

В. Е. Хаин, А. Г. Рябухин

# ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Рекомендовано Государственным комитетом  
Российской Федерации по высшему образованию  
в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся  
по направлению и специальности «Геология»

Контрольный экз.

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
1997

ББК 26.3  
X12  
УДК 55 (091)

X156

**Рецензенты:**

кафедра геологии и геокибернетики ГАНГ им. И. М. Губкина;  
академик РАН Е. Е. Милановский

Федеральная программа  
книгоиздания России

**Хаин В. Е., Рябухин А. Г.**

X12 История и методология геологических наук: Учебник. —  
М.: Изд-во МГУ, 1997. — 224 с.: ил.  
ISBN 5—211—03506—2

В учебнике рассмотрены общие вопросы истории развития геологии, ее современное состояние и ближайшие перспективы развития. Анализируются вопросы методологии научного поиска при геологических исследованиях, разбираются некоторые философские вопросы геологии как фундаментальной научной дисциплины естествознания.

Для студентов геологических специальностей вузов и специалистов, интересующихся вопросами истории геологии.

**ББК 26.3**

ISBN 5—211—03506—2  
Библиотека ДВГУ

© Хаин В. Е., Рябухин А. Г., 1997

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Общепризнанно, что историей науки следует заниматься не просто для удовлетворения своего любопытства, но прежде всего для правильного понимания современного состояния данной науки, истоков проблем, решаемых ею на современном этапе, для более уверенного определения перспектив ее развития. Передовые ученые — геологи разных стран — давно осознали такое значение истории науки, и на ряде сессий Международного геологического конгресса, начиная с 23-й сессии в Праге в 1968 г., уже работали специальные секции по истории геологии. В 1967 г. по инициативе русского историка геологии В. В. Тихомирова была создана Международная комиссия по истории геологических наук (ИНИГЕО), и с того времени в разных странах было проведено более 10 симпозиумов по истории геологии.

Крупнейшие русские геологи всегда находили время для написания работ, посвященных деятельности своих знаменитых предшественников. В. А. Обручев писал о Э. Зюссе, А. А. Борисяк о Ж. Кювье, Н. С. Шатский о Ч. Дарвине, Ч. Ляйеле, А. Гресли, Р. Мерчисоне, А. П. Карпинском, А. Д. Архангельском, В. В. Белусов о Н. Стеноне, Дж. Хаттоне, Г. Соссюре и М. М. Тетяеве, А. Л. Яншин о А. Д. Архангельском и Н. С. Шатском, Е. Е. Милановский о А. Вегенере и А. А. Богданове, Н. И. Николаев о Г. Ф. Мирчинке и Е. В. Милановском, Д. П. Найдин о Э. Зюссе и др. Особенно большое значение изучению истории науки придавал В. И. Вернадский.

За рубежом создан ряд трудов по истории геологии; с изложения этой истории начинаются знаменитые «Основы геологии» Ч. Ляйеля.

В Московском университете курс «История и методология геологических наук» начал читаться по инициативе профессора Д. И. Гордеева, автора первого учебного пособия по этому курсу. В последние годы жизни Д. И. Гордеева в чтение курса включился В. Е. Хаин, вместе с Д. И. Гордеевым обновивший программу курса. Затем чтение курса перешло к профессору В. Г. Чернову, а после его безвременной кончины — к профессору А. Г. Рябухину. Отдельные лекции в этот период продолжал читать В. Е. Хаин. По примеру Московского университета данный курс был включен в учебные планы геологических факультетов других университетов страны. Необходимость такого обобщающего курса очевидна; его ни в какой мере не могут заменить вводные главы курсов по от-

дельным геологическим дисциплинам, традиционно посвящаемые истории становления и развития данной конкретной дисциплины. Назначение общего курса истории и методологии геологических наук другое — дать оканчивающему специалисту геологу, геофизику, геохимику общее представление о ходе развития геологических наук, о современном этапе их развития и, по возможности, о его ближайших перспективах. Это особенно важно на данном этапе, когда геологические науки претерпели и продолжают переживать глубокую революцию, выводящую их на новую, более высокую ступень познания геологических процессов и структур.

В этих условиях приходится констатировать, что и учебное пособие Д. И. Гордеева, и более ранняя книга В. В. Тихомирова и В. Е. Хаина во многом утратили свое значение. Во-первых, они не отражают новейший этап развития геологических наук, во-вторых, несут на себе печать господствовавшей в нашей стране до недавнего времени идеологии. В связи с этим авторами и было предпринято составление настоящего учебника, отвечающего программе курса, читаемого в Московском университете. Главы 2, 6, 7 написаны В. Е. Хаиным, главы 1, 3—5, 8—10 — А. Г. Рябухиным; общее редактирование осуществлено В. Е. Хаиным.

Авторы попытались создать достаточно полный по содержанию, но вместе с тем компактный учебник, где были бы охарактеризованы наиболее значительные этапы и периоды развития геологической науки, намечены возможные пути ее дальнейшего развития, были бы отражены современные представления о некоторых философских проблемах геологии, затронуты принципиальные вопросы методологии научного поиска. Созданию учебника во многом благоприятствовало издание в последние годы большого количества работ, освещающих отдельные этапы истории геологии и истории становления отдельных геологических дисциплин. Эти книги, написанные известными геологами Э. Хэллемом, В. В. Белоусовым, В. И. Смирновым, Дж. Имбри и другими, представляют собой замечательные художественные произведения. Авторы благодарны своим коллегам профессору Н. В. Короновскому, старшему научному сотруднику А. А. Наймарку за ценные советы по отдельным главам рукописи, а также А. Г. Дубровину и коллективу картографической лаборатории, Н. В. Бакшеевой, М. Д. Рябухиной и другим работникам библиотеки, Г. В. Брянцевой, много сделавшей при подготовке рукописи к печати.

Замечания по учебнику просьба направлять по адресу: 119899, Москва, ГСП-3, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, кафедра динамической геологии. Все предложения по дальнейшему совершенствованию книги будут приняты авторами с благодарностью.

---

## Раздел I. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Каждое поколение научных исследователей ищет и находит в истории науки отражение научных течений своего времени. Двигаясь вперед, наука не только создает новое, но и неизбежно переоценивает старое, пережитое. Уже поэтому история науки не может являться безразличной для всякого исследователя. Натуралист и математик всегда должен знать прошлое своей науки, чтобы понимать ее настоящее. Только этим путем возможна правильная и полная оценка того, что добывается современной наукой, что выставляется ею как важное, истинное и нужное.

(Вернадский В. И. Очерки и речи. 1922. С. 112).

### Глава 1. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК КАК САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ДИСЦИПЛИНА

#### §1. ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИСТОРИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК, ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ

Любая наука вступает в фазу зрелости с того момента, когда в ней складывается определенная, теоретически выраженная система представлений об изучаемом объекте, осознается необходимость причинного объяснения явлений и с помощью специальных или общенаучных методов изучается та или иная предметная характеристика объекта. История геологии является частью всеобщей истории естествознания и мировой культуры в целом. Геология порождена потребностями общества и развивается вместе с ним. История геологии изучает процесс становления геологических знаний, раскрывает внутренние связи между развитием геологии и развитием производительных сил, экономическими, социальными, культурно-историческими особенностями состояния общества, исследует взаимосвязи и взаимодействие геологии с другими науками в рамках развития естествознания в целом.

Иначе говоря, историк геологической науки должен, с одной стороны, ответить на вопросы: «кто?», «где?», «когда?», «почему?» и «как?» — и, с другой стороны, проследить логику развития идей, становления парадигм и общие закономерности развития геологических знаний. Следовательно, история геологической науки включает не только ретроспективную оценку определенных уже пройденных этапов ее развития, но и попытку исследовать, в какой мере понятия, позиции, предложенные в свое время методы оста-

ются активно действующими на следующих этапах развития геологии, и как шло становление современных ее парадигм. Таким образом, объектом истории геологических наук является само научное познание и закономерности его развития.

Предмет историко-геологических исследований включает в себя изучение генетической структуры геологических знаний и собственно историографию. В ходе разработки истории геологии и развития самой геологии изменялся предмет историко-геологических исследований. На первом этапе преобладало хронологическое описание достижений геологии, становления новых методов исследования, описание творческой биографии ученых. Основное внимание уделялось описанию процесса накопления фактического материала, поискам предшественников и истоков развивавшихся на данном этапе идей. При всей необходимости и добротности осуществлявшихся исследований хронологическое описание само по себе не приводит к истолкованию причин становления той или иной концепции. Историки, как правило, не могут однозначно установить, кто первый и когда открыл то или иное явление, поскольку каждая эпоха имеет свое видение истории. Французский историк науки А. Койрре писал, что «ничто не изменяется более быстро, чем неподвижное прошлое».

Например, закон постоянства углов кристаллов был открыт Н. Стеноном в 1669 г., но остался почти неизвестным современникам и был надолго забыт. Впоследствии такая же участь постигла высказывания других авторов, в том числе и М. В. Ломоносова, который в 1740 г. предложил свою формулировку этого закона. Окончательно закон постоянства углов кристаллов был сформулирован и утвердился в науке более чем через сто лет после первого его открытия, в 1783 г., после публикации французского минералога Б. Роме де Лилля. В данном случае речь идет о строгом математическом законе; если же анализируется история становления научной идеи, то ее первого автора, как правило, определить невозможно, поскольку всякого рода догадки и так называемые «преждевременные открытия» не могут считаться в строгом смысле слова научными открытиями. Как правило, они не были восприняты учеными-современниками и не сыграли поэтому какой-либо роли в поступательном движении науки. Например, гелиоцентрическая модель Солнечной системы Н. Коперника была подробно изложена Аристархом Самосским еще в III в. до н. э. Хотя Н. Коперник и ссылается на труды своего предшественника и подробно анализирует их, основная заслуга безусловно принадлежит великому польскому естествоиспытателю.

Хороший пример дает в этом отношении и теория тектоники литосферных плит. Весьма близкая концепция была предложена в первой половине XX в. А. Холмсом, а еще раньше, во второй половине XIX в., — другим британским геологом О. Фишером, идея же мобилизма высказывалась уже начиная с XVIII в. Но лишь в 60-е годы XX в. после получения первых точных данных

по строению и возрасту ложа океанов они получили широкое признание.

В связи со сказанным уже в первой половине XX столетия основное внимание историков геологической науки стало занимать изучение закономерностей развития геологии, установление общих и частных законов ее развития, прослеживание внутренней связи исторических этапов развития, смены парадигм, изменения структуры и функции геологических наук вследствие общего развития естествознания. Изучение истории геологии стало осознаться как средство не только более глубокого понимания ее настоящего, но и во многом как предвидение развития в будущем.

Английский геолог Д. Пейдж еще в середине XIX в. писал, что, «несмотря на успехи, все-таки нам полезно время от времени остановиться, чтобы посмотреть, верно ли мы понимаем предмет и границы нашей науки».

