченная сбросами. Противоположное понятие — горст (*horst*). Его геоморфологическое выражение — рифтовая долина.

Granite — гранит. В общем смысле — крупнокристаллическая порода, которая образует основную массу крупных плутонов (*plutons*), внедрившихся в ядра складчатых горных поясов, и состоит из кварца, полевого шпата и обычно некоторых темноцветных минералов, таких, как слюда или роговая обманка. В более узком смысле гранитами являются только такие породы, которые состоят из кварца, калиевого полевого шпата, как правило, слюды и, возможно, роговой обманки. К гранитам в широком смысле относят также породы, которые в зависимости от типа присутствующего в них полевого шпата и количества кварца называют адамеллитом, гранодиоритом, кварцевым монцонитом и т. д.

Granulite — гранулит. Сравнительно грубозернистая метаморфическая порода, почти не имеющая такой ориентировки минералов, как у гнейсов (*gneiss*), и сформировавшаяся при более высоком гидростатическом давлении. В зависимости от состава

первичной породы может присутствовать ряд минералов, таких, как кварц, полевые шпаты, гранаты, пироксены и амфиболы.

Graphite — графит. Форма существования углерода, устойчивая на земной поверхности. Чтобы из графита образовался алмаз, необходимо давление 50 кбар.

Gravitational constant — гравитационная постоянная. Когда Ньютон открыл, что гравитационное притяжение между двумя телами пропорционально произведению ( $m'm''$ ) их масс и обратно пропорционально квадрату ( $d^2$ ) расстояния между ними, это означало, что для того, чтобы силу притяжения можно было приравнять к отношению  $m'm''/d^2$ , нужно умножить его на некую константу, получившую название гравитационной постоянной. Ее вычисленное значение равно  $(6,670 \pm 0,005) \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

Gravitational mass — гравитационная масса. Сила, с которой физическое тело притягивает стандартное тело, находящееся от него на определенном расстоянии.

Gravity anomaly — аномалия силы тяжести. Разность между ускорением силы тяжести, наблюдаемым в какой-либо точке, и величиной, предсказанной для данных широты, долготы и высоты в результате вычислений по принятой формуле для определенных формы Земли и распределения в ней плотностей пород.

Great circle — большой круг. Любой круг на поверхности сферы, разделяющий эту сферу пополам. Экватор и все меридианы представляют собой большие круги, но и любая плоскость, проходящая через центр сферы, пересекает ее поверхность по большому кругу.

Greenstone belt — зеленокаменные пояса. Вытянутые пояса темно-зеленых метаморфизованных мафических магматических пород, сложенные раннедокембрийскими комплексами. Зеленая окраска обусловлена такими минералами, как хлоритовые амфиболы, эпидот и серпентин.

Grenville — Гренвилл. Крупный орогенический пояс на востоке Северной Америки, развитие которого закончилось около 1 млрд. лет назад.

Seamount — гайот. Подводная гора с плоской вершиной, возвышающаяся над дном глубоководной части океана и не доходящая до поверхности воды приблизительно на 1000 м.

Gypsum — гипс. Минерал, по химическому составу — водный сульфат кальция.

Heat flux — тепловой поток. Величина потока тепла из недр Земли, измеряемая в микрокалориях на квадратный сантиметр в секунду или в милливаттах на квадратный метр. Средний теп-

ловой поток через материки и океаны равен 60 и 95 мВт/м<sup>2</sup> соответственно, хотя и меняется от места к месту.

Hornfels, hornstone — роговик. Крепкая плотная тонкозернистая порода, обычно образующаяся в результате изменения глинистых пород под действием тепла и проникающих флюидов вблизи магматической интрузии. Прежде термин «роговик» применяли в более широком смысле для любой плотной тонкозернистой породы, в том числе для кремня (**chert**).

Horst — горст. Вытянутая приподнятая зона, ограниченная сбросами или взбросами. Противоположное понятие: грабен (**graben**), рифтовая долина.

Hubble's law — закон Хаббла. Галактики удаляются друг от друга со скоростью  $H$  км/(с·Мпс), где  $H$  — постоянная Хаббла. Величина  $H$  зависит от способа ее измерения; обычно приводят значение 75.

Hypersphere — гиперсфера. «Сфера» в четырех измерениях. Так, если  $x^2 + y^2 = c$  — это окружность (в двух измерениях), а  $x^2 + y^2 + z^2 = c$  — сфера (в трех измерениях), то гиперсфера описывается уравнением  $x^2 + y^2 + z^2 + t^2 = c$ .

Ice Age — ледниковая эпоха, ледниковый период. Термин свободно пользования; в одних случаях его относят только к последней стадии оледенения, которая продолжалась от 30 000 до 10 000 лет назад, а в других — к ледниковой эпохе, начавшейся более миллиона лет назад и еще не завершившейся. Настоящее время — это прохладная межледниковая стадия, причем до следующего оледенения, по-видимому, не пройдет много тысяч лет.

Igneous — магматические. Породы, образовавшиеся в результате затвердевания из расплава (лат. *ignis* — огонь). Некоторые породы, обычно считавшиеся магматическими, по мнению ряда исследователей, образовались из осадков, минуя расплавленное состояние, но термин «магматические» может распространяться и на них. Поэтому термин можно рассматривать как описательный, а не генетический.

Inertia — инерция. Сопротивление тела движению, ускорению или вращению.

Inertial mass — инертная масса. Мера инерции, т. е. сопротивления тела ускорению под действием силы.

Isobath — изобата (букв. — равная глубина). Линия на карте морского дна, проведенная через точки равной глубины, отсчитываемой от уровня моря.

Isostasy — изостазия. Теоретически — результат приложения закона Архимеда к земной коре. Термин предложил в 1889 г. ко-

ролевский астроном С. Э. Даттон с целью объяснить, почему отклонение отвеса из-за притяжения Гималаями, обнаруженное главным топографом Индии Дж. Эверестом, составляло только треть величины, которую следовало ожидать при такой массе Гималаев, расположенной выше уровня моря, т. е. почему Гималаи недостаточно притягивали своим весом. Принцип изостазии (от греч. *ισοστασιον* — равновесие) устанавливает, что выше «уровня компенсации» равные по площади участки земной коры имеют одинаковый вес, в результате чего пониженные участки обладают корой из более плотных пород, чем участки с большими высотами. Если в какой-то области добавляется дополнительная нагрузка (например, толща осадков, или лавовый покров, или ледниковый щит), то эта область будет опускаться, с тем чтобы сохранилось изостатическое равновесие, точно так же как груз заставляет корабль плыть с большей осадкой. Поскольку вязкость или жесткость астеносферы (*asthenosphere*) уменьшается с повышением температуры, скорость изостатического выравнивания изменяется от региона к региону. Для нормальных (невулканических) областей отклонение от состояния равновесия, вызванное изменением нагрузки, уменьшается примерно до 1/2 за 5000 лет, до 1/4 за 10 000 лет, до 1/8 за 15 000 лет и т. д.

*Isotherm* — изотерма. Линия или поверхность одинаковой температуры.

*Isotopes* — изотопы. Разновидности одного и того же элемента, химические свойства которых идентичны, но которые различаются числом нейтронов в ядре и, следовательно, атомной массой. Изотопы какого-либо элемента нельзя разделить химическим путем, а только с помощью физического процесса, чувствительного к разнице в атомной массе.

*Jadeit* — жадеит. Минерал зеленого цвета из группы пироксенов; образуется только при высоком давлении; химический состав  $\text{Na}(\text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ .

*Jasper* — яшма. Кремнистая порода (*chert*), окрашенная в розовый, красный или коричневый цвет за счет примеси гематита (оксида железа).

*Joints* — трещины, отдельности. Системы обычно плоских трещин, присутствующие во всех породах; формируются под действием растягивающих или скалывающих напряжений, превышающих прочность материала. Смещение ограничено релаксацией упругих напряжений, существовавших до возникновения трещины. Название (*joints*) происходит от внешнего сходства со стыками или швами в каменной кладке; однако эта аналогия ложная, поскольку при постройке каменной стены блоки соединя-

ются, тогда как при образовании трещин порода, прежде целая, разделяется на блоки.

Jurassic — юрский период, юра. Период времени между 208 и 144 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название происходит от гор Юра между Францией и Швейцарией, где породы этого возраста впервые были подробно изучены фон Гумбольдтом в 1795 г.

Kinetic energy — кинетическая энергия. Энергия, которой обладает движущееся тело.

Klippe — клипп. Изолированный эрозионный останец тектонического покрова (*парре*).

Krikogen — крикоген. Термин, введенный Ф. Вецелем для имеющей округлую форму структуры, представляющей собой поверхностное выражение глубинного диапира.

Laurasia — Лавразия. Сокращенное название для совокупности Лаврентии и Азии, относящееся к позднепалеозойскому суперконтиненту, который состоял из Северной Америки, Гренландии, Европы и Азии (за исключением Индии). Лавразия и ее «близнец» Гондвана, располагавшийся к югу от зоны Тетис, вместе составляли Пангею (*Pangea*). Вегенера.

Law of superposition — закон суперпозиции. Любой слой, отложившийся на другом слое, соответствует более позднему времени, чем подстилающий слой; любой разлом, или трещина, или деформация, или интрузия, или другое геологическое образование, нарушающие какой-нибудь слой или структуру, фиксируют более поздние события, чем нарушенные ими слои или структуры. Этот закон, который является основным законом стратиграфии, впервые был четко сформулирован Стено в 1669 г.

Lawsonite — лавсонит. Водный силикат кальция и алюминия, серовато-голубой минерал метаморфических пород.

Lineation — линейность. Используется в широком смысле для обозначения любого типа устойчиво повторяющейся в породе линейной структуры, включая штриховку на зеркалах скольжения, оси микроскладок, пересечения кливажа со слоистостью, удлинение галек и ооидов, морщины, полосы и т. д. В более узком генетическом смысле термин относится к структурам, образовавшимся в направлении течения деформируемой твердой породы, включая удлиненные кристаллы, соответственно ориентированные по отношению к напряжениям, и другие структуры подобного рода.

Lithosphere — литосфера (этимологически — «каменная сфера»).

Термин относится к внешней оболочке Земли мощностью до 100 км и более, ведущей себя как жесткое тело в отличие от подстилающей ее астеносферы (*asthenosphere*), которая, хотя и находится еще в твердом состоянии, течет под действием длительных нагрузок в большой степени подобно леднику. В работах ранних авторов термин «литосфера» означал всю твердую Землю в противоположность атмосфере и гидросфере, но от такого применения термина отказались.

*Mach's principle* — принцип Маха. Движение частицы имеет смысл, только когда оно соотносится с остальным веществом во Вселенной, и инерция теряет смысл в пустоте. Следовательно, инертная масса частицы в пустом пространстве равна нулю и увеличивается по мере возрастания общей массы Вселенной.

*Mafic* — мафические. Это прилагательное относят к минералам и магматическим породам с высоким содержанием магния (*magnesium*) и железа (*ferrum*).

*Magma* — магма. Обобщенное название расплавленного вещества, которое, затвердевая, образует магматические породы. Но греческое слово *μάγμα* означает тесто, а не расплав, и Эллистон (см. гл. 4) утверждает, что гранитные магмы представляют собой скорее коллоидную массу, а не расплавы, и употребляет термин «магма» еще и в этом смысле.

*Magnetic declination* — магнитное склонение. Горизонтальный угол между магнитным и географическим меридианами в какой-либо точке (иногда его называют *вариацией*, хотя, строго говоря, вариация — это годовое изменение склонения).

*Mantle* — мантия. В геофизике этот термин всегда относится к оболочке в твердой Земле, которая расположена между жидким ядром, находящимся на глубине порядка 3000 км от поверхности Земли, и разделом Мохо (*Moho*), лежащим в интервале глубин 10—100 км от поверхности. В других отраслях геологии термин употребляется как синоним названия *реголит*, означающего выветрелый материал на поверхности; в петрологии слово «мантия» используют (следуя Эсколе, 1948) в термине *mantled gneiss dome* (гнейсовый купол с оболочкой) для обозначения перекрывающих купол метаморфизованных пород, расслоенных и рассланцованных параллельно поверхности и полосчатости диапирового гнейсового купола; в палеонтологии мантией называют образующую складки часть ткани, обволакивающую главное тело моллюска или брахиоподы и выделяющую внешнюю раковину.