Таким образом, история геологии изучает становление различных направлений геологической науки, развитие методов и методик, научных открытий и поисков, историю борьбы различных идей, научных диспутов, событий жизни выдающихся ученых в реальном времени и пространстве, повлиявших на ход развития науки, устанавливает объективные закономерности развития геологических знаний на фоне общего прогресса естествознания во взаимосвязи с другими сторонами материальной и духовной истории общества.

Основная цель изучения истории геологии заключается в установлении объективной мировой истории геологии, открытии закономерностей ее развития, условий и факторов, способствовавших ему, изучении современных функций геологии, а также в предвидении будущего ее развития.

Главная задача истории геологических наук заключается в раскрытии механизма становления новых знаний о строении и истории развития Земли, анализе условий формирования школ и направлений, разработке методологической базы проведения геологических исследований. Задачей истории геологии являются строгое описание и регистрация фактов и событий, относящихся к истории геологической науки, в их хронологической последовательности, критический анализ и оценка исторического материала с точки зрения современного состояния геологии.

## **1.2. ОСНОВЫ ПЕРИОДИЗАЦИИ ИСТОРИИ ГЕОЛОГИИ**

Становление геологии тесно связано с развитием человеческого общества, его социальных структур, направлением движения научной мысли естествознания в целом, внутренней логикой развития самой науки. Среди фундаментальных направлений естествознания геология никогда не принимала на себя роль лидера, но четко реагировала на смену лидеров, подчиняясь объективным законам развития естествознания. Выявить этапность развития геологии, продумать ее периодизацию — это значит в какой-то мере определить

ее современное состояние и выявить перспективу будущего развития.

Существуют разные точки зрения на историю геологии и оценку ее современного состояния. Некоторые отечественные исследователи считают, что геология еще не достигла стадии зрелой науки и в ней господствует гипотетико-генетический стиль мышления, обусловленный эмпирическим уровнем ее развития. Теоретический уровень развития геологии, т. е. ее становление как науки, наступит лишь в следующем столетии (Назаров, 1990). И. П. Шаратов (1989) оценивает современное состояние геологии как стагнацию, которая определяется большим распространением логически слабых генетических гипотез и преобладанием эмпиризма. И. А. Резанов (1987) не видит принципиального различия геологии середины XX в. и современного периода ее развития. Со всеми этими высказываниями невозможно согласиться. Их авторы не поняли революционного значения тектоники литосферных плит, с появлением которой геология поднялась на уровень «точных» отраслей естествознания.

Историю науки и геологии, в частности, нельзя изучать «вообще», необходимо выработать критерии, которые позволили бы выделить определенные вехи становления данной науки. В настоящее время можно отметить большое разнообразие точек зрения по вопросу периодизации истории геологии. Хронологический принцип, пользовавшийся большой популярностью в XIX — начале XX столетия, в значительной степени основанный на перечне открытий, фиксации вклада в науку различных ученых, в настоящее время не удовлетворяет историков науки, поскольку не дает возможности увидеть логику развития самой науки.

Критерий, основанный на связи развития науки с характером производственных отношений и развитием социально-экономических формаций, весьма популярный в нашей стране, полезен лишь для выделения крупных этапов развития естествознания в целом: наука античного мира, средних веков, эпохи Возрождения, нового и новейшего времени. Для прослеживания истории конкретных наук, например геологии, подобное подразделение является слишком общим, а более подробная увязка развития геологии и социально-экономического уклада развития общества не дает надежной корреляции.

В. В. Белоусов, излагая материалы по истории развития геологических знаний, высказал мысль, что на любом этапе развития науки существует своеобразный фон — научное сообщество, которое определяет общий характер развития науки. Оценивая тот или иной этап становления науки, мы, как правило, не замечаем этого фона, а все внимание сосредоточиваем на отдельных ярких ученых, которые выделялись оригинальностью мышления. Их идеи не воспринимались и часто считались еретическими. Затем научное сообщество ассимилировало эти идеи, достигая уровня этих ученых. Но возникали новые яркие личности, и цикл повторялся, т. е. развитие науки определялось суммой накопленных фактов и

в общей кладке фундамента науки всегда находилось место любой концепции по мере увеличения суммы знаний. При подобном критерии изучения истории науки ярким идеям отводится пассивная роль ожидающего, и они не оказывают какого-либо влияния на развитие науки.

Современные критерии периодизации истории геологии основаны на концепции скачкообразного нелинейного развития науки, когда периоды эволюционного развития науки сменяются периодами интенсивного, революционного ее развития. Эти скачки фиксируют смену ведущей теоретической концепции — парадигмы, которая на определенном этапе оказывает решающее влияние на эмпирические и теоретические разработки геологов. Подобная периодизация истории геологических наук предложена в работах Д. И. Гордеева, В. В. Тихомирова, Б. П. Высоцкого, В. Е. Хаина; выделенные этими авторами вехи развития геологии, хотя и отличаются по детальности расчленения, незначительному различию границ и содержанию, вкладываемому авторами в хронологические интервалы, в целом совпадают, что, очевидно, отражает объективный ход развития науки.

Соответственно в истории геологии выделяют два крупнейших этапа: донаучный, который охватывает широкий хронологический диапазон от начала развития человеческой цивилизации до середины XVIII в., и научный этап становления геологии, с начала XIX в. Переход от одного этапа к другому не был мгновенным, его продолжительность составляет несколько десятилетий и приходится на вторую половину XVIII столетия. В пределах каждого из этих крупнейших этапов выделяют периоды, которые для донаучного этапа практически совпадают с периодами смены социально-экономических формаций человеческого общества. Смена периодов научного этапа соответствует смене парадигм геологии и отвечает периодам научных революций в естествознании (см. таблицу). В это время прямого совпадения с ходом общечеловеческой истории уже не наблюдается, вопреки тому, что ранее принималось нашими историками науки.

## **Глава 2. ДОНАУЧНЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ**

Геология как особая наука зародилась во второй половине XVIII столетия, т. е. много позже, чем такие науки, как геометрия, оптика, астрономия, география, механика, но много раньше, чем другие естественные науки. Становлению научной геологии предшествовал длительный период первичного накопления геологических знаний, настолько длительный, что определить начальную точку его отсчета затруднительно. По существу, она совпадает с зарождением человеческой культуры и цивилизации.

Первоначальное накопление геологических знаний шло по нескольким различным направлениям. Одно из них, самое важное по

Периодизация истории геологических наук

Этап	Период	Характеристика периода. Ведущие тектонические концепции	Научные революции в естествознании. Лидеры развития естествознания	Выдающиеся ученые
1	2	3	4	5
	Современный (конец XX — начало XXI в.)	Глобальная геодинамическая модель Земли и планет земной группы. Глобальная геоэкология	Синергетика	
Научный	Новейший (60—90-е годы XX в.)	Тектоника литосферных плит. Исследования Мирового океана, включая глубоководное бурение. Исследование Земли из космоса. Геохронология докембрия. Изотопный микроуровень исследования вещества. Сверхглубинное бурение на континентах. Сейсмостратиграфия, сейсмотомография, палеомагнетизм. Экспериментальная петрология, космохимия, геохимия. Математическое моделирование. Геоинформатика	Физика, химия изотопов, вычислительная математика, космонавтика	Г. Хесс, Дж. Вилсон
	Критический (до 60-х годов XX в.)	Учение о геосинклиналях, орогенах и платформах. Появление мобилизма. Кристаллохимический этап изучения вещества. Развитие геохимии, разведочной геофизики, сейсмологии, радиогеологии. Создание оболочечной модели строения Земли. Региональные геолого-геофизические исследования. Опорное континентальное бурение.	Физика	Э. Зюсс, Э. Арган, Г. Штилле, Н. С. Шатский, У. Г. Брэгг, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, В. М. Гольдшмидт, В. А. Обручев, А. П. Карпинский В. В. Белоусов

		Развитие прикладных дисциплин: нефтяной геологии, геологии угля, инженерной геологии, геокриологии		
Научный	Классический (вторая половина XIX в.)	Гипотеза контракции. Учение о геосинклиналях. Геоморфология. Стратиграфия. Региональная геология континентов, учение о рудных месторождениях, палеогеография, кристаллография, гидрогеология. Петрография (поляризационный микроскоп)	Химия, физика, биология	Эли де Бомон, Дж. Холл, Дж. Дэна, В. Дэвис, В. Пенк, П. Грот, Е. С. Федоров
	Геронический (первая половина XIX в.)	Гипотеза кратеров поднятия. Палеонтология. Биостратиграфический метод. Геологическое картирование. Химический этап изучения вещества, минералогия	Биология, химия, физика	Л. Бух, А. Гумбольдт, Ж. Б. Ламарк, Ж. Кювье, Ч. Ляйель
	Переходный (вторая половина XVIII в.)	Физический этап изучения вещества. Космогоническая гипотеза П. Канта и П. Лапласа. Становление научной геологии	Механика	Ж. Бюффон, М. В. Ломоносов, А. Г. Вернер, Дж. Хаттон
Доаучный	Эпоха Возрождения (XV—XVII вв. — середина XVIII в.)	Великие географические открытия. Развитие рудных промыслов. Возрождение философских взглядов на природу античного периода	Механика	Леонардо да Винчи, Н. Стенон, Р. Декарт, Г. Лейбниц, Агрикола (Г. Бауэр)

1	2	3	4	5
До научный	Схоластический период (V—XV вв.)	Развитие рудных промыслов	Натурфилософия	Абу Али Ибн Сина, Абу Рейхан аль-Бируни
	Античный (V в. до н. э. — V в. н. э.)	Зарождение представлений о минералах, горных породах и геологических процессах	Натурфилософия	
	Становление человеческой цивилизации (до V в. до н. э.)	Развитие опыта использования минералов, пород, руд для создания орудий труда		

Найней мере на первых порах, было связано с расширяющимся и нарастающим использованием человеком в хозяйстве и культуре различных полезных минералов и горных пород, начиная с кремневых орудий и цветных драгоценных и полудрагоценных камней, служивших украшениями, и продолжая медной, оловянной, железной рудой, углем, нередко из естественных источников, золотом, серебром и др. Это направление, все больше обрастая наблюдательным материалом и проверяя свои выводы опытом, постепенно вело к созданию таких геологических дисциплин, как минералогия и петрография, объединяемых вместе с геохимией в понятие наук о веществе твердой Земли.

Другое направление заключалось в наблюдениях над естественными геологическими процессами. Оно берет начало в Древней Греции, и первыми объектами таких наблюдений становятся деятельность рек (эрозия, аккумуляция), процессы, изменяющие морские берега, деятельность подземных вод — источники, карстовые явления, столь распространенные в Средиземноморье. Наряду с этими достаточно обыденными и в общем медленно текущими процессами большое впечатление на людей производили такие катастрофические явления, как вулканические извержения, землетрясения, наводнения. Наиболее значительные из них оставляли прочный отпечаток в памяти людей, и воспоминания о них передавались из поколения в поколение, воспринимаясь позднее уже в виде мифов, многие из которых гораздо позже были закреплены в священной книге, в частности в Ветхом завете иудейской и христианской религий. Как теперь все больше становится ясным, в основе многих мифов лежат вполне реальные события. Это относится, в частности, к наиболее знаменитому из них — преданию о Всемирном потопе. Как показали недавно австрийские ученые, супруги А. и Х. Тольман, события, описываемые под этим названием, в действительности могли быть связаны со столкновением с Землей крупного астероида (по другой версии — русского ученого Э. П. Изоха — кометы), имевшим место около 10 тысяч лет до н. э., как раз на рубеже геологических эпох, именуемых плейстоценом и голоценом, и вызвавшим, в частности, вымирание мамонтов.

Реальную основу, вероятно, имеет и библейский рассказ о гибели Содома и Гоморры, которая могла быть вызвана крупным вулканическим извержением, имевшим место на территории современной Сирии. Платонов рассказ о гибели Атлантиды также представляет скорее всего отражение катастрофического вулканического извержения на о. Санторин в Эгейском море, повлекшего за собой гибель критской культуры. Печальная участь жены Лота, превращенной в соляной столб, навеяна, очевидно, существованием соляного штока в ядре диапира на берегу Мертвого моря. Предание о Сцилле и Харибде связано с трудностями мореплавания в Мессинском проливе из-за своеобразного режима встречных течений. Под Геркулесовыми столбами подразумеваются либо скалы Гибралтара, либо скалы горного окончания Пелопоннеса. И нако-

нец, знаменитое библейское повествование о семи днях творения и последовательности актов такого творения в течение этих дней представляет по существу, если не понимать «дни» чересчур буквально, не что иное, как первую попытку человека разумного наметить историю мироздания.

Таким образом, мифология, а вслед за ней и религия, выступают не как антагонисты (таковыми они стали позднее), а как предшественники научного мировоззрения. В них, как это ни парадоксально звучит, мы находим уже истоки и исторической, в описании таких событий, как Всемирный потоп или гибель Атлантиды, и динамической геологии в описании геологических процессов.

## 2.1. ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В АНТИЧНОМ МИРЕ (ГРЕЦИЯ, РИМ)

Общеизвестно, что наука зародилась в основном в Древней Греции, хотя отдельные научные представления появились еще в древних Египте и Китае. Она еще не носит сколько-нибудь дифференцированного характера и обычно объединяется под названием натурфилософии. Недостаток наблюдательного материала, практическая неспособность экспериментирования, моделирования естественных процессов, за исключением постановки самых примитивных опытов, заставили древнегреческих мыслителей опираться прежде всего на дедукцию, придавая второстепенное значение индуктивному методу, т. е. эмпирическому знанию. Но в этом умении абстрагироваться от реальной действительности, использовать аксиоматический метод построения теорий и заключалась принципиальная новизна методологии древнегреческих мыслителей, являвшихся одновременно и естествоиспытателями, и философами, причем вторыми, пожалуй, больше, чем первыми.



Аристотель (384—322 гг. до н. э.)

В связи с этим первейшей задачей родоначальников античной натурфилософии являлось установление начала всех начал. Предлагалось, как известно, различное решение этой задачи, но, очевидно, неосознанно продиктованное наиболее впечатляющей стороной личного опыта. Соответственно это хаос у Гесиода, вода у Фалеса, апейрон (твердое первовещество) у Анаксимандра, воздух у Анаксимена, позднее океан у Гомера. Но все это было еще достаточно далеко от геологии. Гораздо актуальнее для нас высказывания великого Аристотеля (384—322 гг. до н. э.), оказавшие огромное влияние на все

дальнейшее развитие естественных наук и философии. Аристотель в своей «Метрологии» писал: «Одни и те же места не всегда остаются покрытыми водой либо сушей, но изменяются в связи с появлением или исчезновением текучих вод; вот почему происходят изменения в расположении суши и моря, и то суша, то море не остаются таковыми на протяжении времен, и мы находим море там, где когда-то была суша, и там, где сейчас находится море, снова будет суша. И надо думать, что это происходит согласно определенному порядку и определенной периодичности».

Эти мысли в еще более конкретной форме повторяются учеником Аристотеля Теофрастом (372—287 гг. до н. э.), указавшим на реальные свидетельства былого присутствия моря на участках современной суши: гальки, раковины, «другие предметы из тех, которые обычно выбрасываются с пеной на морские берега». В высокохудожественной форме мы их обнаруживаем в знаменитых «Метаморфозах» поэта Овидия (43 г. до н. э. — 17 г. н. э.): «Я лично видел, что то, что раньше было настоящей сушей (буквально твердой землей), было морем (рукавом моря), я видел сушу, образованную за счет моря, и весьма далеко от открытого моря морские раковины, которые валялись (на земле) и старинный якорь был обнаружен на самой высокой из гор; и все, что было возделанной землей, быстрое течение воды превратило в долину, и благодаря размыву гора была смыта в море; болотистая почва была осушена и превращена в сухие пески и те, которые пропитались водой, стали влажными от стоячей воды этих болот».

Указывая на периодические изменения в расположении суши и моря, Аристотель вполне отдавал себе отчет в медленности этих изменений:

«Так как всякая физическая эволюция Земли происходит постепенно и в течение времени, очень длительного по сравнению с нашей жизнью, эти изменения остаются незамеченными нами, и разрушение и превращение в руины целых рас имеют место раньше, чем они смогут проследить эти изменения от их начала до их конца». И далее приводится конкретный пример Египта, земли которого возникли благодаря осушению наносов Нила, но все воспоминания о начале этого процесса оказались утраченными.

Надо сказать, что не только Египет с Нилом, но и Черное море с дельтой Дуная, Азовское море, проливы Босфор и Дарданеллы с Мраморным морем между ними давали большой материал для наблюдений и размышлений древним грекам, которые делали выводы, касающиеся заполнения морских бассейнов осадками, течения, несущего черноморские воды через проливы в Средиземное море, существования в прошлом в Египте морского залива, заполненного осадками Нила (Геродот).

Следующий шаг вперед в истолковании причин геологических событий был сделан знаменитым римским географом Страбоном (64 г. до н. э. — 24 г. н. э.). У Страбона мы впервые находим высказывания относительно возможности образования островов и даже значительных участков суши (континентов?) в результате

вулканических извержений, а также опусканий, вызванных землетрясениями. В основе этих утверждений лежали реальные наблюдения над вулканическими архипелагами Эгейского и Тирренского морей и некоторыми землетрясениями в Греции.

Вообще вулканическая деятельность — извержения Этны, Везувия (катастрофическое извержение 79 г., описанное Плинием-младшим, дядя которого стал жертвой этого извержения), крупные землетрясения были предметом описания древних авторов. Среди причин этих природных катастроф, если отбросить совершенно фантастические толкования, вроде сравнения земли с живым организмом и приступами лихорадки, наиболее популярными, согласно римлянам Сенеке и Лукрецию, было объяснение землетрясений существованием пустот в земной коре, своды которых могут испытать обрушение, а оттуда может вырываться разогретый воздух или пар, вызванный разогревом воды подземными пожарами. Представление о подземных пустотах было, несомненно, навеяно широким распространением в Средиземноморье карстовых явлений, с которыми, в частности, были связаны исчезновение с поверхности и новое появление текучих вод, описывавшееся Страбоном. Причины вулканических извержений приписываются воспламенению воздуха, поднимающегося из подземных пустот. При этом уже у Овидия в качестве возможного источника этих подземных пожаров упоминается возгорание битума или серы.

Таким образом, уже у древних греко-римских мыслителей мы обнаруживаем определенные познания как экзогенных, так и эндогенных геологических процессов, хотя причины явлений были им либо не известны, либо неправильно поняты. Вместе с тем уже от этих античных времен нам в наследство осталось заметное количество специальных терминов для обозначения определенных типов горных пород: сненит, базальт, сланец, мрамор (греч.), кремень, мел, песок, наждак, туф, пемза, битум (лат.); минералов: гипс, топаз, гематит, берилл, аметист, сапфир, агат (греч.), опал, аурипигмент, авгит (лат.); ископаемых и живых моллюсков: Pecten, Buccinum, Strombus, Ostrea, Murex, Pectunculus и др.

Приходится, однако, констатировать, что древние мыслители не проявили никакого интереса к таким фундаментальным для будущей геологической науки предметам, как земная кора, слагающие ее породы, в частности осадочные пласты (за исключением перечисленных выше), условия их залегания (складки и пр.), рассматривали остатки морских организмов лишь как следы былого пребывания моря. Следовательно, до возникновения настоящей геологической науки было еще очень далеко, хотя отдельные ее элементы уже обнаруживаются в их трудах.

Общие представления об эволюции Земли Аристотелю, его ученикам и современникам вообще были еще чужды. Изменения в распределении суши и моря, о которых писал Аристотель, он рассматривал как периодические, циклические. Вселенную считал вечной и в общем неизменной. Впервые достаточно четко выраженную идею развития мы находим у двух великих поэтов — Лукре-

ция в поэме 60-х годов до н. э.<sup>1</sup> и Овидия в 9 г. н. э. Согласно Лукрецию, Земля родилась из хаоса, из смеси элементов. Затем самые тяжелые из них собрались в центре, а легкий флюид (эфир) поднялся вверх, чтобы образовать небо, среди которого родились Солнце и Луна. Под влиянием солнечного излучения Земля уплотнилась, из нее выделился солнечный пот, который скопился во впадинах, образовав море. В то время как равнины опускались, горный рельеф становился более резко выраженным. Далее на Земле появляются травы, деревья и цветы, затем животные и, наконец, первобытный человек. И затем Лукреций рисует вполне реалистическую картину развития человеческой цивилизации.

Несмотря на то что Овидий уже знал и даже восхищался поэмой Лукреция, его собственная версия развития Мира представляет шаг назад по сравнению с творением его римского предшественника. Это видно прежде всего из того, что основная роль в творении Мира приписывается Богу — творцу, архитектору, организатору всего миропорядка; все сущее создается им в готовом виде. Хотя Овидий скорее всего не был знаком с Ветхим заветом, но в его рассказе о сотворении Мира обнаруживается много общего с библейским текстом. У Овидия мы находим и рассказ о Всемирном потопе. Очевидно, у этих сказаний был общий и притом гораздо более ранний источник и, как указывалось выше, в их основе могло лежать реальное событие, действительно имевшая место в истории Земли несколькими тысячами лет раньше огромная природная катастрофа.

Геологическая наука выросла из практики использования человеком камней и минералов, из опыта хозяйственного освоения территорий, наблюдений за явлениями природы. Уже начиная с отдаленных времен наметилось два противоположных направления в объяснении природных процессов: одно из них получило в истории название нептунизма (от древнегреческого бога моря Нептуна), другое — плутонизма (от бога подземного царства Плутона). Нептунисты считали основой мироздания воду, плутонисты видели в огне первичный источник всего существующего и приписывали огню определяющую роль в создании и преобразовании мира.