*Massif* — массив. Блок пород, устойчивый по отношению к тектоническим деформациям.



**Megashear** — мегасдвиг. Разлом сдвигового типа, горизонтальное смещение блоков земной коры по которому значительно превышает мощность коры.

**Mélange** — меланж. Хаотическая смесь из крупных блоков размером до километра, образующая геологические тела, которые можно картировать. Существуют по крайней мере две категории меланжа: осадочный и тектонический. Первый возникает в результате крупных оползней. Некоторые тектонические меланжи встречаются в зонах мегасдвигов, где происходят крупные относительные горизонтальные перемещения в обстановке поперечного разлома растяжения.

**Meson** — мезон. Общее название для любой элементарной частицы класса адронов с числом барионов, равным нулю, т. е. для семейства субъядерных частиц гораздо меньшего размера, чем протоны и нейтроны; эти частицы обладают сильным взаимодействием. К ним относятся  $\pi$ -,  $K$ - и  $D$ -мезоны и соответствующие им античастицы.

**Mesozoic** — мезозойская эра, мезозой (букв.— время средней жизни). Интервал времени между 245 и 66 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6).

**Metamorphism** — метаморфизм. Этимологически — «изменение формы», т. е. процесс, посредством которого порода перекристаллизуется, переходя в другую форму в результате воздействия тепла, давления, сдвиговых напряжений или проникновения флюидов либо какого-то сочетания этих факторов. Обычно в результате метаморфизма образуются другие минералы или происходит перекристаллизация ранее существовавших (например, когда чистый известняк превращается в мрамор или чистый кварцевый песчаник — в кварцит). Химический состав пород может при этом изменяться за счет привноса в них или удаления из них каких-либо элементов.

**Metastable** — метастабильное. Временно устойчивое состояние, обусловленное тем, что переход системы в новое состояние в связи с изменившимися условиями происходит медленно. Деитрификация и перекристаллизация, а также течение в твердой фазе представляют собой диффузионные процессы, длительность которых зависит от соответствующего времени релаксации (*relaxation time*).

**Metonic cycle** — Метонов цикл. Равный 18,6 лет период нутации (от лат. *nutans* — раскачивающийся) земной оси, вызванной периодическим изменением общего притяжения Солнцем и Луной экваториального вздутия Земли. Назван по имени афинского ученого Метона, который открыл этот цикл в 432 г. до н. э.

**Migmatite** — мигматит (букв.— смешанная порода). Полосчатая

порода, сложенная чередующимися линзовидными прослоями из гранитных и метаморфических минералов. Присутствует в осевых зонах орогенов, где гранитные плутоны проникают в прорываемые ими метаморфические породы в виде тонких прослоек. Миоцен — миоцен (букв.— наименьшее количество современных (организмов)). Интервал времени от 24 до 5,3 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название дано Ч. Лайелем в 1833 г.

Miogeosyncline — миогеосинклиналь. См. **Geosyncline**.

Mohorovičić discontinuity (=Moho) — раздел Мохоровичича, Мохо. Раздел в литосфере, где скорость продольных сейсмических волн изменяется скачком примерно с 6 до 8 км/с.

Molasse — моласса. Первоначально — зеленого цвета мягкие песчаники неморского происхождения, присутствующие в ассоциации с мергелями и конгломератами миоценового возраста в предгорьях Альп; впоследствии термин, как правило, стали относить к подобным неморским и дельтовым фациям отложений, накопившимся в результате эрозии новообразованной орогенической зоны. (Происходит от французского слова, означающего мягкий, дряблый, вялый).

Moment of inertia — момент инерции. Сумма произведений массы каждой частицы на квадрат ее расстояния от оси вращения ( $\Sigma mr^2$ ). Во вращательном движении момент инерции играет ту же роль, что масса в поступательном движении.

Moraine — морена. Материал горных пород, отложившийся в результате таяния ледника, который перенес этот материал туда, где он отложился (ср. *till*).

Mountain building — горообразование. Здесь — процесс, приводящий к образованию складчатых горных хребтов. Помимо больших высот таким горным хребтам свойственны следующие характерные особенности: миллионы лет быстрого осадконакопления вплоть до образования многокилометровых толщ, эпохи интенсивного складкообразования, вулканизм и сейсмичность, аномалии гравитационного поля. Синоним: орогенез (т. е. то же самое по-гречески).

Mylonite — милонит (букв.— размолотая порода). Тонкозернистая порода, образующаяся в зоне смещения по разлому, где давление и температура, обусловленная трением, были достаточными для того, чтобы вызвать перекристаллизацию вещества с образованием плотной кремнеподобной породы без развития кливажа.

Nappe — тектонический покров (букв.— покрывало). Пластина горных пород, которая была надвинута на другие породы по го-

ризонтальной или полого наклоненной поверхности на расстояние, измеряемое километрами.

Neogene — неоген. Период времени от 24 до 1,6 млн. лет назад, охватывающий миоценовую и плиоценовую эпохи.

Neptunism — нептунизм. Существовавшая в XVIII в. доктрина Вернера о том, что все породы отложились в виде осадков из Всемирного океана (см. гл. 4).

Neutron star — нейтронная звезда. Звезда, состоящая в основном из нейтронов — частиц, не имеющих электрического заряда, вследствие чего нейтронное вещество такой звезды обладает исключительно высокой плотностью. Нейтронная звезда имеет диаметр не более 10 км, массу — порядка 1,5 массы Солнца и вращается с периодом, измеряемым секундами или долями секунды. Такие звезды испускают радиоизлучение в виде импульсов и наблюдаются в виде пульсаров (**pulsars**).

Nucleon — нуклоны. Общее наименование для протонов и нейтронов.

Nuée ardente — палящая туча (букв. — раскаленная туча). Раскаленное облако из пара и пыли, извергающееся при сильном взрывном вулканическом извержении; распространяется с огромной скоростью вниз по склону вулкана, переноса при своем турбулентном движении обломки пород.

*Obliquity* — наклон оси вращения. Угол между плоскостью эклиптики и плоскостью земного экватора (равный углу между осью вращения Земли и перпендикуляром к плоскости земной орбиты).

Oligocene — олигоцен (букв. — мало современных (организмов)). Период времени между 37 и 24 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название дано Ч. Лайелем в 1833 г.

Olivine — оливин. Зеленоватый минерал  $(Mg, Fe)_2SiO_4$ . Наиболее распространенный минеральный компонент в верхней мантии и ее производных (прежде называвшийся перидотом).

Ooze — ил. В морской геологии — глубоководный осадок, содержащий 30% или больше известковых или кремнистых остатков пелагических организмов и тонкозернистое глинистое вещество.

Orhiolite — офиолиты. Группа мафических и ультрамафических магматических пород и их зеленокаменные производные, богатые хлоритом, эпидотом, амфиболами и серпентином; обычно обнаруживаются в ядрах орогенов.

Ordovician — ордовик. Период между 505 и 438 млн. лет назад. Название дано в 1879 г. Лэпуорсом для пород этого возраста в

Северном Уэльсе, некогда населявшемся кельтским племенем ордовиков.

Orocline — ороклин (букв.— изгиб гор). Ороген, деформированный в плане.

Orogenesis — орогенез. Синоним термина «горообразование» (mountain building).

Orotath — оротат. Ороген, который был сильно растянут и превратился в цепочку островов на подводном хребте.

Overthrust — пологий надвиг, шарьяж. Крупный полого наклоненный надвиг.

Paleocene — палеоцен. Эпоха между 66 и 58 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6).

Paleogene — палеоген. Период времени между 66 и 24 млн. лет назад, охватывающий палеоценовую, эоценовую и олигоценовую эпохи.

Paleopole — палеополюс. Полюс Земли в какой-то прошедший период времени.

Paleozoic — палеозойская эра, палеозой (букв.— время древней жизни). Интервал времени между 570 и 245 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6).

Pangaea — Пангея (букв.— вся Земля). Название, данное А. Вегенером в 1912 г. единому матерiku, который существовал в конце палеозоя и впоследствии распался, образовав современные материки.

Parallax — параллакс. Кажущееся смещение небесного тела на небесной сфере, обусловленное изменением положения наблюдателя. Параллакс может быть *суточным*, если наблюдения производятся за время оборота Земли вокруг оси, *годовым*, если наблюдения ведутся за период движения Земли по орбите, и *вековым*, когда наблюдения охватывают более длительный период.

Parameter — параметр. Число, которым измеряется какое-то характерное свойство в рассматриваемом случае, но которое будет иным в других подобных случаях (например, модули упругости какой-либо породы).

Peneplain — пенеплен (букв.— почти равнина). Согласно определению, данному в 1889 г. У. М. Девисом, — поверхность с низким рельефом, образовавшаяся в результате продолжительной эрозии.

Peridotite — перидотит (букв.— оливийовая порода). Грубозернистая плутоническая порода, в которой преобладающим ми-не-

ралом является оливин в ассоциации с пироксеном (или иногда амфиболом), хромитом и магнетитом.

*Period* — период. В стратиграфии определяется как специальный ранг подразделений времени в иерархии *век — эпоха — период — эра*. Геологический период продолжается несколько десятков миллионов лет.

*Permian* — пермский период, пермь. Период времени между 286 и 245 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Назван по содержащим окаменелости породам этого возраста, выходящим на поверхность в Пермской впадине в СССР\*.

*Petrology* — петрология. Буквально — изучение пород, но с уклоном в сторону их генезиса, химии и структуры, в отличие от описательного характера термина *петрография*, относящегося к изучению этих пород в шлифах под микроскопом.

*Phase* — фаза. В разных областях геологии термин «фаза» используется в различном смысле. Здесь он относится к разным ассоциациям минералов, которые могут существовать при данном составе породы в различных условиях давления, температуры и наличия воды (например, фазы углерода — графит и алмаз, фазы кремнезема — халцедон, кварц, коэсит и стишовит), или фазам пород (например, базальт, габбро и эклогит).

*Piedmont* — предгорье. Область или какое-либо характерное образование, простирающиеся вдоль основания горного хребта.

*Plate* — плита. В теории тектоники плит — обширная тонкая пластина литосферы; предполагается, что плиты перемещаются по горизонтали и граничат с другими плитами вдоль тектонически активных зон, которые могут быть зонами столкновения, расхождения или сдвига.

*Platform* — платформа. Материковая область, покрытая чехлом горизонтально залегающих или слабо деформированных осадочных или вулканических пород, которые лежат на консолидированном и пенепленизированном ранее фундаменте.

*Pleistocene* — плейстоцен (букв. — наибольшее количество современных (организмов)). Эпоха между 1,6 млн. и 10 тыс. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название дано в 1839 г. Ч. Лайелем.

*Pliocene* — плиоцен (букв. — большинство современных (организмов)). Эпоха от 5,3 до 1,6 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название дано в 1833 г. Ч. Лайелем.

*Pluton* — плутон. Общий термин для тел интрузивных магматических пород, отличающихся от таких простых форм, как дайка (*dike*) или силл (*sill*).

---

\* В советской литературе принято название — Восточно-Русская впадина. — *Прим. ред.*

**Plutonism** — плутонизм. Существовавшая в XVIII в. доктрина, которая приписывала главную роль в образовании пород, развитых на земной поверхности, внутреннему теплу Земли.

**Polar wander path** — траектория миграции полюса. Путь перемещения полюса по отношению к единому матерiku, о котором свидетельствуют данные о палеоширотах, полученные в результате палеомагнитных исследований пород этого материка, за достаточно большой интервал времени.

**Porphyroid** — порфиرويد (букв.— подобный порфиру). Рассланцованная порода с «очками» полевого шпата в сланцеватой основной массе минералов, таких, как хлорит, слюда, амфибол и эпидот. Одни геологи считают его рассланцованными порфировыми лавами или туфами, другие — породой, сформировавшейся из глинистого осадка при рассланцевании, сопровождавшемся кристаллизацией полевых шпатов.

**Porphyry** — порфир. Магматическая порода, содержащая вкрапленники более крупных кристаллов кварца и (или) полевого шпата в более тонкозернистой основной массе. Прилагательное «порфировый» используется независимо от типа минерала, образующего более крупные кристаллы.

**Potential energy** — потенциальная энергия. Энергия, которой обладает физическое тело благодаря своему положению относительно других тел.