Древнегреческий философ Фалес (около 625—547 г. до н. э.) и его последователи считали, что субстанцией, образующей мир, является вода: «Земля с живущими на ней тварями возникла из воды и вновь в нее обратится...». Ксенофан (614 г. до н. э.), Ксанф (500 г. до н. э.), опираясь на факт нахождения морских раковин в горах, сделали выводы о прежних затоплениях суши морем. Гераклит (544—474 г. до н. э.) первоначальной сущностью считал огонь: «...путем сгущения огня и появляются все вещи и путем разжижения в него превращаются...». Эмпедокл (около 490—430 г. до н. э.), живший в Сицилии, писал об ог-

<sup>1</sup> Произведение Лукреция было поэтическим пересказом идей, высказанных много раньше греческим философом Эпикуром (341—270 гг. до н. э.).

ненно-жидком ядре Земли и видел в этом причину извержения вулканов и образования горячих источников.

Разногласия этих философов впоследствии переросли в дискуссию о роли экзогенных и эндогенных процессов в формировании лика Земли, которая в течение времени то затухала, то с новой силой разгоралась среди естествоиспытателей.

## 2.2. СРЕДНИЕ ВЕКА — УПАДОК НАУКИ НА ЗАПАДЕ, РАССВЕТ НА ВОСТОКЕ

С падением Рима и распадом Римской империи наступил новый период в истории человечества, известный как Средние века. Он длился с III до XIII в. н. э., почти целое тысячелетие. В это время Европа переживала феодальную раздробленность, а христианская религия стала господствующей и приобрела исключительное влияние на мировоззрение людей.

Папа Григорий I в VI в. н. э. сжег Римскую библиотеку, запретил чтение античных книг, а также занятие математикой и естественными науками, как связанное с язычеством. Он объявил, что «незнание есть мать благочестия».

Любые научные выводы могли рассчитывать на признание лишь в том случае, если они согласовывались со Священным писанием. В противном случае их авторов ожидала суровая участь, как об этом свидетельствуют печальные примеры судеб Галилея и особенно Джордано Бруно. Поэтому, в частности, находки ископаемых раковин и скелетов позвоночных рассматривались лишь как следы Всемирного потопы, если только не как «игра природы» или проявление свойственной Земле «пластической, жизненной силы». Геоцентрическая система Птолемея была дополнена самой внешней сферой, которая рассматривалась как жилище святых, как «царствие небесное». Как в этом, так и во всем остальном Европа вступила в этап полного застоя научной мысли. По свидетельству известного французского геолога Ф. Элленберже в его труде по истории геологии, в это время «греко-римская цивилизация угасает, а затем погружается на Западе в хаос, который продолжается до начала XI века («темные времена», по определению британцев). В полном контрасте в VII и VIII веках совершенно неожиданным образом на Востоке расцветает новая и блестящая цивилизация, цементом которой служат ислам и арабский язык. Это «арабское чудо» спасает греческое научное наследство и оценивает его мощным образом».

На это важное обстоятельство раньше, еще в начале XIX в., указал великий немецкий естествоиспытатель А. Гумбольдт, отметивший, что арабы не только возвратили человечество к истокам греческой мудрости (они перевели на арабский язык основные сочинения греко-римских мыслителей), но и приумножили достижения своих античных предшественников. Арабы заимствовали также сведения из китайских и индийских источников, разрабо-

тали основы алгебры, тригонометрии, геодезии, сделали ряд открытий в области географии, астрономии, химии.

Эти достижения были справедливо оценены также русскими, узбекскими и таджикскими историками науки, последними тем более, что ряд ученых этого периода были их соотечественниками (см. ниже).

Арабская культура сформировалась в Южной Аравии. В VII в. началась быстрая экспансия арабов, распространившаяся на востоке на всю Переднюю и Центральную Азию, вплоть до границ Индии и Китая, а на западе на всю Северную Африку и даже Пиренейский полуостров. Возникло огромное теократическое государство — Халифат, первоначально с центром в Дамаске, затем в Багдаде. В его состав входили Таджикистан и Узбекистан.

Одним из крупных трудов арабоязычных ученых явился коллективный энциклопедический труд, составленный в X в. в Басре группой неизвестных авторов. В этом трактате описание геологических процессов дано с полнотой и логической последовательностью, превосходящими аристотелевские: речная эрозия, морская седиментация с отображением слоистых толщ (что отсутствовало у греков), их поднятие с образованием гор, затем размыв этих гор дождями и реками, пока море не покроет прежнюю сушу. Описывая такую циклическую последовательность событий, арабские авторы как бы предвосхищают, по словам Ф. Элленберге, идеи Дж. Хаттона — одного из основоположников научной геологии (см. ниже).

К той же эпохе относится научное творчество двух великих центральноазиатских ученых — узбека Абу Рейхана аль-Бируни (973—1048) и таджика Абу Али Ибн Сины, на западе известного как Авиценна (980—1037). Надо сказать, что почва для обобщений, выполненных этими учеными, была подготовлена расцветом горного дела и металлообработки, в основном цветных и драгоценных металлов и железа, а также добычи камней-самоцветов с ювелирными целями в Центральной Азии, свидетельством чего являются остатки многочисленных средневековых рудников. Развивалось здесь и использование подземных вод, а также ирригация засушливых земель.

Бируни не только придерживался мнения о шарообразности Земли (в то время многие евро-



Абу Рейхан аль-Бируни (973—1048)

пейские средневековые схоласты считали ее плоской), но и попытался довольно правильно определить длину ее окружности. Он составил географическую карту Старого Света, превосходившую по точности карты западных географов того времени. Бируни предложил правильное объяснение появления восходящих источников воды и образования речных наносов. Он справедливо указывает, что эти процессы требуют для своего осуществления длительного времени и что размеры отлагаемых рекой обломков зависят от скорости ее течения. Он повторяет также мысль древних греков о том, что море и суша могут меняться местами, и подтверждает это конкретными примерами Аравии и Закаспия. У Бируни, как указал Н. Н. Леонов, можно найти и высказывания, свидетельствующие о том, что ему не чужда была и мысль о возможном перемещении материков.

Большой интерес представляет «Минералогический трактат» Бируни, содержащий сведения по определению, обработке и применению около 100 минералов и горных пород. Он использует в качестве одного из диагностических признаков не только цвет и прозрачность, но и удельный вес минералов, впервые разработав способ его определения. Обратив внимание на жидкие включения в минералах, Бируни сделал заключение, что последние представляют собой продукт «окаменения воды».



Абу Али Ибн Сина (Авиценна)  
(980—1037)

Таджикский современник Бируни Ибн Сина более всего известен как врач и философ, но в его сочинении «Природа» содержится и важные соображения о происхождении «камней» — минералов, горных пород, ископаемых остатков животных и растений, а также гор. По мнению Ибн Сины, «камни» могут образовываться двумя путями — либо из грязи благодаря нагреванию солнечными лучами, т. е. ее высыханию, либо из водной среды путем коагуляции опять-таки вследствие разогрева и высыхания; это касается и остатков животных и растений. Причиной образования гор могли явиться землетрясения, в свою очередь порожденные дупновением подземного воздуха (идея, вероятно, позаимствованная у древних). Но другой причиной горообразования могло быть «окаменение» илистого материала. Очень важно, что Ибн Сина в качестве причины такого

окаменения допускает действие «интенсивного тепла под морем». Не менее важно и высказывание о том, что обитаемый ныне мир был некогда необитаемым и погруженным под океан. Наконец, впервые, на шесть веков ранее Стенона (см. ниже), говорится о том, что «...каждый раз, когда суша осушается вследствие отступления моря, она оставляет после себя слой (осадков), и мы видим, что некоторые горы кажутся нагромождениями слоя за слоем; поэтому правдоподобно, что грязь, из которой они состоят, в свое время была отложена слоями». При этом отмечается, что последовательность слоев отражает последовательность времени их отложения. Тем самым мы находим у Ибн Сины первое изложение основополагающего для стратиграфии и геологии вообще принципа суперпозиции слоев. В минералогическом разделе трактата Ибн Сины предлагается классификация минеральных тел, продержавшаяся до XVI в. Тела эти были разделены на четыре категории: камни, плавкие тела (металлы), серные горючие вещества и соли.

Но уже в начале XIII в. Центральная Азия подверглась монгольскому нашествию, положившему конец развитию здесь культуры и науки. Лишь в XV в. в Самарканде начинается их возрождение благодаря деятельности великого Улугбека, но оно касается в основном астрономии.

Заканчивая на этом краткий обзор достижений арабоязычных ученых, было бы несправедливым не упомянуть о достижениях их восточных соседей из Индии и Китая, тем более что они оказали определенное влияние на арабскую науку.

Китайцам, как известно, мы обязаны изобретением бумаги, магнитного компаса, сейсмографа, составлением первого звездного каталога, первым описанием некоторых минералов, причем все это относится еще к античным временам. В X в. н. э. Ли Сицэн описывает или упоминает уже около 200 минералов, горных пород, окаменелостей, минеральных вод. Ученый XII в. Чжу Си писал о раковинах, находимых на высоких горах, правильно истолковывая эти факты как свидетельство превращения низменностей в горы и окаменения мягкой материи.

Индия также с древнейших времен явилась краем интенсивного развития горного дела, добычи металлических руд, драгоценных и полудрагоценных камней, орошения засушливых земель. Индийские ученые признавали шарообразность Земли, предполагали ее осевое вращение и создали свой астрономический календарь. Знали они и о свойствах многих горных пород и минералов, особенно драгоценных камней.

С наступлением XI в. начал рассеиваться мрак, в который погрузилась Европа шестью веками ранее. Связано это было с неукротимой поступью истории, с развитием горнодобывающей промышленности, с открытием новых университетов, хотя в основном теологического направления — Болонского в конце XI, Парижского в начале XII в. Западная Европа принимает эстафету в развитии науки от угасающей теперь арабской культуры. Про-

исходит новое открытие сочинений античных, греко-римских мыслителей, особенно Аристотеля, причем в значительной мере благодаря сохранению их наследия арабами, основавшими, в частности, в Кордове, на юге Испании, огромную библиотеку, насчитывавшую сотни тысяч томов.

Одним из первых деятелей этого позднесредневекового периода, непосредственно предшествовавшего эпохе Возрождения, был теолог немецкого происхождения Альберт, прозванный Великим; он учился в Италии, преподавал в Париже, затем в Кёльне, стал епископом в Регенсбурге (Бавария), но обладал убеждением настоящего естествоиспытателя, утверждая, что «только опыт дает уверенность». Он во многом следовал Аристотелю, повторяя его слова о том, что суша и море неоднократно менялись местами, а также Ибн Сине (Авиценне) в отношении происхождения гор и окаменения остатков животных и растений. Вместе с тем он отвергал влияние расположения звезд на изменение в распространении моря и суши. Одновременно он высказывал сомнения по поводу возможности всеобщего затопления суши во время Всемирного потопа. К этому же выводу пришел ректор Парижского университета Жан Буридан.