**Precession** — прецессия. Медленное смещение положения оси вращающегося волчка; аналогичное движение земной оси приводит к тому, что равноденствие каждый год наступает чуть раньше (предварение равноденствий) на  $50,37''$  по долготе или на  $3,75$  с по времени.

**Primordial lead** — первичный свинец. Свинец с таким соотношением изотопов, какое свойственно свинцу, содержащемуся в метеоритах; предполагают, что такое же соотношение существовало в свинце во время формирования Солнечной системы. Сопоставляя соотношение изотопов в первичном свинце с таковым в свинце из свинцовой руды, частично обусловленном «разбавлением» изотопами свинца, возникшими в результате радиоактивного распада урана и тория после образования этой руды, можно определить возраст этой руды и возраст Земли.

**Prokaryote** — прокариоты. Примитивные одноклеточные организмы, не содержащие ни везикулярных ядер, ни органелл, заключенных в мембранные оболочки.

**Proterozoic** — протерозой (букв.— время более ранней жизни). Время между 2,5 млрд. и 570 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6).

**Pulsar** — пульсар. Источник космического радиоизлучения, ис-

пускающий интенсивные короткие импульсы через правильные промежутки времени от  $1/3$  до 4 с; считается, что пульсары представляют собой нейтронные звезды, возникшие при вспышках сверхновых; масса пульсара немного больше массы Солнца, а диаметр — примерно 10 км.

*Pulsation* — пульсация. Геотектоническая теория, утверждающая, что Земля претерпевает периоды расширения, продолжающиеся миллионы лет, за которыми следуют периоды сжатия, вызывающего орогенез.

Ругохене — пироксен. Широко распространенная группа почти черных минералов (зеленых в шлифах), представляющих собой силикаты железа и (или) магния; одна из важных подгрупп группы пироксенов содержит также алюминий. По составу близки к амфиболам, только последние включают гидроксильную группу и формируются в обстановке с большим содержанием воды.

Quantum fluctuation — квантовая флуктуация. Явление, обусловленное двойственной корпускулярно-волновой природой материи на субъядерном уровне и волновой функцией Шредингера. Благодаря ему существует вероятность того, что энергетический барьер, непреодолимый с точки зрения классической физики, может быть обойден. Примерами являются выброс альфа-частиц из радиоактивных ядер и «туннельный диод» в полупроводниках. «Новая космология» переносит это явление на мегамасштабы, с тем чтобы дать начало времени и пространству, мгновенно создать общую массу и энергию Вселенной и послужить «спусковым крючком» Большому Взрыву (**Big Bang**).

Quark — кварк. Гипотетическая основная составляющая элементарных частиц. На ее существование указывают данные некоторых экспериментов. В «букете» из шести кварков каждый отличается своими массой, зарядом, барионным зарядом, спином, «странностью» и «очарованием».

Quaternary — четвертичный период. Самый последний период геологического времени в старой номенклатуре, делившей геологическую историю на четыре периода: первичный — вторичный — третичный — четвертичный. Четвертичный период охватывает последние 1,6 млн. лет и включает плейстоценовую и голоценовую эпохи.

Red-shift — красное смещение. Уменьшение частоты светового излучения звезды, удаляющейся от наблюдателя; в результате видимые им цвета спектра смещаются в сторону красного конца по сравнению со светом, испускаемым этой звездой. Величина

красного смещения является мерой скорости, с которой удаляется звезда.

**Relativity** — относительность, теория относительности. Универсальный закон, специальная (частная) теория относительности Эйнштейна, которая устанавливает, что законы механики остаются справедливыми вне зависимости от равномерного прямолинейного движения системы координат, в которой они рассматриваются, и что скорость света постоянна и не зависит от движения наблюдателя.

**Relaxation time** — время релаксации. Если к телу приложена нагрузка так, что главные напряжения в нем становятся неодинаковыми, то разность между максимальным и минимальным напряжениями уменьшается со временем по экспоненциальному закону за счет внутренней диффузии. Время, необходимое для того, чтобы разность напряжений понизилась до  $1/e$  от своей величины в любой момент времени, и есть время релаксации. В подобных воде жидкостях с низкой вязкостью время релаксации измеряется пикосекундами ( $10^{-12}$  с), в глицерине — наносекундами ( $10^{-9}$  с), в мастике — секундами, во льду — часами, в каменной соли — сотнями лет, в верхней мантии — тысячами лет. Свойство текучести приобретает главную роль в каждом из этих веществ, если нагрузка прилагается к ним в течение значительно более длительного времени, чем их время релаксации. Сходное понятие о времени релаксации используется при описании и других физических полей, например по отношению к уменьшению электрического заряда или намагниченности.

**Revolution** — обращение. В применении к планетам слово «обращение» относится к их движению по орбите, тогда как слово «вращение» (*rotation*) относится к круговому движению их вокруг собственной оси.

**Rhaetic** — рэт, рэтский век. Эпоха приблизительно 200 млн. лет назад, которую одни геологи относят к концу триасового периода, а другие — к началу юрского.

**Rheid** — текучесть. Есть три состояния, в которых вещество деформируется в соответствии с законами, справедливыми для жидкостей: газообразное, жидкое и твердое, когда продолжительность процесса является значительно большей, чем время релаксации (**relaxation time**). Примеры пластического течения твердых кристаллических веществ — течение льда в ледниках, подъем каменной соли в соляном куполе или течение соляного глетчера, диапировое поднятие гнейсового купола (см. гл. 17).

**Rheoreхu** — реопексия. Внезапное превращение коллоидного золя в гель, когда скорость течения снижается до критической величины и хлопья вещества слипаются друг с другом.



Rhombochasm — ромбохазм. Ромбообразное в плане зияние в континентальной коре, вызванное растяжением и заполненное океанической корой.

*Rigidity* — жесткость. В обычном английском языке это понятие означает сопротивление вещества упругой, вязкой или пластической деформации; в физике же жесткость определяется как модуль сопротивления только упругой деформации. Следовательно, жесткость льда (при вязкости около  $10^{13}$  пуаз и модуле сдвига около  $10^9$  дин/см<sup>2</sup>) ниже, чем жесткость воды, которая имеет очень малую вязкость (около  $10^{-2}$  пуаз), но высокий модуль сдвига (около  $10^{10}$  дин/см<sup>2</sup>). Поэтому необходимо точно знать, в каком именно смысле используется этот термин — обычном или физическом.

Rocky Mountain Trench — ров Скалистых гор. Длинная борозда, протягивающаяся от Монтаны до Аляски (если включить в нее сходный с ней Тинтинский ров), дренируемая верховьями ряда крупных речных систем. Является зоной значительного правостороннего сдвигового смещения.

*Root* — корень. Корневая часть тектонического покрова (*nappe*) — там, где он выходит из поднимающегося диапира и начинает выполаживаться.

Rotation — вращение. В применении к планетам этот термин относится к их вращению вокруг своей оси в отличие от обращения, которое означает их движение по орбитам.

Salt dome — соляной купол. Диапир (*diapir*) с округлым в плане протыкающим ядром каменной соли диаметром порядка первых километров, который поднимается на несколько километров через вышележащие отложения.

«Salt glacier» — «соляной глетчер». Напоминающий ледник поток каменной соли, который образуется, если протыкающее соляное ядро выдавливается на поверхность быстрее, чем соль удаляется растворением; за исключением регионов с аридным климатом, подобные случаи редки.

Schist — кристаллический сланец. Листоватая метаморфическая порода, перекристаллизовавшаяся во время течения в твердом состоянии, которое обусловило кристаллизацию «сланцеватых» пластинчатых минералов, особенно слюд и амфиболов, и игольчатых минералов, ориентированных в направлении течения; отсюда прилагательное *сланцеватый (schistose)*.

Schwarzschild radius — радиус Шварцшильда. Расстояние от центра звезды, в пределах которого, согласно общей теории относительности, лучистая энергия не может выделяться из-за кривизны гравитационного поля.

*Sediment* — осадок. Глина, алевроит, гравий или другой материал, отложенный любым геологическим агентом переноса, например рекой, течениями, ледником, ветром, извержением вулкана, или посредством химического осаждения, или с помощью организмов.

*Senonian* — сенон. Самый поздний интервал времени мелового периода в Европе — от 91 до 67 млн. лет назад.

*Sensitivity* — чувствительность, коэффициент чувствительности. Отношение величины прочности на сдвиг ненагруженного глинистого или алевроитового материала до и после разрыхления при постоянном содержании воды. Сравните это с относительной густотой крема до и после взбивания или с относительной прочностью коллоида (*colloid*) на стадиях золя и геля.

*Serpentine* — серпентин. Группа зеленых минералов, главным образом водных силикатов магния, обычно образующихся в результате изменения мафических (*mafic*) и ультрамафических (*ultramafic*) пород. Порода, состоящую в основном из серпентина, иногда также называют серпентином, но более правильно название *серпентинит*.

*Shear folding* — складчатость скальвания. Термин, обычно используемый в Америке для подобной складчатости (*similar folding*), но его не следует употреблять из соображений приоритета и ввиду заключенного в нем ошибочного представления о природе этой складчатости (см. гл. 16).

*Sial* — сиаль. Акроним от слов кремний (*silica*) и алюминий (*alumina*). Применяется как общий термин для гранитной континентальной коры, в которой содержится больше алюминия и кремния, чем в океанической коре и в слое, подстилающем гранитную кору материков, где силикаты богаче магнием (*magnesia*) — отсюда его название «сима» (*sima*).

*Sigmoidal* — сигмоидальный. Имеющий S-образную форму в плане.

*Sill* — силл. Магматическое тело, внедрившееся согласно по отношению к слоистости или сланцеватости.

*Sillimanite* — силлиманит. Игольчатый метаморфический минерал того же самого химического состава, что и андалузит и кианит ( $Al_2SiO_5$ ). Силлиманит образуется при более высоких температурах, чем андалузит, и при более высоком содержании воды, чем кианит.

*Silurian* — силур. Период времени между 438 и 408 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название дано Мурчисоном для пород этого возраста в Северном Уэльсе, где раньше обитало кельтское племя силуров.

Sima — сима. Акроним от слов *silica* (кремний) и *magnesia* (магний); термин, противопоставляемый термину «сиаль» (*sial*).

Similar folding — подобная складчатость. Характер деформации, при котором мощности слоев в направлении течения остаются неизменными.

Sinistral — левосторонний, синистральный. Смещение влево, или против часовой стрелки, в отличие от декстрального (*dextral*) — правостороннего, или по часовой стрелке.

Slate — кровельный, или аспидный, сланец. Тонкозернистая порода, легко раскалывающаяся на тонкие пластинки независимо от первоначальной слоистости; формируется в процессе пластической деформации аргиллита и глинистого сланца, сопровождавшейся образованием *квиважа течения*, перпендикулярного к максимальному напряжению, вызывающему течение.

Solstice — солнцестояние. Моменты, когда полуденная высота Солнца над горизонтом максимальна (летнее) или минимальна (зимнее). Соответствует наибольшему (летнее) и наименьшему (зимнее) склонению Солнца.

Sphenochasm — сфенохазм. Клиновидный сектор океанической коры между блоками континентальной коры; образуется в результате поворота одного блока последней относительно другого.

Stereographic projection — стереографическая проекция. Проекция одного полушария на касательную плоскость из противоположного по отношению к точке касания конца диаметра сферы (см. рис. 32).

Stishovite — стишовит. Минерал того же химического состава ( $\text{SiO}_2$ ), что кварц и коэзит, но образующийся при давлениях свыше 100 кбар; следовательно, на поверхности Земли он встречается только в астроблемах (*astroblesmes*). Назван по фамилии русского геохимика С. М. Стишова, который синтезировал его в 1961 г. незадолго до того, как он был найден в природе в Аризонском метеоритном кратере.

Stratum — слой, пласт. Пласт осадочной породы.

Stress difference — разность напряжений. Напряженное состояние в точке можно описать тремя взаимно перпендикулярными «главными напряжениями». Если эти напряжения не равны между собой (негидростатическое состояние), то разность между максимальным и минимальным главными напряжениями называют разностью напряжений.

Subduction — субдукция. Постулируемый процесс, при котором одна литосферная «плита» опускается под другую в мантию. В более широком смысле — концепция, возвращающая нас к идее «засасывания» (*Verschluckung*) Амферера и Э. Крауса.