### **2.3. ЭПОХА ВОЗРОЖДЕНИЯ (XV—XVII вв.). ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ. БЕРНАР ПАЛИССИ. НИКОЛАУС СТЕНОН**

В середине XV в. в истории Западной Европы совершается великий перелом. Он затрагивает и материальную, и духовную сферу развития общества. Ремесленные промыслы сменяются мануфактурами; начинают широко использоваться машины. Все возрастающие торговые связи ведут к резкому оживлению мореплавания; начинается эпоха великих географических открытий — Америки, Австралии; Магеллан совершает первое кругосветное путешествие. Русские «землепроходцы» присоединяют Сибирь и достигают Камчатки, а «мореходы» огибают Азию с севера, со стороны Северного Ледовитого океана, открывают Берингов пролив.

Развитие техники стимулирует и в свою очередь стимулируется развитием математики, вплоть до изобретения дифференциального и интегрального исчисления, а также механики. Последовало изобретение многих научных инструментов, включая телескоп и микроскоп. Огромное значение имело уже в самом начале эпохи изобретение книгопечатания — первая книга была напечатана в 1493 г. в Венеции. Еще раньше было открыто искусство гравирования, позволившее помещать в книгах иллюстрации.

В науке произошла первая настоящая революция, опередившая социальные революции XVI в. в Нидерландах, XVII в. в Англии, XVIII в. во Франции. И одним из наиболее ярких, если не самым ярким проявлением этой революции явилось создание польским астрономом Николаем Коперником (1473—1543) гелиоцентрической системы Мира (1543 г.), заменившей господствовавшую пол-

тора тысячелетия геоцентрическую систему Аристотеля—Птолея.

Колыбелью Возрождения была Италия, к тому времени ведущая из западноевропейских стран по уровню промышленного и культурного развития, а наиболее выдающимся представителем новой эпохи — Леонардо да Винчи (1452—1519), современник Коперника. Леонардо известен как художник, механик, но в его трудах мы находим и примечательные высказывания на геологические темы, во многом продиктованные его опытом гидротехника, строителя каналов. Именно поэтому его не интересуют ни вулканы, ни землетрясения, ни тектонические дислокации (хотя он и обращает внимание и даже зарисовывает некоторые из них). Зато он тщательно и точно описывает морфологию, динамику и эволюцию речных долин, процесс речной эрозии и накопления речных и морских наносов. Он, пожалуй, впервые подмечает, что эрозия расчленяет слои, которые ранее непрерывно протягивались через современные долины. Леонардо ясно представляет себе длительность эрозионных и седиментационных процессов. Он решительно отвергает как образование ископаемых раковин под влиянием звезд, так и их зарождение на месте или отложение вдали от моря вследствие Всемирного потопа. Всем этим фантастическим предположениям он противопоставляет свои фактические наблюдения. Вместе с тем он повторяет выводы своих греческих и арабских предшественников о непостоянстве расположения суши и моря. Во всем этом Леонардо да Винчи выступает как истинный естествоиспытатель, для которого теория и опыт неразделимы.



Леонардо да Винчи (1452—1519)

Другим крупным деятелем эпохи Возрождения, в творчестве которого геология, включая минералогию, занимала одно из главных мест, хотя основным занятием было гончарное ремесло, точнее керамика, был француз Бернар Палисси (1510—1589). Фактически он был пионером гидрогеологии, опубликовав в 1580 г. трактат «О водах и источниках». В нем он утверждает, что источники в конечном счете питаются дождевыми водами, просачивающимися в почву. В другом своем сочинении, посвященном ископаемым органическим остаткам, Палисси не только высказывает твердое убеждение в их именно органическом происхождении, но и указывает,



Георг Бауэр (Агрикола) (1494—1555)

что среди ископаемых встречаются остатки исчезнувших родов и видов, в том числе похожих на тропические. При этом он отвергает роль Всемирного потопа. В труде «О камнях» Палисси выступает как первый французский минералог. Он описывает кристаллическую форму минералов, отмечая ее специфичность, а также высказывает идею об образовании кристаллов из солевых растворов, отмечая отличие этого процесса от превращения воды в лед.

Однако гораздо большее значение в понимании минерального царства имела деятельность старшего современника Палисси, немецкого врача и металлурга Георга Бауэра, более известного под именем Георга Агриколы (1494—1555). Он долго жил в

г. Яхимове в Чехии — одном из центров обширной рудной провинции Центральной Европы, включающей Саксонию, Чехию, Моравию, Силезию. Не случайно здесь же несколько позже возникают первые учебные заведения, готовящие специалистов по горнорудному делу — во Фрайберге (Саксония), в Пршибраме (Чехия). Агриколе принадлежит разделение минеральных тел на две главные группы: однородных тел, или минералов, и сложных минеральных тел, или горных пород. Тем самым именно с Агриколы начинают различать собственно минералогию и петрографию. Он же предлагает свою классификацию минералов, подразделяя их на земли, соли, драгоценные камни, металлы, и горных пород, разделяя их по цвету, твердости и другим физическим свойствам. Агрикола описал 20 новых минералов в дополнение к 60 известным до него. Он высмеивает все еще удерживавшиеся представления астрологов об образовании минералов под влиянием небесных светил, в частности золота под влиянием Солнца, серебра — Луны, свинца — Юпитера, меди — Венеры, железа — Марса и т. д.

В трудах Агриколы можно видеть и начала учения о рудных месторождениях. Он выделяет разные формы залегания рудных тел: жилы, штоки, линзы, пластовые залежи (рис. 1). Происхождение этих тел он приписывает осаждению из воды или загустению «слоев земли». Циркулирующая по трещинам и каналам вода, образуемая за счет просачивания поверхностных вод, выделяя растворенные вещества, и дает начало рудным скоплениям. Про-



Рис. 1. Форма залегания минеральных тел (по Г. Бауэру, 1530; из книги Д. И. Гордеева):  
**а** — глубокие жилы (крутопадающее залегание); **б** — штоки, линзы; **в** — россыпи; **г** — скопление жил; **д** — расширенная жила или пласт (горизонтальное залегание); **е** — элементы жил; **ж** — скрещивающиеся жилы (пересекающиеся): 1 — под прямым углом; 2 — наискось; 3 — сброс; 4 — соединение нескольких жил в одну; 5 — разъединение жилы

исходит это благодаря тому, что вода на глубине нагревается под влиянием горения углей, битумов и других горючих веществ, превращается в пар, поднимается вверх, здесь охлаждается и конденсируется. В этих идеях Агриколы можно усматривать начало гидротермальной теории формирования рудных месторождений.

В еще большей степени, чем своими собственно геологическими трудами, Агрикола стал известен благодаря трактату «О горном деле и металлургии» (1556 г.). В нем на основе обобщения всего предшествующего опыта содержатся наставления по поискам и разведке полезных ископаемых, технике разработки руд, горной механике, горному искусству, обогащению руд, выплавлению металлов. Это сочинение использовалось в качестве руководства в Западной Европе в течение более 200 лет, до середины XVIII в.

#### 2.4. НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ XVII в. — КАНУН СОЗДАНИЯ НАУЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

Развитие естественных наук, включая математику и механику, резко ускоряется с наступлением XVII в., и многие исследователи говорят о следующей, после начала Возрождения, научной революции, в то время как другие видят в ней лишь продолжение и кульминацию предыдущей. В отношении развития геологических знаний принципиальная новизна этого этапа, охватывающего первую половину XVII в., заключается в огромном расширении горизонта познания нашей Земли, в переходе от разрозненных на-



Рене Декарт (1596—1650)

блюдений отдельных геологических процессов, в основном эрозии и седиментации, или таких их продуктов, как минералы, горные породы, руды, ископаемые органические остатки, или от общих соображений об изменениях в распространении суши и моря к первым попыткам создания общей теории Земли, а в более конкретном плане — к заложению основ стратиграфии и тектоники — двух дисциплин, без которых немыслима полноценная геологическая наука.

Среди деятелей этой новой эпохи прежде всего следует назвать имя великого французского ученого Рене Декарта (1596—1650), изложившего свои мысли относительно образования земного шара в «Философских принципах», изданных в 1644—1647 гг. Эти высказывания Декарта Ф. Элленберге образно на-

зывает «трубой, возвещающей научную революцию XVII века в науках о Земле, с продолжительными отзвуками».

Декарт утверждает в своем труде, что наша Земля представляет собой охладившуюся звезду, в центре которой еще сохранилась солнечная материя. Эта центральная область (М) сменяется внутренней (С) более плотной и твердой корой (в другом месте он полагает ее целиком металлической) и далее внешней (Е) менее плотной (состоящей из глины, песка и ила), еще выше (или между ними) залегает вода (D), а над ней воздух (В и Г). Это строение Декарт не считает изначальным, более того, он допускает, что оно было неустойчивым и претерпело в дальнейшем катастрофические изменения, иллюстрируя это соответствующими рисунками (рис. 2).

Как видно из сопоставления этих рисунков и текста, Декарт предполагает, что внешняя кора Е растрескивается и под влиянием силы тяжести обрушивается крупными обломками на внутреннюю кору С. Но так как поверхность последней меньшего размера, эти обломки нагромождаются одни на другие, как это и изображено на нижнем рисунке. При этом жидкая материя (вода) слоя D выжимается и занимает пустоты между обломками слоя Е. Приподнятые при общем обрушении внешней коры обломки и образуют горы, а поверх опущенных обломков расстилается море.

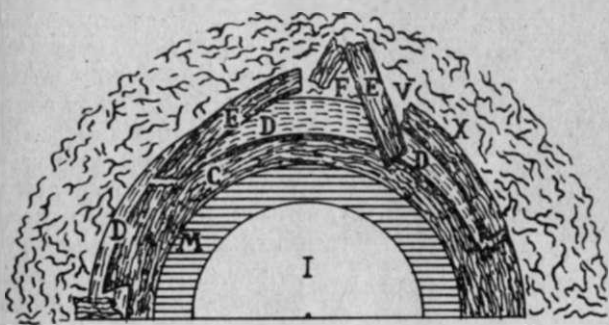
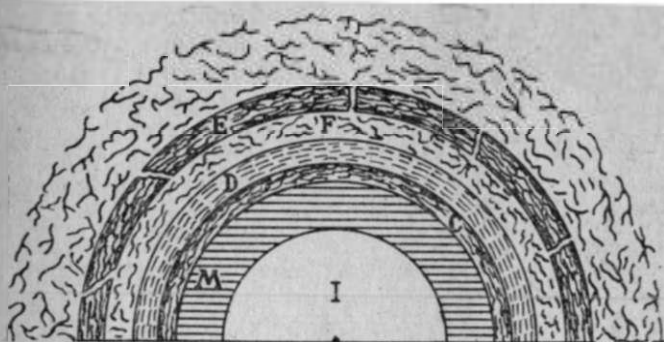


Рис. 2. Модель эволюции Земли (по Р. Декарту, 1644). Штриховкой показаны различные оболочки Земли, обозначенные буквами (см. пояснение в тексте)

Несмотря на значимость этих высказываний Декарта, следует отметить, что он в общем был далек от конкретной геологии: его, в отличие от предшественников в этой области, не интересовали собственно геологические процессы — эрозия, седиментация, даже органические остатки, неизменно привлекавшие внимание и служившие предметом споров натуралистов.

Между тем лишь несколько позднее, в 1666 г., во Флоренции, важнейшем культурном центре Италии, столице Тосканского герцогства, начал свою деятельность выходец из Дании, сын ювелира и медик по образованию (как, кстати, и Агрикола) Нильс Стенсен (1638—1686), получивший известность под латинизированным именем Николауса Стено, Стенониуса или Стенона. В истории геологии его творчество занимает особое и весьма почетное место, поскольку именно ему принадлежит формулировка нескольких принципов, лежащих в основе таких важнейших составных частей геологической науки, как стратиграфия и тектоника; велика роль Стенона и в развитии кристаллографии. Его мысли были изложены в двух небольших книгах, опубликованных в 1667—1669 гг., из которых важнейшей является книга «Предварительное изложение



Николаус Стено (1638—1686)

(Prodromus, вроде современного автореферата) диссертации о твердом, естественно содержащемся в твердом» (1669). Это, на первый взгляд, весьма странное, если не загадочное, название должно быть пояснено следующим образом: в нем речь идет о происхождении кристаллов минералов и органических остатков («твердых»), содержащихся в пластах горных пород (т. е. также в «твердом»).

Что же нового внес Стено в науку? Прежде чем ответить на этот вопрос, надо подчеркнуть, что все выводы Стенона были основаны на его полевых наблюдениях в Тоскане, и некоторые из приводимых им в подтверждение этих выводов примеров могут быть достаточно легко опознаны на местности. Метод решения поставленной перед собой задачи Стенон формулирует так: «Принимая, что некое тело

обладает некоторой формой и образовалось согласно законам природы, надо обнаружить в самом этом теле свидетельства места и способа его образования». Именно таким образом можно раскрыть проблему происхождения «твердого, заключенного в твердом», т. е. установить, образовались ли минералы в пустотах уже существовавшей твердой породы и в этом случае должны сообразоваться в своей форме с формой этой пустоты, например агаты, или, напротив, были уже твердыми, как органические остатки, когда материал будущей породы был еще в текучем состоянии.

Наиболее важными заключениями Стенона были следующие.

1. Любой осадочный слой первоначально имел непрерывное распространение — *принцип непрерывности слоев* — и лишь потом мог быть расчленен эрозией или тектоническими дислокациями.

2. Каждый данный слой образовался путем осаждения из жидкости и во время его образования вышележащие слои еще не существовали — *принцип суперпозиции слоев*.

3. Слои первоначально отлагаются горизонтально, и их подошва и кровля являются параллельными. Если же мы видим их в настоящее время расчлененными или наклонными, значит это произошло после их отложения. Отмечается, что эти изменения могут быть следствием лишь растворяющей деятельности воды и обрушения в образовавшиеся таким способом пустоты либо внезапно-

го подъема пластов, вызванного подземным пожаром или бурным выделением подземного воздуха, вытесненного соседними провалами.

Стенон подчеркивает, что изменение залегания слоев является главной причиной образования гор. Но горы могут быть также образованы огнем, выбрасывающим пепел и камни вместе с серой и битумом (вулканы?), либо размывом дождевыми водами и потоками.

Очень важные заключения содержатся в последней части основного труда Стенона, посвященной геологической истории Тосканы. Во введении к этой части содержится четкая формулировка метода актуализма: «Как современное состояние данного предмета нам открывает прошлое состояние того же предмета, со всей очевидностью становится ясным на примере Тосканы... ее современного облика: неровности, открывающиеся взору, содержат в себе признаки, обнаруживающие различные изменения, обзор которых я дам в краткой последовательности, идя от наиболее поздних к самым первичным». В этом абзаце изложена методология, которая лежит в основе всех геологических исследований.

Исходя из изложенных принципов, Стенон строит знаменитую серию профилей, отображающих его видение тектонической истории Тосканы (рис. 3). На последнем из этих профилей восстановлено первоначальное горизонтальное и параллельное залегание пластов, испытывающих затем обрушение, с последующим заполнением образовавшегося понижения новой серией слоев, несогласно прислоняющейся к предыдущей, но затем также подвергшейся обрушению. Таким образом, мы находим у Стенона ясное понимание нарушенного и несогласного залегания слоев.

Стенон выделены шесть этапов развития Тосканы. На первом этапе Тоскана вместе со всей Землей была покрыта водой, из которой отложились первичные осадочные породы, не содержащие остатков организмов. На втором этапе вода ушла в земные недра, поверхность осушилась, а в недрах образовались подземные пустоты под действием воды и подземного огня. На третьем этапе возникли неровности на поверхности Земли и в результате

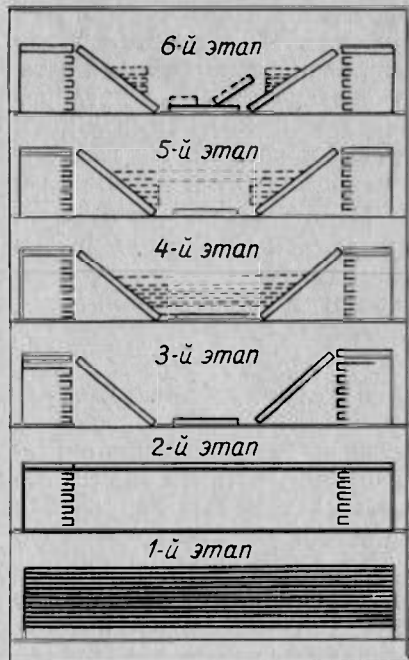


Рис. 3. История геологического развития Тосканы (по Н. Стенону, 1669) (см. пояснение в тексте)

обрушения в подземные пустоты пласты приобрели наклонное положение. На четвертом этапе произошел общий потоп, отложивший слой с окаменелыми остатками организмов; новые слои легли несогласно на более древние. В течение пятого этапа произошли новое осушение Земли и размыв поверхности суши реками и подземными водами. На шестом этапе в результате нового обрушения образовались современные горы и долины.

Надо сказать, что современные итальянские геологи показали, что данная Стеноном интерпретация геологической истории Тосканы хорошо согласуется с ее действительным геологическим строением и развитием. Так, первому этапу отвечает накопление палеонтологически немого флиша, а четвертому — неогеновых осадков.

Заметим, наконец, что, будучи не только наблюдательным натуралистом, но и глубоко религиозным человеком, закончившим свою жизнь епископом в Германии, Стенон отдал должное представлению о Всемирном потопе (четвертый этап), одновременно пытаясь дать ему рациональное объяснение — за счет выходящих на поверхность подземных вод и усиленных дождей.

К изложенному о деятельности Стенона следует добавить, что ему принадлежит выдающееся открытие в области кристаллографии, а именно открытие закона постоянства углов кристаллов, сыгравшего важную роль в истории минералогии.

Общие представления о строении и развитии Земли, намеченные Декартом, получили свое продолжение в труде великого немецкого философа и математика Г. В. Лейбница (1646—1716). Лейбниц, как и Декарт, принимает, что Земля первоначально была расплавленной, но далее намечает путь ее развития значительно более «геологичный», чем это было у Декарта, хотя и во многом сходный. По его мнению, «когда внешняя оболочка Земли остыла настолько, что могла сгуститься в пары, образовался всемирный океан, покрывший и высочайшие горы. Земная кора имела пористое строение. Своды над крупными подземными пустотами время от времени обрушивались и туда устремлялись поверхностные воды, что и привело к заметному понижению их уровня. Вследствие обрушения горизонтальные прежде пласты приняли наклонное положение, причем сохранившиеся участки остались в виде гор, а зоны провала образовали долины». Эти высказывания Лейбница перекликаются с выводами Стенона, с которым он общался в Германии.

Обращает на себя внимание тот факт, что упомянутые выше деятели не придавали никакого значения тому, что мы теперь называем эндогенными процессами и, в частности, тектоническим движениям, а вулканизм считали поверхностным явлением. Этот недостаток был преодолен в работах двух других ученых первой половины XVIII в. — англичанина Р. Гука (1635—1703) и итальянца А. Л. Моро (1687—1764). Физик Гук посвятил свою работу, написанную в 1688 г. и изданную в 1705 г., землетрясениям, ко-

Горы он связывал с действием подземного огня, вызывающего также и вулканические извержения.

Младший современник Гука А. Л. Моро в работе 1751 г., написанной под впечатлением активной вулканической деятельности в Средиземноморье (о Санторин, Везувий, Этна), посчитал эту деятельность за главный фактор изменения рельефа Земли, создавший матерки, острова и горы. За счет выброшенных из трещин, появившихся в горах, масс земли, песка, глины, металлов, серы, соли, битумов образовались осадочные слои, слагающие ныне равнины и вторичные горы. В этих слоях захоронены и остатки морских организмов, в то время как на участках суши развивалась наземная растительность и обитали сухопутные животные.

Надо отметить, что, в отличие от Стенона и несмотря на свой религиозный сан (аббат), Моро выступал против представлений о Всемирном потопе и критиковал взгляды Лейбница и других своих современников. Единомышленником Моро был его соотечественник и старший современник А. Валлиснери (1661—1730). Изучая Альпы, он одним из первых стал зарисовывать складки земной коры.

Между тем в эпоху Гука и Моро были еще очень сильны позиции «дилювианистов», сторонников Всемирного потопы, среди которых выделялся швейцарский профессор И. Я. Шейхер, принявший остатки гигантской саламандры за «остатки человеческого ребенка», погибшего во время Всемирного потопы.

В общем же в лице Гука и Моро мы видим возрождение идей древнегреческих плутонистов и предвосхищение аналогичных идей Хаттона и других плутонистов конца XVIII — начала XIX в.

Из ученых того периода достоин упоминания адъюнкт основанной в 1725 г. Петербургской Академии наук Г. В. Рихман (1711—1753). В статье 1739 г. «О достойных переменах, которым поверхность Земли от времени до времени подвержена бывает» главное значение он придавал деятельности текучих вод (а не морских течений, как Бюффон), размывающих горы и отлагающих осадки. Но горы понижаются и вследствие землетрясений, во время которых из недр вырывается огонь (очевидно, имеются в виду извержения вулканов); этот подземный огонь и служит причиной самих «трясений Земли». Рихман признавал и значение Всемирного потопы, но считал, что такие потопы повторялись многократно.

Труды естествоиспытателей первой половины XVIII в., содержащие как конкретные выводы о слоистой оболочке земной коры, о заключенных в ней окаменелостях, о причинах наклонного залегания слоев (Стенон), о землетрясениях и вулканической деятельности (Гук, Моро), так и общие соображения о строении и развитии Земли (Декарт, Лейбниц), приблизили наступление эпохи создания основ научной геологии, приходящейся на вторую половину XVIII в. и охарактеризованной в следующей главе. Нельзя не отметить значение крупнейшего события в естествознании, приходящегося на середину века; таким событием было появление космогонической гипотезы, предложенной немецким философом

И. Кантом (1755 г.) и в дальнейшем математически разработанной французским ученым П. Лапласом.