**Superposition** — суперпозиция, наложение. См. **Law of superposition**.

**Suture** — сutura, шов. В теории тектоники плит — узкая зона между двумя литосферными плитами, где находившаяся между ними океаническая кора уничтожена в результате субдукции.

**Syncline** — синклиналь. Буквально — складка, в которой крылья наклонены друг к другу, т. е. вогнутая складка; но точнее — складка, в ядре которой находятся стратиграфически самые молодые слои.

**Synclinorium** — синклиорий. Крупная синклинальная структура, состоящая из более мелких складок.

**Superesis** — синерезис (букв. — сжатие, уменьшение). Выделение жидкой фазы из дисперсной структуры (геля), сопровождающееся уменьшением объема. Происходит в результате уплотнения пространственной структурной сетки под действием сил сцепления между коллоидными и субколлоидными частицами.

**Syzygy** — сизигии. Для астрономических тел — состояния соединения или противостояния (для планет — с Солнцем) (от греч. *σζυγγος* — парный).

**Tertiary** — третичный. В старой номенклатуре — одно из подразделений геологического времени в ряду первичный — вторичный — третичный — четвертичный периоды. Сейчас третичный период распространяется на интервал времени от 66 до 1,6 млн. лет назад и включает палеоценовую, эоценовую, олигоценовую, миоценовую и плиоценовую эпохи.

**Tethys** — море, зона Тетис. Существовавший в мезозое экваториальный сквозной морской проход, разделявший Лавразию (*Laurasia*) и Гондвану (*Gondwanaland*). Назван так Зюссом по имени дочери богини Земли Геи и бога моря Урана. Его развитие началось в раннепермское время и завершилось в олигоцене альпийско-гималайской орогенцией.

**Thixotropy** — тиксотропия. Свойство коллоидов переходить из геля в золь при скалывающей деформации и возвращаться в состояние геля, когда прекращаются возмущения. Хотя в целом положительные и отрицательные заряды на субмикронных частицах уравновешены, положительные заряды перемещаются, чтобы соединиться с отрицательными зарядами соседних частиц, делая вещество в целом прочным (гель). Эта структура разрушается при скалывающих деформациях, когда положительные заряды отталкивают положительные, а отрицательные заряды — отрицательные, и вещество превращается в подвижный флюид (золь), пока частицы медленно не перегруппируются и вещество не вернется в состояние геля.

**Tholeiite** — толеит. Разновидность базальтов (**basalt**) с довольно высоким содержанием кремнезема и повышенным содержанием железа по отношению к магнезию, считается индикатором тектонической обстановки.

**Thrust** — надвиг, взброс. Надвигание одного блока пород на другой, обычно в довольно значительном масштабе.

**Tidal friction** — приливное трение. Вследствие притяжения Луной воды океанов Земли образуют вздутия и на стороне, обращенной к Луне, и на стороне, наиболее от нее удаленной. По мере вращения Земли эти вздутия смещаются к востоку по ее поверхности, создавая сопротивление трения, оказывающее тормозящее воздействие на ее вращение. К этому приливному трению добавляется действие со стороны аналогичных упругих вздутий в твердом теле Земли.

**Till** — тилл, тилль. Осадки, накапливающиеся под ледником благодаря таянию льда между обломочными частицами, которые больше не перераспределяются подледниковыми талыми водами. Ледник тает от своего основания вверх, образуя тилл, а также от поверхности вниз, образуя морену. Там, где обе поверхности ледника смыкаются, тилл сверху постепенно сменяется мореней.

**Tillite** — тиллит. Порода, образовавшаяся в результате окаменения тилла (*till*).

**Tonalite** — тоналит. Гранитная порода с преобладанием плагиоклаза над ортоклазом.

**Torsion** — кручение. Деформация, возникающая в результате поворота одной части тела относительно другой.

**Transcurrent fault** — сдвиг. Разлом, по которому одно крыло переместилось на значительное расстояние в горизонтальном направлении относительно другого крыла.

**Transform fault** — трансформный разлом. Особая категория сдвига, представление о которой введено Дж. Т. Уилсоном (см. гл. 10 и рис. 25).

**Trench** — глубоководный желоб. Длинный узкий ров в океаническом дне, на несколько километров глубже обычного уровня дна. Сейсмическая зона Бенъоффа (**Benioff zone**) достигает морского дна в глубоководных желобах.

**Triassic** — триас. Период времени между 245 и 208 млн. лет назад (см. табл. 1 в гл. 6). Название дано в 1834 г. Альберти исходя из деления толщи пород этого возраста в Германии на три части: *Buntsandstein* (пестрый песчаник), *Muschelkalk* (раковинный известняк) и *Keuper* (кейпер).

**Trilobites** — трилобиты. Вымершая группа палеозойских членистоногих с панцирями, состоящими из трех отделов.

**Tuff** — туф. Вулканическая пыль, выбрасываемая из вулкана во время извержения.

**Turbidite** — турбидиты. Осадки, отложившиеся из последовательности турбидных (мутьевых) потоков, т. е. из воды, несущей большое количество взвеси; эти потоки обычно приходят в движение в результате шторма или сейсмического толчка, вызывающего переход гелеобразного донного осадка в состояние золя.

**Ultramafic** — ультрамафический. Прилагательное, применяемое к минералам и горным породам с очень высоким содержанием магния и железа.

**Unconformity** — несогласие. Поверхность в толще горных пород, где некоторый слой залегает на подстилающих породах, которые образовались, а затем подверглись деформации и эрозии до того, как отложился этот перекрывающий слой.

**Underthrust** — поддвиг. Разлом, который морфологически сходен с надвигом или взбросом и по которому один блок породы был поддвинут под другой.

**Uniformitarianism** — униформизм. Концепция, согласно которой физическая и биологическая эволюция Земли обусловлена теми же процессами, которые действуют в настоящее время.

**Universe** — Вселенная. В общем используется как синоним слова «космос», но здесь определяется как физически познаваемая Вселенная, ограничиваемая расстоянием, на котором хаббловское разбегание галактик равно скорости света, в противоположность космосу, определяемому как безграничное пространство-время в соответствии с совершенным космологическим принципом (**cosmological principle**).

**Vacuum fluctuation** — вакуумная флуктуация. См. **quantum fluctuation**.

**Variation** — вариация. См. **magnetic declination**.

**Wallace's Line** — линия Уоллеса. Условная граница, разделяющая совершенно различные по фауне и флоре области: азиатскую и австралийскую. На А. Р. Уоллеса, который первым определил эту линию (проведя ее между островами Бали и Ломбок, далее через Макасарский пролив между островами Борнео и Сулавеси и затем восточнее Филиппин), больше всего повлияло распределение птиц. М. Вебер, которого больше интересовали млекопитающие, проводил эту линию восточнее. Несколько другие положения этой линии можно наметить для каждой пары видов животных, конкурирующих в какой-либо экологической нише.

**Whinstone** — «уинстон». В Англии — местное название долерита, диабазы или базальта.

**White dwarf** — белый карлик. Звезда с малой светимостью и высокой плотностью. Например, у Сириуса, самой яркой звезды на нашем небосводе, есть звезда-спутник — белый карлик, масса которого примерно равна массе Солнца, но светимость составляет только  $1/360$ , радиус — около  $1\%$  солнечного, а плотность примерно в 30 000 раз выше плотности Солнца.

**Wilson cycle** — цикл Уилсона. Тектонический цикл, постулированный Дж. Т. Уилсоном. Включает образование рифта на континентальной плите, разделение частей плиты вследствие разрастания океанического ложа между ними, поглощение и в конце концов исчезновение этого ложа в результате субдукции и формирование орогена в сутурной зоне. Новое рифтообразование может начать следующий цикл.

**Wobble** — колебание полюса. Прецессия и нутация земной оси, вызываемые внешним моментом сил, не меняют положения географических широт; в противоположность этому колебание полюса, вызываемое перераспределением масс внутри Земли (например, дрейфом материков или формированием диапиров), приводит к изменению географических широт.

# Именной указатель

- Авиценна (Avicenna) 28  
Авья (Avias) 346  
Агассиц (Agassiz) 86, 87, 88, 97  
Агрикола (Agricola) 68, 70  
Айзаксон (Jsaacson) 345  
Альберти (Alberti) 429  
Альбрехт (Albrecht) 115  
Ампферер (Ampferer) 121, 427  
Анаксимандр (Anaximander) 83  
Анелли (Anelli) 230  
Арган (Argand) 116, 140  
Ардуино (Arduino) 67, 105  
Арибхата (Aryabhton) 28  
Аристарх Самосский (Aristarchus of Samos) 38, 64  
Аристотель (Aristotle) 28, 31, 34, 37, 64, 78, 90, 360, 398, 399  
Арчболд (Archbold) 180  
Атуотер (Atwater, Tania) 153  
Ахмад (Ahmad) 119, 182, 190, 203  
Ашер (Ussher) 85, 90, 91, 102, 106
- Бакленд (Buckland) 84, 86, 87  
Банкс (Banks) 127  
Барнетт (Barnett) 160, 167  
Баррелл (Barrell) 81, 401  
Барретт (Burrett) 106, 180  
Батлер (Butler) 327  
Бауэр (Bauer) *см.* Агрикола  
Бейкер (Baker) 109, 111  
Бейли (Bailey) 116  
Беккерель (Besquerel) 96  
Белоусов В. В. 150, 229, 230, 231, 294, 354  
Беммелен, ван (van Bemmelen) 150, 230, 231  
Бентли (Bentley) 373  
Бентц (Bentz) 253  
Беньофф (Benioff) 298, 314, 402  
Бергман (Bergman) 67  
Беркли (Berkeley) 391  
Беурлен (Beurlen) 117  
Бик Чинчан (Big Ching chang) 298  
Бируни (Ahmad al-Biruni) 28  
Блендфорд (Blendford) 88, 119  
Блинов В. Ф. 157, 215, 357, 380  
Блэкетт (Blackett) 127, 389  
Боголепов М. А. 117, 159, 299
- Болтвуд (Boltwood) 97  
Бом (Bohm) 390, 394  
Бомбиччи (Bombicci) 229  
Бомон, де (de Beaumont) 80, 228  
Бонарелли (Bonarelli) 230  
Бонди (Bondi) 372, 374  
Браге, Тихо (Brahe, Tycho) 28, 39, 79  
Браун (Brown) 213  
Брейслак (Breislak) 65, 71  
Бреске (Brösske) 160, 166  
Броньяр (Brongniart) 58, 65  
Бруно, Джордано (Bruno, Giordano) 29  
Бруншвейлер (Brunnschweiler) 139  
Брюнес (Brunhes) 144  
Буге (Bouger) 42, 43, 44, 158  
Буллард (Bullard) 80, 125  
Бух, фон (von Buch) 64, 65, 69, 72, 76, 80, 85, 87, 97, 400  
Бухер (Bucher) 296  
Выханов Е. В. 6  
Бэкон Р. (Bacon R.) 28  
Бэкон Ф. (Bacon F.) 108  
Бюффон, де (Buffon, de) 64, 67, 78, 93, 109
- Вадиа (Wadia) 117  
Вайн (Vine) 146, 147  
Вакье (Vacquier) 145  
Валлиер (Vallier) 201, 208  
Вальцер (Walzer) 294  
Ван Хайз (Van Hise) 245  
Вебер (Weber) 430  
Вегенер (Wegener) 6, 7, 11, 13, 96, 108, 109, 113—115, 117, 125, 129, 159, 176, 177, 285, 420  
Вегманн (Wegmann) 140, 230  
Вейл (Vail) 216  
Венец (Venetz) 86, 87  
Венинг-Мейнес (Vening Meinesz) 121  
Вернер (Werner) 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 84, 109  
Веселов Б. И. 357  
Веттштейн (Wettstein) 109, 110  
Вецель (Wezel) 259, 281  
Войзи (Voisey) 139  
Вольф (Wolf) 50