Геология возникла в противовес теологии, но долго сохраняла следы влияния средневековья. Говоря о геологии того времени, мы искусственно выделяем ростки геологических знаний из общей суммы представлений о нашей планете. Слово «геология» было впервые употреблено в современном его значении лишь в середине XVII в. Альдровандусом. Было много фантастических идей об образовании Земли (геогения), которые воспринимались в основном как увлекательное чтение. Геологи увлекались также явлением кристаллизации солей из воды.

Леонардо да Винчи, Б. Палисси, Р. Декарт, Н. Стенон, Г. Лейбниц по своим суждениям были ближе всего к современной науке. Но они не были поняты современниками. Геология находилась на стадии собирания отдельных фактов. Эмпирический материал природных наблюдений составлял основу труда естествоиспытателей. Если и присутствовало какое-либо теоретизирование, то оно, как правило, повторяло концептуальные положения непутизма или плутониума.

### **Глава 3. СТАНОВЛЕНИЕ НАУЧНОЙ ГЕОЛОГИИ (ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XVIII СТОЛЕТИЯ)**

#### **3.1. ПЕРВЫЕ КОСМОГОНИЧЕСКИЕ ГИПОТЕЗЫ И НАЧАЛО НАУЧНОЙ ГЕОЛОГИИ**

Эпоха Возрождения явилась переломным моментом в развитии естествознания. Успехи математики и механики дали резкий толчок развитию многих отраслей знания, но темпы становления новых научных дисциплин были неодинаковыми. Геология не сразу приобрела статус самостоятельной науки, лишь к концу XVIII — началу XIX столетия она достигла стадии зрелости. Замечательные идеи Леонардо да Винчи, Б. Палисси, Н. Стенона и других естествоиспытателей лишь подготовили почву для научного истолкования накопленных геологических знаний, но они не могли преодолеть того мощного давления, которое оказывала на ученых церковь. Сочинения Н. Стенона на протяжении полутора веков были мало известны, лишь в 30-х годах XIX в., после того как Эли де Бомон перевел и опубликовал геологическую часть его работы, идеи Н. Стенона стали популярны. До середины XVIII в. не было подлинно научного взгляда на историю становления нашей планеты, а существовавшие представления носили в своей основе, как правило, фантастический характер. Гелиоцентрическая модель строения Солнечной системы Н. Коперника, космогонические идеи Р. Декарта и Г. Лейбница, завоевавшие впоследствии основные позиции в науке, не пользовались всеобщим признанием; философия Аристотеля, средневековая схоластика и геоцентрическая мо-

дель Птолемея, поддерживаемая религией, многими считались проблемами и сдерживали развитие естествознания.

В середине XVIII в. появились космогонические гипотезы, в которых были сделаны попытки создания научной модели становления Солнечной системы. Французский натуралист Ж. Л. Леклерк де Бюффон (1707—1788), сыгравший большую роль в обобщении и популяризации достижений современного ему естествознания, в 1749 г. в первых трех томах своей «Естественной истории», вышедшей под названием «Теория Земли», изложил концепцию возникновения планетной системы. Согласно гипотезе Ж. Л. Бюффона, планеты образовались вследствие сильного удара по Солнцу кометы; комета отщепила от Солнца часть вещества, которое получило вращательный момент и под влиянием притяжения Солнца стало вращаться вокруг него. Планетное вещество при столкновении перешло в расплавленное состояние, но вследствие относительно малых размеров своих частиц быстро остывало, при этом малые планеты остывали быстрее. Затем из водяных паров, захваченных из солнечной атмосферы, образовался океан, который первоначально покрывал Землю.



Жорж Луи Леклерк де Бюффон  
(1707—1788)

История возникновения планет Солнечной системы, предложенная Ж. Л. Бюффоном, была первой «катастрофической» гипотезой происхождения Солнечной системы. Хотя впоследствии она неоднократно подвергалась критике, положительное значение ее состоит в том, что ее автор впервые привлек внимание естествоиспытателей к оценке роли внешних космических факторов, оказывающих влияние на развитие нашей планеты. В идеях, высказанных Ж. Л. Бюффоном, было много фантастического, но его работы, изложенные блестящим языком, увлекающие смелостью мысли, способствовали популяризации естествознания, усилили интерес к вопросам геологии. В своем крупном труде «Эпохи природы» (1778) Бюффон предпринял первую попытку наметить основные этапы развития нашей планеты, выделив 7 таких этапов: 1) когда Земля и планеты приняли свою форму; 2) когда Земля отвердела внутри и с поверхности; 3) когда воды покрыли наши континенты; 4) когда схлынули воды и начали извергаться вул-



Иммануил Кант (1724—1804)

каны; 5) когда слоны и другие южные животные жили на северных землях; 6) когда произошло разделение континентов (путем обрушения промежуточной суши, в том числе легендарной Атлантиды); 7) период могущества человека. Бюффон первым попытался оценить длительность истории Земли, придя к цифре 75 тысяч лет, которая, как мы теперь знаем, крайне далека от истинного значения. Но и эта длительность резко противоречила сроку, отводимому Библией, и вызвала нападки духовенства.

Неменьшее значение для развития естествознания имело появление книги немецкого философа И. Канта (1724—1804) «Всеобщая естественная история и теория неба, или Опыт об устройстве и механическом происхождении всего мироздания на основании ньютоновских законов», изданной в 1755 г. Гипотеза И. Канта сводилась к тому, что вся Вселенная образовалась из первичной материи, состоявшей из мелких твердых (холодных) частиц, равномерно распределенных в пространстве; эти частицы отличались по плотности, были неоднородны. Под действием силы тяжести началось образование центров сгущения материи; одновременно материя приобрела вращательный момент. В дальнейшем вокруг Солнца из пылевого облака образовались планеты.

В первоначальном виде гипотеза И. Канта не получила широкого признания. Она стала известна лишь после существенных поправок и изменений, которые внес в нее французский математик и астроном П. С. Лаплас (1740—1827). Свою гипотезу П. С. Лаплас опубликовал в 1797 г. под названием «О происхождении мира» в книге «Изложение системы мира». Согласно Лапласу, сначала существовала вращающаяся и сжимающаяся под влиянием силы тяжести газовая туманность с центром сгущения, из которого образовалось Солнце. По мере усиления сжатия туманность сплющивалась, от нее отделялись кольца, которые в свою очередь распадались с образованием центров сгущения — будущих планет. Первоначально, в отличие от представлений И. Канта, образовавшиеся из туманности планеты и их спутники

представляли собой, по Лапласу, раскаленные тела, которые в последствии остыли и затвердели.

Несмотря на различие в исходных условиях образования планет, которые предполагали И. Кант и П. С. Лаплас, их представления получили известность как космогоническая гипотеза Канта—Лапласа. В начале XIX в. она прочно вошла в науку и стала исходным положением для крупных теоретических выводов чисто геологического характера.

Крупной и незаурядной фигурой среди естествоиспытателей XVIII столетия является также и М. В. Ломоносов (1711—1765). При жизни его труды почти не отразились на развитии геологии, но вопросы, которые он поднимал, и достигнутые им результаты ставят его, по мнению В. И. Вернадского, далеко впереди его современников и многих более поздних ученых.

М. В. Ломоносов получил научное образование в Германии. Три года (1737—1739) он прожил в Марбурге, обучаясь у профессора Хр. Вольфа, друга и ученика Г. Лейбница, а затем переехал во Фрайберг, где под руководством профессора И. Генкеля в небольшой горной школе (будущей Горной академии) изучал практическое горное дело. Он посещал рудники и горные выработки Саксонии, Тюрингии и Гарца. Сделанные им там наблюдения стали основой его будущих геологических обобщений.

В 1741 г. М. В. Ломоносов вернулся в Петербург и стал адъюнктом Академии наук. Он оставил очень мало собственно геологических работ, из 120 его трудов вопросы геологии рассматриваются в 20, главные из них три: «Первые основания металлургии или рудных дел» (подготовлено к изданию в 1742—1743 гг., вышло в свет в 1763 г.) (рис. 4); «Слово о рождении металлов от трясения Земли» (публичный доклад, написанный в 1757 г. под впечатлением катастрофического землетрясения 1755 г. в Лиссабоне); «О слоях земных» (написано в 1750 г., опубликовано в 1763 г.).

Наиболее важными и реалистичными были представления М. В. Ломоносова о происхождении рудных тел. Среди рудных тел он различал «рудные жилы», «гнездовые руды», «слои в горах горизонтальные», «руды, на поверхности земной находящиеся», и показал, что жилы бывают разного возраста и несут в себе разную



Михаил Васильевич Ломоносов  
(1711—1765)

ПЕРВЫЯ ОСНОВАНІЯ  
МЕТАЛЛУРГІИ,  
ИЛИ  
РУДНЫХЪ ДѢЛЬ.



ВЪ САНКТ ПЕТЕРБУРГѢ  
печатаны при Императорской Академіи  
Наукъ 1763 года.

Рис. 4. Титульный лист книги М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел»

минерализацию. Образование рудных жил он связывал с различными по масштабу и возрасту движениями («трясениями») Земли, обусловленными воздействием внутреннего жара планеты. Вопреки существовавшим тогда представлениям, он связывал образование металлоносных россыпей с разрушением коренных месторождений золота и сносом золота реками: «...и нигде искать их столь не надежно, как по рекам, у коих на вершинах есть рудные горы...».

Наклонное положение слоев (флецов), формирование горных сооружений М. В. Ломоносов связывает с движениями Земли: «Наклонное положение камней диких к горизонту показывает, что оные слои сворочены с прежнего своего положения, которое по механическим и гидростатическим правилам должно быть горизонтально... И так, когда горы со дна морского восходили, побуждаемые внутренней силой, неотменно должныствовали составляющие их камни выпучиваться, трескаться, производить расщелины, наклонные положения, стремнины, пропасти разной величины и фигуры отменной». Среди движений земной коры он выделял: дрожания (современные землетрясения); медленные волнообразные, ответственные за наступания и отступления моря; быстрые (катастрофические), ответственные за формирование горных сооружений. Будучи по своим убеждениям катастрофистом, М. В. Ломоносов считал внутреннюю энергию Земли, обусловленную, по его мнению, горением серы, главным фактором формирования лица Земли, отводя экзогенным процессам второстепенную роль. Интересны его идеи о природе ископаемых окаменелостей. Он, в отличие от господствовавших в то время представлений, однозначно указывал на их органическое происхождение, но отрицал представление о их гибели от Всемирного потопа, считая, что они погибли вследствие разных причин, в разное время в ходе катастрофических природных процессов, а также при изменении положения границ суши и моря в ходе медленных волновых движений.