- Вуд (Wood) 196  
Вудхаус (Woodhouse) 294, 295
- Галилей, Галилео (Galileo Galilei) 29  
Галлей (Halley) 47, 48  
Гамов (Gamow) 360  
Ганссер (Gansser) 202, 204, 272, 273  
Гастил (Gastil) 340  
Гейбриелс (Gabrielse) 319  
Гейки (Geikie) 69, 70, 75, 76, 94, 96  
Геккель (Haeckel) 25  
Гексли (Huxley) 96, 103, 106  
Геллер (Geller, Margaret) 369  
Геллибранд (Gellibrand) 47  
Гельмгольц (Helmholtz) 92, 98  
Гельмерт (Helmert) 115  
Геродот (Herodotus) 53, 78, 90  
Гершель (Herschel) 229  
Гесиод (Hesiod) 23  
Геттар (Guettard) 72  
Геттон (Hutton) 64—66, 70, 73—81, 82, 86, 91, 233  
Гильберт (Gilbert) 46, 48  
Гиппарх (Hipparchus) 34—36  
Гликсон (Gliksion) 184—186, 195  
Голд (Gold) 374  
Гоф (Gough) 127  
Грахт, ван дер (Gracht, van der) 117  
Гретенер (Gretener) 80  
Григгс (Griggs) 121  
Грин (Green) 6, 109, 142, 158  
Гриноу (Greenough) 65, 87  
Груббер (Groeber) 166  
Грэм (Graham) 127  
Гук (Hooke) 17, 56, 59, 78, 155, 391  
Гумбольдт, фон (Humboldt, von) 65, 69, 72, 80, 87, 109, 415  
Гутенберг (Gutenberg) 115, 116, 126
- Давид (David) 144  
Дакиль (Dachille) 355  
Далмейрак (Dalmayrac) 346  
Далримпл (Dalrymple) 99  
Даль Пьяц (Dal Piaz) 230  
Дарвин Дж. (Darwin G.) 110, 115  
Дарвин Ч. (Darwin Ch.) 17, 60, 62, 65, 80, 82, 87, 91  
Даттон (Dutton) 414  
Девис (Davis) 420  
Декарт (Descartes) 31, 47, 92  
Делесс (Delesse) 126  
Демаре (Desmarest) 65, 72  
Демокрит (Democritus) 23  
Деннис (Dennis) 153  
Дернли (Dearnley) 169, 299
- Джейгер (Jaeger) 127, 139  
Джеймисон (Jameson) 65, 77  
Джеффрис (Jeffreys) 13, 97, 103, 105, 115, 122, 123, 358  
Джиллиленд (Gilliland) 299  
Джинс (Jeans) 377  
Джולי (Joly) 95  
Джонстон (Johnston) 180  
Дзевонски (Dziewonski) 299  
Диббли (Dibblee) 302  
Дикинз (Dickins) 139, 181  
Дикке (Dicke) 162, 165, 356  
Дирак (Dirac) 161, 356, 360 380  
Дитц (Dietz) 174, 177, 190  
д'Обюиссон (d'Aubuisson) 64, 65, 69, 72  
Донг Рионг Чой (Dong Ryong Choi) 345  
д'Орбиньи (d'Orbigny) 80  
Дрейсон (Drayson) 6, 158  
Дэли (Daly) 116, 117  
Дэна (Dana) 29, 139, 229  
Дю Тойт (Du Toit) 6, 117, 118, 119, 125
- Жардецкий (Jardetzky) 299
- Зенон (Зено) 32, 97  
Зоненштайн Л. П. 267  
Зюсс (Suess) 335, 428
- Ибн Сина (Ibn-Sina) см. Авиценна  
Иваненко Д. Д. 356  
Ирвинг (Irving) 127, 139, 320  
Итикава (Ichikawa) 345  
Итон (Eaton) 65  
Итурральде-Винент (Iturralde-Vinent) 306, 309
- Йокш (Joksch) 168  
Йордан (Jordan) 356
- Кавендиш (Cavendish) 105  
Калдерон (Calderone) 327  
Каллип (Callipus) 35  
Кассини Д. (Cassini G.) 40  
Кассини Ж. (Cassini J.) 41, 42, 44, 158  
Кастер (Caster) 139  
Кац (Katz) 200  
Кейндль (Keindl) 117, 161, 215  
Кельвин (Kelvin) 80, 83, 92, 93, 94.

- 97, 101, 105, 106  
 Кеннеди (Kennedy) 302  
 Кидд (Kidd) 84  
 Кинг (King) 94, 117, 119, 139, 184, 270, 341, 342  
 Кирван (Kirwan) 65  
 Кириллов И. Б. 157, 215, 357, 380  
 Клеро (Clairaut) 42  
 Клюб (Clube) 355  
 Кокс (Cox) 320  
 Коксуэрти (Coxworthy) 110  
 Кольберг (Colberg) 110  
 Коннбер (Conybeare) 83, 84  
 Коперник (Copernicus) 29, 39  
 Косма (Cosmas) 26, 27  
 Красилов В. А. 346  
 Краус (Kraus) 427  
 Кребс (Krebs) 213, 214  
 Крейхгауэр (Kreichgauer) 110  
 Крир (Creer) 160, 167  
 Кришнан (Krishnan) 117, 143  
 Кролл (Croll) 94  
 Кропоткин П. Н. 82, 88, 166, 354  
 Кроуфорд (Crawford) 184, 329  
 Крук (Crook) 186, 195  
 Ксенофан (Xenophanes) 53  
 Кун Б. (Kuhn B.) 86, 229  
 Кун Т. (Kuhn T.) 142  
 Кювье (Cuvier) 58, 59, 60, 61, 64, 65, 78, 79, 80, 82, 84  
 Кюри (Curie) 97
- Лавуазье (Lavoisier) 156  
 Лайель (Lyell) 64, 65, 77, 78, 79, 80, 82, 87, 91, 96, 407, 408, 418, 419, 421  
 Лактанциус (Lactantius) 26  
 Лактидур (Lactidurus) 31  
 Ламарк (Lamarck) 59, 60, 61, 62, 80  
 Лаплас (Laplace) 389  
 Лаппаран, де (Lapparent, de) 369  
 Ларсон (Larson) 181  
 Лауэ (Laue) 390  
 Лейбниц (Leibnitz) 93  
 Лейтс (Leith) 245  
 Леманн (Lehmann) 67, 68  
 Леметр (Lemaître) 360  
 Леонардо да Винчи (Leonardo da Vinci) 17  
 Лепехин И. И. 85  
 Летавин А. И. 157, 166  
 Линдемманн (Lindemann) 117, 159, 215  
 Линней (Linnaeus) 61, 80  
 Лис (Lees) 124, 148, 250  
 Ломоносов М. В. 64, 79
- Лонгвелл (Longwell) 139  
 Лоумен-мл. (Lowman) 295  
 Люк, де (Luc, de) 29, 85  
 Лютер (Luther) 29
- Маак (Maack) 117, 127, 139  
 Майе, де (Maillet, de) 64, 67  
 Майерс (Myers) 355  
 Мак-Доно (McDonough) 381  
 Макдоуэлл (McDowall) 252  
 Макдугалл (McDougall) 99  
 Макелинни (McElhinny) 174, 184, 218, 329  
 Макин (Maskin) 106  
 Макрей (McRea) 360, 377  
 Маклур (Maclure) 65  
 Мантовани (Mantovani) 109, 111, 199  
 Мар-Иштар (Mar-Istar) 35  
 Маркл (Markl) 181  
 Мах (Mach) 371  
 Мезерви (Meservey) 169, 170  
 Мейерхофф (Meyerhoff) 183  
 Мейсон (Mason) 146  
 Меллони (Melloni) 126  
 Меркanton (Mercanton) 126  
 Метерье, де ла (Méthérie, de la) 65  
 Меллер (Møller) 370  
 Миланкович (Milankovitch) 115  
 Милановский Е. Е. 157, 166, 170, 354  
 Митчем (Mitchum) 216  
 Миябэ (Miyabe) 290  
 Морли (Morley) 146  
 Моро (Moro) 67  
 Моррис (Morris) 207, 208  
 Мохоровичич (Mohorovičić) 265  
 Мурчисон (Murchison) 65, 87, 426  
 Мэтьюз (Matthews) 146, 151  
 Мюльбергер (Muehlberger) 255, 327
- Напье (Napier) 355  
 Науман (Naumann) 229  
 Невин (Nevin) 247  
 Нейман В. Б. 157, 215, 357, 380  
 Нелсон (Nelson) 299  
 Ньюком (Newcomb) 93  
 Ньютон (Newton) 105, 231, 373
- Оллиер (Ollier) 255, 257  
 Ольберс (Olbers) 363, 364  
 Оуэн Р. (Owen R.) 109  
 Оуэн Х. (Owen H.) 170, 189, 195

- Паркер (Parker) 252  
 Паркинсон (Parkinson) 192, 193, 386, 387  
 Парменид (Parmenides) 31  
 Пато (Pautot) 282  
 Пауэлл (Powell) 247  
 Пейн (Pain) 255, 257  
 Пекерис (Pekeris) 121  
 Пензиас (Penzias) 362  
 Перри (Perry) 183, 190, 195, 293, 295, 351  
 Перроден (Perraudin) 86  
 Пигрем (Pigram) 305, 330  
 Пикеринг (Pickering) 109, 110  
 Пифагор (Pythagoras) 26, 31, 32, 101, 102, 105  
 Пласе (Placet) 109  
 Платон (Plato) 78  
 Плейфер (Playfair) 65, 66, 79, 85, 91  
 Плиний Старший (Pliny the Elder) 32, 70  
 Прайс (Price) 341  
 Птолемей (Ptolemy) 37, 187
- Рамберг (Ramberg) 150, 229, 230  
 Рамсей (Ramsay) 88  
 Ранкорн (Runcorn) 121, 127  
 Рафф (Raff) 145  
 Резерфорд (Rutherford) 97  
 Рейер (Reyer) 229, 230, 231  
 Рейнольдс (Reynolds) 236  
 Реусс (Reuss) 65  
 Рид (Reade) 94  
 Роджерс (Rodgers) 140  
 Росс (Ross) 268  
 Руби (Rubey) 215  
 Рэлей (Rayleigh) 97
- Сагитов Р. М. 356  
 Седжвик (Sedgwick) 84, 85, 403  
 Сен-Аман (St. Amand) 298  
 Симпсон (Simpson) 122, 399  
 Синьорини (Signorini) 230  
 Сирз (Sears) 341  
 Ситтер, де (de Sitter) 373  
 Скроуп (Scrope) 229  
 Смит (Smith) 59, 88  
 Снайдер-Пеллегрини (Snider-Pellegrini) 109  
 Содди (Soddy) 97  
 Соссюр, де (de Saussure) 85, 86  
 Стайнер (Steiner) 166, 354  
 Стайт (Stait) 180  
 Стено (Стенон, Стенсен) (Steno, Stenson) 56, 67, 104  
 Стивенсон (Stevenson) 208
- Стотерс (Stothers) 376—378  
 Страхов Н. М. 163, 215  
 Стретт (Strutt) *см.* Рэлей  
 Стюарт (Stewart) 356  
 Супанджоно (Supandjono) 305  
 Сычев П. М. 213  
 Сьюард (Seward) 117
- Таннер (Tanner) 200, 212, 280, 299, 309  
 Тейлор (Taylor) 109, 111  
 Тейхерт (Teichert) 183  
 Теллиамед (Telliamed) *см.* Майе, де  
 Темпл (Temple) 299  
 Теоболд (Theobald) 88  
 Термье (Termier) 215  
 Тициус (Titius) 381  
 Томас (Thomas) 139, 181, 299  
 Томсон (Thomson) *см.* Кельвин  
 Трайон (Tryon) 360, 370, 384  
 Трапезников Ю. А. 166
- Уайз (Wise) 317, 399  
 Уиллис (Willis) 229, 247  
 Уилсон Дж. Т. (Wilson J. T.) 151—154, 164, 165, 429, 430  
 Уилсон Р. (Wilson R.) 173, 174, 362  
 Уилсон Х. (Wilson H.) 213  
 Уильямс (Williams) 325  
 Умбргове (Umbrgove) 330  
 Уоллес (Wallace) 65, 430  
 Уорринг (Warring) 109  
 Уотерхаус (Waterhouse) 169, 334, 346
- Ферстер (Förster) 115  
 Фиттон (Fitton) 73  
 Фихтель (Fichtel) 65  
 Фишер (Fisher) 105, 109, 110, 121  
 Фогель (Vogel) 160, 195, 291, 292, 293, 295  
 Фойгт (Voigt) 72, 73  
 Фольгерхайтер (Folgerhaiter) 126  
 Фортис (Fortis) 65  
 Фракасторо (Fracastoro) 35  
 Фридман (Friedmann) 360, 380  
 Фудзивара (Fujiwara) 298  
 Фэрбридж (Fairbridge) 167, 212  
 Фюксель (Füchsel) 67, 68, 79
- Хаарманн (Haarmann) 230  
 Хаббл (Hubble) 357—359, 365—369  
 Хайн В. Е. 10, 166, 354  
 Хатертон (Hatherton) 212

- Хейзен (Heezen) 143, 164  
 Хейл (Haile) 329  
 Хейлс (Hales) 127  
 Хесс (Hess) 14, 121  
 Хилл (Hill) 302  
 Хиллс (Hills) 247  
 Хильгенберг (Hilgenberg) 117, 160, 215, 357  
 Хойл (Hoyle) 374  
 Холден (Holden) 174, 190  
 Холл (Hall) 64, 65, 66, 74, 79, 228, 229  
 Холлер (Haller) 256  
 Холм (Halm) 117, 160, 215  
 Холмс (Holmes) 98, 100, 116, 121, 168, 286  
 Хосперс (Hospers) 145  
 Хоутон (Haughton) 95  
 Христоулидис (Christodoulidis) 195  
 Хухра (Huchra) 369  
 Хьюэлл (Whewell) 78, 88  
 Хэллем (Hallam) 323
- Циттель (Zittel) 19
- Чандлер (Chandler) 93  
 Чаовень Чин (Chao-Wen Chin) 378, 383  
 Чемберлин (Chamberlin) 96, 107  
 Чемберс (Chambers) 25  
 Чирич (Ćirić) 380
- Шардт (Schardt) 229  
 Шарп (Sharp) 258  
 Шарпантье (Charpentier) 86, 87  
 Шварц (Schwarz) 110
- Шеферд (Shepherd) 269  
 Шилдс (Shields) 347  
 Шимпер (Schimper) 87  
 Шлотейм, фон (Schlotheim, von) 65  
 Шмидт (Schmidt) 291, 292, 295  
 Шнейдеров (Schneiderov) 354  
 Шолл (Scholl) 201, 208, 213  
 Штауб (Staub) 116, 121  
 Штейнманн (Steinmann) 230  
 Штеклин (Stöcklin) 203  
 Шухерт (Schuchert) 83, 139
- Эванс (Evans) 117, 139  
 Эвдокс Книдский (Eudoxus of Cnidus) 35  
 Эверест (Everest) 45, 23, 414  
 Эвернден (Evernden) 99  
 Эддингтон (Eddington) 360, 380  
 Эдьед (Egyed) 117, 163, 214  
 Эйджер (Ager) 81, 196, 336  
 Эйлер (Euler) 93, 349, 408  
 Эйнштейн (Einstein) 30, 370, 371  
 Эллистон (Elliston) 75, 76, 262  
 Элтон (Elton) 169, 380  
 Эмблтон (Embleton) 291, 292, 295  
 Эмилиани (Emiliani) 90  
 Эпик (Öpik) 139  
 Эратосфен (Eratosthenes) 26, 32, 33, 38, 102, 105, 187  
 Эренспергер (Ehrensperger) 380  
 Эри (Airy) 231, 232
- Юги (Hugi) 86  
 Юинг (Ewing) 327
- Янг (Young) 109  
 Янковский И. О. 6, 9, 157, 357

# Предметный указатель

- Австралия** 283, 317, 333, 346, 348, 355  
миграция сумчатых 347  
положение относительно Индии 115, 181—183, 274, 322  
— — Южной Америки 194, 346—348  
смещение относительно Азии 115, 180, 181, 305, 322, 348  
— — Китая 175, 177, 305, 310, 311, 333, 349  
фауна 180, 347
- Адсорбция и десорбция** 76
- Азия** 299, 314, 344  
Восточная 317, 321, 323  
задуговые бассейны (малые моря) см. Дизъюнктивные моря  
орогенические дуги 280—282  
палеогеографические связи с Америкой 345, 346  
правостороннее кручение 322  
связь с Гондваной 184
- Юго-Восточная** 177, 179, 346  
реконструкция для мелового времени 328—330  
тектоника 323, 324
- Аккреция** 355, 380
- Актуализм** 64, 79, 400
- Алмаз** 355, 356
- Альпы** 270, 272, 309  
Гельветские покровы 129, 272  
диапиризм 230, 355  
доальпийский фундамент 272  
Зона Ивреа 272  
корни 257  
ледниковый аналог 257—259  
миф о коллизионном сокращении 130, 264, 309  
оледенение 86  
орогенические структуры 118, 229, 272, 309  
расширение коры 258  
связь с Тетисом 309, 336  
течение 257—259
- Аляска** 113, 177, 334  
ороклин 131—134, 136, 316  
течение в леднике Маласпина 257—259
- Андезитовая линия** 178, 303, 305, 348
- Андезитовые вулканы** 149, 202, 212, 259  
связь с зоной *Беньоффа* 149, 276
- Андезиты** 284, 400
- Анды**  
корни 43  
мнимая субдукция 199, 200  
положение в среднем палеозое 346  
широтное растяжение 200, 211
- Антарктида** 49, 111, 179, 232, 283, 296, 314, 317  
отсутствие субдукции 198, 199  
положение относительно Индии и Австралии 115, 177, 181—184, 193, 310, 311, 346, 348  
связь с Южной Америкой 346, 347
- Антивещество** 384, 386
- Апеннины** 230, 309
- Аппалачи** 229, 270, 343  
аналог Тетиса 337—339  
диапиризм 270—272  
левостороннее смещение 206, 338  
орогенез 165, 205, 229, 270—272, 283  
осадочные конусы 270—272  
экваториальное положение 343, 352
- Аравия** 184, 311, 316
- Арктика** 131, 133, 134, 136, 171, 175, 316
- Арктический парадокс** 170, 173, 195
- Архей** 401  
зеленокаменные пояса 186  
«исчезнувшая кора» 184—186, 195  
модель эволюции 343
- Археофиджия** 346
- Асимметрия**  
Земли 167, 168, 226, 315  
Марса 345  
орогенеза 269, 280, 347  
расширения 226, 346—348
- Астенолит** 214, 401
- Астеносфера** 299, 314, 344
- Астероиды** 238, 378, 381, 382  
столкновение с Землей 301, 343, 355
- Астроблома** 238, 401, 403, 427
- Атлантида** 109
- Атлантический океан** 175, 198, 202, 204, 316, 336  
компьютерная модель 293, 327

- миф о Япетусе 204—208  
 подобие берегов 108, 115, 116, 123, 179, 189  
 происхождение и история 110, 111, 165, 205, 283, 336, 343  
 расширение 113, 193, 197, 282  
 соотношение с Аляскинским ороклином 133  
 тройное сочленение 198, 199  
 Афганистан 181, 183, 274, 275  
 Африка 127, 296, 314, 317  
 каледонская орогенез 205, 283  
 ордовикское оледенение 205, 208  
 отсутствие субдукции 198, 201  
 полигоны 264, 287  
 радиальное перемещение 292  
 рифтовые долины 136, 151, 197, 198, 281, 282  
 связи с Америкой 116, 122, 177, 179, 189, 205, 304, 306  
 — с Индией 181, 184  
 смещение относительно Европы 304, 333  
 Базальт 70, 301, 355, 401  
 взгляды непунистов 68, 71, 72  
 — плутонистов 70, 72, 73  
 в районе океанических хребтов 146, 151, 222, 284, 318, 319  
 Батолит 268  
 Безразмерные числа 161, 236, 372  
 Белые карлики 161, 355, 430  
 Бенъоффа зона 149, 222, 224, 253, 259, 260, 275—284, 402, 429  
 Бериллия изотоп  $^{10}\text{Be}$  222  
 Блуждание полюсов *см.* Полюсов миграция  
 Большие круги 194, 315, 412  
 Большое Схлопывание 375  
 Большой Взрыв 9, 16, 23, 360, 361, 362, 375, 398, 402, 423  
 Буге аномалии 43  
 Будины, будинаж 244, 257, 402  
 Булларда реконструкция 125, 190, 304, 327  
 Вайна — Мэтьюза модель магнитных инверсий 146, 151  
 Венера 35, 37, 39, 225, 381, 382, 394  
 Вертикальная тектоника 214, 229—231  
 Вест-Индия 179, 304, 314, 325—327  
 Водород 362, 378, 379, 389  
 Восточно-Тихоокеанское поднятие 194, 201  
 Вращение 135, 300, 343, 349—351, 425  
 глобальное 337, 339  
 дифференциальное 49, 297—300  
 космическое 388  
 по Эйлеру 349, 408  
 Вселенная 224, 374, 405, 430  
 масса 161, 164, 357, 360, 361, 375, 377, 378, 380  
 нулевая 15, 360, 369—375, 383, 386  
 познаваемая 368, 372, 375, 376  
 происхождение 30, 359—362  
 расширение 161, 357, 359, 375  
 стационарная 362, 374—376, 380, 383  
 Вулканизм 70—72, 151, 352  
 Вязкость 121, 232, 236, 239, 250, 263, 277, 365, 366  
 Габбро 151, 266, 288, 410  
 Гавайи 191—195, 316, 352  
 Гавайский подводный хребет 349, 352  
 Гайоты 151, 412  
 Галактика 166, 358, 368, 394, 395  
 Галактики 233, 360, 374, 376, 410  
 вращение 389  
 разбегание 359, 363, 364, 369, 373, 375, 383, 389  
 распределение 367—369  
 эволюция 380—384  
 Гели и золи 75, 76, 424, 426, 428  
 Геоид 45, 298, 311, 410  
 Геология  
 отличие от других наук 103—107  
 роль чисел 101—107  
 Геомангнитное поле 45—50  
 вариации 47, 48  
 западный дрейф 49, 226  
 инверсии 50, 144, 156  
 источник 50  
 Геосинклинали 150, 186, 233, 267, 268, 410  
 Гидратация и дегидратация 76  
 Гималаи  
 изостазия 231  
 корни 275  
 орогенез 111, 118, 127, 203, 229, 272—275, 322, 355  
 палеогеография 202, 336  
 происхождение, не связанное со столкновением 202—204, 212, 336  
 Гиперобъем 368, 369, 383  
 Глобусы разных размеров 160, 167, 291  
 Глубоководные желоба  
 Алеутский 149, 210, 316, 320, 349

- как структуры растяжения 150, 167, 200, 212—214  
 Кермадек 149, 201, 212, 348  
 нереальность субдукции 200, 201, 211  
 Перуанско-Чилийский 198—202, 211  
 плитотектоническая модель 149  
 Японский 202  
 Гнейс 254, 269, 411  
 Гнейсовые купола 255—257, 277, 411  
 Голубые сланцы 106, 223, 402  
 Гондвана 118, 119, 125, 184, 336, 411  
 Горячая точка 352  
 Гравитационная постоянная 83, 161, 165, 166, 356, 383, 412  
 Гравитационное поле 43, 266, 311, 312  
 Гравитационные аномалии *см.* Сила тяжести, аномалии  
 — волны 352  
 Градуализм 79, 82  
 Граниты 68, 70, 263, 268, 411  
 в ядрах орогенов 268, 269, 284, 306  
 орбикулярные 75  
 происхождение 73—76  
 рапакиви 75  
 фундамент 68, 72, 73  
 Гранулит 269, 411  
 Гаука закон 365
- Дарвина* плита 286, 295  
 Деформация 244  
 вязкоупругая 366  
 пластическая 231, 233, 236, 365  
 упругая 231, 236, 365  
 Диapiroны 150, 159, 214, 224, 248—260, 262, 280, 282, 406  
 асимметрия 280, 282, 298  
 в зонах растяжения 251, 259, 280  
 связь с зоной *Беньоффа* 276, 278  
 соляные 230, 278, 282, 340  
 тектонические 259  
 Диастемы 81  
 Дизъюнктивные моря 175, 260, 280—282, 322, 348  
 Дилатация 137  
 Дилювиальная гипотеза 83, 84, 406  
 Дирака гипотеза 161  
 Дирекционализм *см.* Направленность процессов  
 Доплера эффект *см.* Красное смещение  
 Дрейф материков 108, 113, 141, 164, 220, 295  
 защитники 110, 111, 115—118, 125, 139  
 картографические ошибки 189
- объяснение расширением Земли 126, 159—164, 292  
 предложенный механизм 120—122  
 противники 110, 115, 117, 122—124, 139  
 центры максимального и минимального расхождения 316
- Евразия 164, 203  
 Европа 130, 217, 264, 314  
 нереальность столкновения с Африкой 306, 309, 333  
 оледенение 89  
 ороклины 129, 309
- Железо 50, 378, 379
- Землетрясения  
 индикатор температур в недрах 294, 295  
 на границах полигонов 288  
 связь с зоной *Беньоффа* 275, 276, 278  
 Земля 381, 382  
 возраст 90—101, 155, 158  
 замедление вращения 93, 159, 220  
 измерение длины градуса (и диаметра) 32—34, 40—43, 158, 172, 193  
 как центр Вселенной 34—37, 392  
 масса 105, 150, 161, 164, 356, 357  
 момент инерции 214, 221, 226, 298, 311, 315, 418  
 наклон оси вращения 225, 226, 301, 323  
 неоднородность 285—288  
 фигура 44, 45, 409  
 форма 31, 32, 40—45, 231, 311  
 эволюция 343, 344, 351  
 Земля — Луна — Солнце (система) 83  
 Земная кора 407  
 материковая 143, 268  
 океаническая 268, 281, 312, 316, 348, 350  
 растяжение 227  
 сжатие 227, 240, 251, 255  
 Земное ядро 48, 49, 226, 355  
 Зияния 189, 195, 330, 336  
 искусственность идеи 179—181  
 между Австралией и Азией 164, 175, 177, 179, 305  
 — Индией и Афганистаном — Тибетом 183

- Изостазия 43, 111, 138, 239, 413  
 в орогеническом цикле 260—262  
 временные масштабы 235—239  
 в рифтовых долинах 136—138  
 открытие в Гималаях 231
- Индийский океан 181, 204  
 происхождение 110, 175, 336, 346  
 разрастание 203  
 — полигон 264
- Индия 194, 203, 305, 317, 322, 347  
 нереальность столкновения с Азией 309  
 палеогеографическая загадка 181—184, 195  
 повороты 135  
 связи с Австралией 115, 181—183  
 — с Евразией 181, 183, 203  
 смещение относительно Китая 333
- Индонезия 127, 179, 180, 264, 305, 309, 329, 347
- Иран 181, 183, 274
- ИСДБ 190
- Каледонская орогенія 165, 205, 283, 343  
 аналог Тетиса 337—339  
 диапиризм 230, 256  
 левостороннее смещение 207, 337  
 повороты 337  
 экваториальное положение 343, 352
- Картографические проекции 187—189  
 азимутальные 187  
 Аитова 174, 176, 188  
 гномоническая 187, 188  
 конические 188, 189  
 Меркатора 187—189, 315  
 Мольвейде 187, 188  
 ортографическая 187, 188  
 равновеликая 187, 188  
 синусоидальная 188  
 стереографические 115, 175, 176, 187, 427  
 цилиндрические 189
- Катастрофизм 62, 65, 78—80, 82, 403
- Квантовые флуктуации 361, 362, 376—378, 384, 386, 423
- Кварц 288, 355
- Кеплера законы 40, 365
- Китай 328  
 кручение 321  
 положение относительно Австралии 175, 177, 184, 305, 310, 311, 333  
 фауна 123, 180, 183, 347
- Кливаж 104, 120, 403
- Климатические зоны 323, 325
- Клипп 273, 274, 415
- Колебания полюса 226, 431
- Коллоиды 76, 403, 426, 428
- Конвекция внутри Земли 110, 119—122, 169, 227, 404  
 в расширяющейся Земле 122  
 в соляном куполе 250, 251  
 и дрейф континентов 119, 121, 125  
 причина 120  
 роль вязкости и жесткости 121  
 эффект фазовых превращений 122, 168
- Контракционная теория 148, 163, 229, 285, 354
- Конус выноса Зодиак 208—212, 321
- Кордильеры 404  
 в протерозое 283, 337—339  
 вращение в кембрийское время 343  
 геосинклиналь 340, 342, 343  
 зарождение Тихого океана 340—344, 352  
 трансихоокеанские фаунистические связи и эволюция в перми и позже 345—347  
 экваториальное положение 339, 343, 344, 352
- Кориолиса эффект 298, 404
- Корни гор 43, 257, 264—268
- Космологическая постоянная 368
- Космологический принцип 374, 405  
 совершенный 374, 384, 405
- Космос 368, 374, 405, 430
- Коэсит 288, 355, 403
- Красное смещение 363, 423
- Кремнезем 288, 403
- Кремний 395
- Крикогены 259, 272, 282, 348, 415
- Кручение 296, 429. *См. также* Тетическое кручение, Циркумтихоокеанское кручение  
 глобальное 159, 325—330, 339  
 левостороннее 109, 302—306, 312, 325, 427  
 правостороннее 179, 302—304, 314, 325, 406  
 причина 311, 315  
 связь с разрастающимися хребтами 333
- Куба 306, 308
- Кюри точка 50, 146—148, 170, 267, 405
- Лавразия 118, 125, 143, 415
- Лазерная интерферометрия 190
- Ларамийская орогенія 320
- Лед как геологический агент 83, 85
- Ледниковые эпохи 87—90, 260, 413



- Ледниковый дрейф 85, 87  
 Лемурское сжатие 175  
 Линейность 236, 263, 415  
 Линии роста кораллов 220  
 Литосфера 144, 199, 264, 415  
   эволюция 288, 294, 298, 335—353  
 Луна 34, 35, 39, 225, 226  
   захват Землей 111  
   отрыв от Земли 82, 110, 113, 115  
   приливное вздутие 36, 231, 300  
   фигура 226
- Магнетизм** 45. *См. также* Геомагнитное поле  
**Магнитное наклонение** 46, 47  
 — наклонение 46—49, 416  
**Магнитные аномалии** (полосовые) 146, 147, 151, 181, 209, 267  
*Максвелла* уравнение 366  
**Малайзия** 123, 180, 184, 305, 329  
**Мантия Земли** 226, 286, 294—301, 416  
**Марс** 35  
   огромная рифтовая зона 224, 337  
   размеры орбиты 365, 366, 381, 382  
   сравнение с Землей в протерозое 343, 345  
**Масса** 360, 375  
   гравитационная 370, 398, 412  
   инертная 370—372, 391, 398, 413, 416  
   и энергия 360, 369—373, 383, 388—392, 398  
**Масштабы процессов** 103, 232—239, 358  
**Материки**  
   общее расхождение 316, 317  
   радиальное движение от центра 295  
   спаянность с мантией 294—295  
   сползание на запад 298, 312  
**Материковое полушарие** 302, 314, 315  
**Материя** 360, 375—380, 383, 385, 389, 398  
**Материя-энергия** 360, 386  
*Маха* принцип 162, 371, 391, 416  
**Мегасдвиг** 12, 129, 153, 238, 274, 275, 323, 417  
**Меланж** 275, 417  
**Меркурий** 35, 39, 224, 343, 382, 394  
**Мигматиты** 256, 269, 277, 417  
**Минимального разброса метод** 217—219  
**Миогеосинклинали** 261—265, 273, 274, 306, 410  
**Мохо** 265, 267, 418
- Надвиги** 148, 229, 278, 279, 429  
   в зоне соляного купола 251  
   в орогенической зоне 263, 273  
**Направленность процессов** 80, 83  
**Напряжения** 365  
   разность 223, 224, 231, 278, 427  
   релаксация 136, 231  
**Нейтронные звезды** 355, 419  
**Неопределенности принцип** 361, 362  
**Нептун** 225, 381, 382  
**Нептунизм** 65—71, 419  
**Новая Гвинея** 19, 142, 175  
   землетрясение 81  
   связь с Тетисом 202, 336  
   тектоника 127, 304, 305, 309, 334, 349  
   фауна 180, 347  
**Новая глобальная тектоника** 143, 148  
**Новая Зеландия** 111, 123, 175  
   альпийский разлом 314, 322, 334  
   связь с Австралией 201, 334, 348  
   — с Тетисом 202, 334  
**Нутация** 82, 220, 417  
*Ньютона* закон тяготения 36, 40, 105, 233, 365—367, 373  
*Ньютона* — *Хаббла* объединенный закон 366, 367, 373, 383, 398  
 — — нуль 367, 368, 375, 376, 380
- Окаменелости** 51—63, 123, 170, 378, 410  
**Океаническое дно** 193, 211, 348, 352  
**Океанское полушарие** 304, 314, 315  
**Океаны**  
   вековое изменение площади 163  
   возраст 143, 146, 167, 211, 353  
   глубина 151  
   осадки 151, 200, 212  
   происхождение 161, 168, 215  
   смещение на восток 298, 312  
**Оледенения** *см.* Ледниковые эпохи  
*Ольберса* окно 364, 368  
 — парадокс 363  
**Орбикулы** 75  
**Орогенез** 7, 111, 186, 277, 418, 420  
   асимметрия 269, 282  
   диапиризм 150, 271, 276—279, 282, 289, 355  
   осевая зона 277, 278, 280, 306  
   растяжение (не сжатие) коры и мантии 227, 229, 260, 265  
   рост скорости 269, 275  
   сравнение со срединно-океаническими хребтами 227, 266—269, 283  
   циклы 269, 280, 354

- Ороклины 12, 127—135, 238, 305, 420  
и повороты блоков 135  
определение 130  
с лево- и правосторонними смеще-  
ниями 305, 317, 319, 322
- Оротаты 328, 420
- Осадконакопления законы 56, 81
- Остаточная намагниченность 126, 146
- Ост-Индия 179, 304, 314, 325, 328, 330
- Островные дуги 111, 213, 268, 280—  
282
- Офиолиты 186, 270, 419  
в Гималаях 273—275  
отсутствие в протерозое 186, 195
- Ошибки геометрических построений  
189, 218
- Палеоклимат 114, 323, 325
- Палеомагнетизм 126, 217  
инверсии полярности 144—148, 210  
и палеополюсы 172, 212  
и радиус Земли 217—219  
и сближение материков в Арктике  
171  
и тектоника 319  
подтверждение Гондваны и Пангеи  
126, 127, 143
- Палеонтология 25, 51, 114, 171, 181
- Палеополюсов парадокс 172
- Пангея 110, 113, 119, 130, 143, 177—  
180, 182—184, 225, 283, 315, 420  
реконструкция *Вегенера* 176  
— *Дитца* и *Холдена* 176, 190  
— *Кэри* 164, 176, 180  
— *Перри* 190, 293
- Параллакс 39, 420
- Паркинсона* рационализация 192, 193,  
293, 374, 386—388, 398
- Первоатом 359
- Перводвигатель 35, 46
- Первопричина (первоначало) 360
- Планеты 34—37, 224, 225  
асимметричное расширение 225  
наклоны осей 225, 226  
эволюция 225, 379—384
- «*Платона* проблема» 35
- Плутон 381, 382
- Плутонизм 65, 70—72, 77, 422
- Полевой шпат 256, 288, 355, 409
- Ползучесть 136
- Полигоны, связанные с расширением  
264, 268, 285, 299  
иерархия 219, 285—290, 298  
радиальное движение от центра  
291—293, 335
- Полюсов миграция 110, 292, 299, 316,  
358, 422
- Пороги физических свойств 225, 233—  
236
- Предварение равноденствий 34, 35.  
*См. также* Прецессия
- Прецессия 35, 36, 49, 297  
дифференциальная 49—50, 297—299
- Приливное трение 220, 226, 429
- Причины расширения Земли  
аккреция вещества метеоритов 355  
космические 157, 161, 162, 166, 168,  
357  
тепловое расширение под действи-  
ем радиоактивности 160, 169  
убывание гравитационной постоян-  
ной со временем 162, 166, 168,  
356  
фазовые изменения 162, 168, 355,  
356  
цикличность и пульсации орогенеза  
166, 354
- Провинциальности индекс 106
- Протерозой 185, 224, 289, 292, 343,  
422
- Гренвилльский фронт 206  
отсутствие офиолитов и флиша 186  
предшественник Тетиса 337
- Пульсации Земли 10, 82, 157, 166, 354,  
423
- Радиоактивность 96—100, 121
- Радиоактивные часы 98
- Радиуса измерение (НАСА) 191—195
- Разломы 409  
надвиги *см.* Надвиги  
растяжения (сбросы) 279, 280  
скальвания (сдвиги) 153—155, 279,  
429  
трансформные 151, 333, 429
- Размерность 366, 372, 386—389, 406
- Разрастание океанического дна 7,  
136—139  
асимметрия 154, 226, 282, 348  
плитотектоническая модель 148—  
151  
связь с зонами кручения 333  
скорость 147, 203
- Расширение Земли 8, 14, 157—226.  
*См. также* Причины расширения  
Земли  
асимметрия 168, 226, 315  
зияние в Южной Атлантике 116  
иерархия 219, 285—290  
и орогеническая зона 283  
и расхождение континентов 126,  
139, 150, 169, 286, 290—293,  
316, 317

- «ломти» роста 137, 138, 141, 147, 350  
 объем морской воды 215  
 отличие от тектоники плит 210—212, 213, 227, 288—290, 294, 295, 336  
 приспособление к уменьшающейся кривизне поверхности 288—290  
 скорость 169, 192—194, 215, 225, 293, 346, 352, 377  
 стадии 343, 344  
 увеличение массы и объема 160, 357  
 — радиуса 158, 160, 163, 169, 179, 190  
 Релаксация время 349, 356, 417, 424  
 Реопексия 76, 424  
 Рифты 115, 131, 411  
 вдоль границы материка и океана 151, 200  
 внутри материков 151, 282, 165  
 срединно-океанические 143, 144, 146, 164  
 образование 136—138  
 Ромбоазмы 12, 155, 349, 350, 425
- Сатурн 35, 299, 381, 382  
 Северная Америка 191, 270, 300  
 вращение 300, 352  
 миграция полюса 292, 299—300, 320  
 палеогеографические связи с Азией 341, 344, 345  
 смещение от Южной Америки 177, 309, 348  
 тетическое кручение 206, 304  
 циркумтихоокеанское кручение 314, 317—320  
 Сиаль 161, 168, 426  
 Сила тяжести 227—239, 298, 311  
 как двигатель тектоники 166, 214, 228, 229, 230, 354, 356, 357  
 аномалии 45, 214, 320, 412  
 Силы тяжести уравнение 43  
 Сима 427  
 Синерезис 76, 428  
 Система СИ 387  
 Складчатость 148, 197, 205, 229, 240—247, 263, 409  
 волочения 406  
 концентрическая (флексурная) 241, 242, 245—247, 404, 409  
 плойчатость 254, 255  
 подобная (сдвига, скальвания) 240—247, 426, 427  
 сложная 244, 255  
 Скорость света 364, 366, 368, 370, 387
- Солнечная система 380—382  
 Солнце 31—34, 48, 225, 299  
 изменение светимости 383  
 как центр мира 34, 37  
 энергия 92, 96  
 Сопряженные сдвиги (кручения) 302, 303, 306, 314, 317, 404  
 Соляной «глетчер» 249, 250, 282, 425  
 Соляные купола 230, 248—255, 282, 425  
 аналогия с ледником 254  
 кольцевая синклиналь 251  
 конвективные движения 250, 251  
 растяжение 250, 251  
 Спрединг *см.* Разрастание океанического дна  
 Средиземноморье 27, 127, 179, 315, 330  
 как остаток Тетиса 133, 335  
 левосторонний сдвиг 130, 283  
 ороклины 129, 305, 306, 309  
 расширение 130, 283, 306, 350  
 Срединно-Атлантический хребет 111, 190, 195, 269  
 Срединно-океанические хребты 143, 151, 237  
 генетическое сходство с орогенами 266—268, 269, 283  
 происхождение 138, 141, 143, 190  
 циркумконтинентальный характер 283  
 Срыв 245—247, 406  
 Стишовит 288, 355, 356, 427  
 Стратиграфия 114, 237  
 Субдукция 7, 148  
 в желобе Кермадек 202  
 в Перуанско-Чилийском желобе 198—201  
 как миф 150, 190—214, 222  
 Суперпозиции закон 81, 415  
 Сфеноазмы 128, 129, 133, 217, 313, 350, 427
- Тасманийская орогеническая зона 343  
 аналог Тетиса 337—339  
 экваториальная 352  
 Тасманово море 348  
 Тектоника 114, 237  
 гравитационная 228—232, 354  
 коллизияльная 240  
 синтафальная 262  
 Тектоника плит 6, 10, 150, 165, 309, 345  
 модель 148, 181

- неадекватность 201, 210, 212, 223  
 противоположность концепции расширения Земли 227, 285, 336
- Тектонические покровы 264, 272, 418
- Температура 288, 294, 295, 322, 349, 383
- Тепловой поток 195, 292, 298, 349, 412  
 в океанах 165, 294, 413  
 в районе островных дуг 214, 259, 277  
 на границах полигонов 288  
 на материках 165, 294, 413
- Террейны 319
- Тетис 7, 202, 335, 336, 428  
 левостороннее перемещение 283  
 определения 335—337  
 палеогеография 202, 283, 338, 347  
 поперечное растяжение 309—311  
 предшественники 336—340  
 ранние аналоги 337  
 экваториальное положение 337, 346, 352
- Тетическое кручение 8, 12, 109, 178, 204, 208, 304—309, 350, 351  
 взаимодействие с сопряженной зоной кручения и зонами разрастания 194, 325, 333—335  
 левосторонний характер смещений 303, 314, 333, 337, 339, 351  
 пересечение с Циркумтихоокеанской зоной кручения 325, 351  
 причина 311—313  
 экваториальное 177, 316
- Течение  
 в твердом веществе 120, 238, 244, 257, 424  
 ламинарное и турбулентное 236  
 льда (в леднике) 120, 232, 238, 257
- Течения линии 240—244, 255
- Тибет 181, 183, 274, 275, 313, 347
- Тиксотропия 76, 428
- Тихий океан  
 асимметрия 297, 348  
 нереальность субдукции 201, 202  
 парадокс периметра 169, 177  
 потерянные массивы суши 345  
 происхождение 110, 313, 118, 283, 340, 343  
 разрастание с мелового времени 202, 331—333, 349—351  
 транстихоокеанские фаунистические связи 345—347
- Тихоокеанский парадокс 174
- Тициуса — Бодде закон 381
- Турбидные потоки 208, 262, 429
- Уилсона цикл 165, 431
- Ундационная теория 230
- Униформизм 64, 65, 77, 78—83, 96, 430
- Уоллеса линия 330, 430
- Уран 381, 382
- Уровня моря колебания 216
- Фазовые переходы 122, 168, 266, 356
- Фаунистические провинции 106, 336
- Фаунистические связи 123  
 Африки с Южной Америкой 122  
 Восточной Азии и Австралии 179—181  
 транстихоокеанские 345—347
- Флиш 185, 195, 409
- Фоновое излучение 362, 363
- Хаббла закон 357, 359, 363, 373, 376, 412  
 — отгалькивание 365, 367, 373  
 — постоянная  $H$  359, 366, 367—369, 383, 389, 413  
 — уравнение 383
- Центральная Америка 202, 347, 350  
 поперечные хребты и разломы 325—328
- Тетис 336
- Циклы 82  
 колебаний уровня моря 216  
 орогенеза 269, 280, 354  
 расцвета и увядания кораллов 220
- Циркумтихоокеанское кручение 302, 305, 314, 317—323, 333, 334  
 взаимодействие с тетическим кручением 349—351  
 правосторонний характер смещений 314
- Чандлеровские колебания 93
- Черная дыра 385
- Черное тело 362, 364, 402
- Шварцшильда радиус 359, 425
- Шкала геологического времени 99—101  
 — геомагнитной полярности 145
- Шовная зона Инд — Цангпо 183, 202, 204, 273, 274
- Эвгеосинклинали 167, 223, 261—263, 267, 410

- Эволюционные концепции 59  
Экваториальное вздутие Земли 37, 49  
Эклогит 151, 266, 288, 355, 356, 407  
Элтона модель эволюции 380—382  
Энергия  
    кинетическая 415  
    потенциальная 371, 372, 377, 383—  
        385, 398, 422  
    связи 379  
    упругая 379  
    химическая 379  
    электрическая 379  
    ядерная 378, 379  
Энтропия 83, 407  
Эопафикация 286, 332, 333, 346—348  
Эпейрогенические трещины 290  
Эпициклы 35
- Южная Америка 156, 177, 194, 345  
    нереальность субдукции 198—201  
    отделение от Северной Америки 309,  
        348  
    связи с Африкой 108, 116—118, 122  
    тихоокеанский источник осадков  
        346  
    транстихоокеанские фаунистические  
        связи 345—347  
Южный океан 175, 179, 193, 283  
Юпитер 41, 225, 299, 379—382
- Янтарь 52  
Япетус 204, 212  
Япония 290  
    палеогеографические связи с Север-  
        ной Америкой 345, 347  
    тектоника 323

# Оглавление

Предисловие редактора перевода . . . . .	5
Предисловие . . . . .	11

## ЧАСТЬ I РЕТРОСПЕКТИВА

Глава 1. Философия в каменном веке . . . . .	19
Глава 2. Планета Земля . . . . .	31
Глава 3. Окаменелости . . . . .	51
Глава 4. Нептунисты и плутонисты . . . . .	64
Глава 5. Ледниковая эпоха . . . . .	83
Глава 6. Возраст Земли . . . . .	90
Глава 7. Роль числа в геологии . . . . .	101

## ЧАСТЬ II ПОДВИЖНЫЕ МАТЕРИКИ

Глава 8. Материковый дрейф . . . . .	108
Глава 9. Посев семян революции . . . . .	125
Глава 10. Куновская революция . . . . .	142

## ЧАСТЬ III РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ЗЕМЛЯ

Глава 11. Развитие концепции расширяющейся Земли . . . . .	157
Глава 12. Земля расширяется . . . . .	170
Глава 13. Миф о субдукции . . . . .	197
Глава 14. Критика концепции расширения Земли . . . . .	214

## ЧАСТЬ IV ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ОРОГЕНЕЗ

Глава 15. Сила тяжести правит Землей . . . . .	227
Глава 16. Складкообразование . . . . .	240
Глава 17. Диапиры . . . . .	248
Глава 18. Простая модель орогена . . . . .	260
Глава 19. Зона Беньоффа . . . . .	275

**ЧАСТЬ V**  
**ТЕКТОНИКА ЗЕМЛИ В ЦЕЛОМ**

Глава 20. Глобальное растяжение . . . . .	285
Глава 21. Глобальные кручения . . . . .	296
Глава 22. Эволюция литосферы . . . . .	335

**ЧАСТЬ VI**  
**ОБЩИЙ ВЗГЛЯД НА ВСЕЛЕННУЮ**

Глава 23. Земля и космология . . . . .	354
Глава 24. Общие рассуждения . . . . .	384
Эпилог . . . . .	397
Словарь терминов . . . . .	400
Именной указатель . . . . .	432
Предметный указатель . . . . .	437

## УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу:  
129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, издательство «Мир».

Научное издание

Уоррен Кэри

В ПОИСКАХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ  
ЗЕМЛИ И ВСЕЛЕННОЙ

История догм в науках о Земле

Заведующий редакцией В. В. Герасимовский  
Старший научный редактор В. А. Пантаева  
Младший редактор Т. А. Доронина  
Художник М. А. Лукьянцева  
Художественный редактор Н. В. Дубова  
Технический редактор Е. С. Потапенкова  
Корректор С. С. Суставова

ИБ № 7431

Сдано в набор 24.09.90. Подписано к печати 14.02.91.  
Формат 60×90<sup>1/8</sup>. Бумага типографская № 1. Печать  
высокая. Гарнитура Литературная. Объем 14 бум. л.  
Усл. печ. л. 28. Усл. кр.-отт. 28. Уч.-изд. л. 28,3. Изд.  
№ 5/7075. Тираж 4950 экз. Зак. 508. Цена 6 р. 80 к.

Издательство «Мир» \*

В/О «Совэкспорткнига» Государственного комитета СССР  
по печати.

129820, ГСП, Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Московская типография № 11

Государственного комитета СССР по печати.  
113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.