Прогрессивными были и представления М. В. Ломоносова о геологическом времени. Развивая учение об изменении климата на Земле в связи с изменением наклона земной оси к эклиптике, он указывал, что продолжительность этих явлений составляет около 400 тыс. лет (Ж. Бюффон предполагал 75 тыс. лет). «Общую продолжительность геологических процессов трудно оценить, — писал он, — но осадочные слои образовались не одновременно, а последовательно один за другим в разных условиях. «Рудная гора» (интрузия) моложе прилегающих к ней пластов осадочных пород (флецов), если она приподняла их. Также более поздним событием, чем образование пластов, являются их разрывы».

М. В. Ломоносов сделал ряд важных наблюдений в области минералогии. Он дал свою классификацию горных пород: металлы, полуметаллы, жирные (горючие) минералы, соли, камни и земли, руды. В этой классификации кроме химического и минералогического состава он использует структуру и текстуру пород, а также учитывает их генезис. Вслед за своим наставником профессором И. Генкелем он увлекается изучением кристаллизации растворов. М. В. Ломоносов опередил Ж. Роме де Лилля, установив, что минералы характеризуются свойственной каждому из них кристаллографической формой. Измеряя грани углов алмаза и других кристаллов, он независимо от Н. Стенона вывел закон о постоянстве углов кристаллов. В 1740 г. в диссертационной работе «О рождении кристаллов селитры» М. В. Ломоносов объяснил

постоянство углов плотнейшей укладкой шарообразных частей корпускул.

М. В. Ломоносов мечтал создать «Минералогию России», к сожалению, его мечте не суждено было сбыться, но его ближайший преемник по академии В. М. Севергин в конце XVIII в. сумел создать минералогический словарь и дать минералогическое описание России, отвечающее замыслу М. В. Ломоносова.

Уже этих примеров достаточно, чтобы убедиться в глубине и прозорливости мышления М. В. Ломоносова, и хотя геология как наука при жизни М. В. Ломоносова еще не оформилась, деятельность М. В. Ломоносова не могла пройти бесследно. Сочинение М. В. Ломоносова «О слоях земных», по мнению В. И. Вернадского, по ясности и яркости проведения идеи единства геологических процессов является для XVIII в. исключительным.

Помимо обобщающих трудов по происхождению нашей планеты и формированию современного лика Земли, во второй половине XVIII в. широко проводилось детальное изучение горных выработок в районах, традиционно считающихся богатыми рудными полезными ископаемыми, а также организовывались крупные экспедиции по исследованию новых рудоносных районов. При изучении рудных месторождений большое внимание уделялось исследованию внешних признаков минералов, совершенствовались методы изучения и описания формы и свойств минералов (лупы, эталоны, твердости, гониометры). Увлечение процессами кристаллизации минералов из растворов положило начало изучению их химического состава и разработке новых методов исследования минералов.

Шведский химик и минералог А. Ф. Кроншtedт (1722—1765) предложил первую классификацию минералов по химическому составу, Т. О. Бергман (1735—1784) — метод паяльной трубки для химического анализа рудных минералов.

Во второй половине XVIII в. начались исследования по изучению последовательности напластования осадочных горных пород. Среди первых попыток расчленения осадочных пород по времени их образования выделяется работа венецианского минералога Дж. Ардуино (1714—1795), который проводил исследования в Северной Италии, в том числе в районах, где почти сто лет до этого работал Н. Стенон. Дж. Ардуино выделил здесь три последовательно образовавшихся комплекса отложений, названных им соответственно первичными, вторичными и третичными. Первый из них включает слюдястые, интенсивно складчатые породы, пронизанные кварцевыми жилами, лишенные ископаемых; второй — менее дислоцированные слоистые осадочные породы (известняки, мергели, глины) с многочисленными остатками морских ископаемых; третий — комплекс слоистых пород (известняков, глин, песков и др.), часто состоящий из обломков второго комплекса и заключающий в себе большое количество флоры и фауны. В качестве самостоятельной группы он выделял вулканические породы. Предложенное Ардуино деление надолго удержалось в литературе, а во Франции, например, используется и по сей день.

Одновременно с Дж. Ардуино стратиграфические исследования начинают развиваться во Франции, Германии, Англии и других странах Западной Европы. Во Франции Ж. Э. Геттар (1715—1786) изучил осадочные породы Парижского бассейна и заключенные в них окаменелости, составил первую литолого-стратиграфическую геологическую карту этой области. Он обнаружил в Центральном массиве, в районе Оверни потухшие вулканы, которым было суждено сыграть заметную роль в будущих дискуссиях плутонистов и нептонистов. Позже Н. Демаре (1725—1815) составил первую геологическую карту района Оверни.

Наиболее благоприятными для изучения стратиграфии оказались разрезы в горнопромышленных районах Германии. Первой в истории геологии работой, в которой дается детальное описание стратиграфического разреза сравнительно обширной области, была книга «Опыт восстановления истории флечовых гор», опубликованная в 1756 г. в Берлине И. Г. Леманом (1700—1767), который в 1761 г. был приглашен в Россию и избран членом Петербургской Академии наук. Основные результаты своих исследований И. Г. Леман отобразил графически, впервые составив детальнейший сводный разрез юго-восточного Гарца, на котором показаны последовательность напластования и состав всех наблюдаемых им слоев. Ряд названий, которыми И. Г. Леман обозначил выделяемые им слои, такие, как «цехштейн», «медистый сланец», «мертвый красный лежень», прочно вошли в геологическую литературу и до сих пор сохранили свое значение.

Принципиально важный шаг в исследовании стратиграфического разреза Тюрингии был сделан Г. Х. Фюкселем (1722—1773). В опубликованной им в 1762 г. работе «История Земли и моря, установленная по истории Тюрингских гор» он впервые пытался разработать и использовать систему соподчиненности стратиграфических понятий, выделяя в качестве самостоятельных стратиграфических таксонов слои, залежи, формации. Формации Г. Х. Фюксель рассматривает как комплекс тесно связанных по составу и залеганию слоев, возникших в одинаковых условиях, отвечающих определенной эпохе в жизни Земли; смена формаций отвечает последовательной смене различных эпох в истории Земли. В этих представлениях мы уже видим истоки будущего учения о геологических формациях, название которых и было предложено Фюкселем.

Почти одновременно с работами Г. Х. Фюкселя вышел из печати труд английского ученого Дж. Митчела (1724—1793), в котором была описана последовательность напластования осадочных пород от Йоркшира до Ла-Манша. Дж. Митчел дал общую схему расположения слоев и впервые закартировал складчатые структуры, объясняя полосовой рисунок отдельных характерных слоев в плане эрозией смятых в складки осадочных пород.

Таким образом, в последней четверти XVIII столетия уже были созданы стратиграфические, вернее литолого-стратиграфичес-

кие, схемы для отдельных районов Западной Европы и появились первые геологические (литолого-стратиграфические) карты.

### 3.2. ПРОТИВОРЕЧИЯ В ВОПРОСЕ О РОЛИ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ В РАЗВИТИИ ЗЕМЛИ (БОРЬБА НЕПТУНИСТОВ И ПЛУТОНИСТОВ)

Исследования И. Г. Лемана, Г. Х. Фюкселя и других естествоиспытателей подготовили благоприятную почву для развития идей знаменитого профессора геогнозии Фрайбергской горной академии — А. Г. Вернера (1750—1817).



Абраам Готтлиб Вернер (1750—1817)

А. Г. Вернер родился в прусской Силезии, отец его имел служебное отношение к горному делу, и будущий ученый уже в детские годы собрал коллекцию образцов минералов. Он учился во Фрайбергской горной академии, хорошо знал минералогию и геологию Рудных гор и прилегающих районов Саксонии. Во время последней учебы в Лейпцигском университете А. Г. Вернер опубликовал первую научную работу «О внешних особенностях ископаемых». В 1775 г. он вернулся во Фрайберг как горный инспектор и вскоре был избран профессором Горной академии, где проработал в течение 40 лет.

А. Г. Вернер справедливо считается создателем немецкой геологической школы. В своих обобщениях и выводах он всегда использовал материалы предшественников. Это был высокообразованный человек, блестящий лектор. Обладая незаурядным педагогическим мастерством, в своих лекциях он затрагивал самые

разнообразные геологические проблемы, увлекательным рассказом уводя слушателей далеко за рамки освещаемых вопросов. Геогнозия (термин Г. Х. Фюкселя) определялась А. Г. Вернером как «наука, изучающая твердое тело Земли как в целом, так и в виде различных сообществ минералов и горных пород, из которых она состоит, а также их происхождение и соотношение друг с другом». Слава А. Г. Вернера вскоре превратила скромную горную школу, затерявшуюся в маленьком саксонском городке, в центр европейского геологического образования. Знаменитый французский натуралист Ж. Кювье впоследствии писал о Вернере: «Он так

превосходно излагал свой предмет, что пробуждал энтузиазм у своих слушателей и разжигал в них не только склонность, но и страстную веру в свое учение... В маленькой академии Фрайберга, созданной с целью подготовки горных инженеров и штейгров для шахт Саксонии, возрождался спектакль, воскрешавший в памяти университеты средневековья; студенты стекались сюда из всех цивилизованных стран. Здесь можно было встретить людей уже немалых и достигших видного положения, которые старательно изучали немецкий язык, чтобы получить возможность припасть к стопам этого Великого оракула в науках о Земле».

По А. Г. Вернеру, все минералы и горные породы произошли путем кристаллизации из водной среды, исключение составляли молодые вулканические породы, имеющие, по его мнению, незначительное распространение. Подобный путь образования горных пород подтверждался, по Вернеру: 1) наличием кристаллизационной воды; 2) содержанием остатков органических веществ; 3) наличием характерной для водных осадков слоистости и залегания; 4) наличием плитчатой или близкой к ней отдельности. Система стратиграфических представлений А. Г. Вернера опиралась на понятие «залегание» (Lagegung), отражающее последовательность и время образования различных горных пород, и понятие «формация» (Formation), отражающее условия их образования.

Анализируя разрезы горных массивов Гарца, Рудных гор и прилегающих к ним равнин, А. Г. Вернер установил, что в истории Земли было несколько эпох поднятия и спада уровня вод Мирового океана. Периоды подъема уровня воды и последующего спада он называл соответственно древнейшим временем и флещевым временем. В первую, древнейшую эпоху воды покрывали всю поверхность Земли, включая вершины гор Гарца и Тюрингенского Леса. В эту эпоху и при последующем спаде вод отложились химическим путем «первозданные» породы — граниты, гнейсы, сланцы, кварцевые порфиры и другие, слагающие ядра этих гор. Когда уровень воды начал падать, стали формироваться горные породы, состоящие частично из химических осадков, частично из обломочных осадков, отлагающихся механическим путем, — «переходные» породы, в которых встречаются редкие окаменелости. При дальнейшем понижении уровня океана образовались «флещевые породы», среди которых механические осадки преобладали над химическими и в большом количестве встречаются окаменелости. И наконец, пониженные участки заполнялись «новейшими наносами», состоящими из обломочной фракции, а вулканические породы имели подчиненное значение. Наклонное залегание слоев увязывалось с наклонным положением первичной поверхности, на которой они отлагались, или с неравномерным осаждением неуплотненных осадков и их сползанием по этой поверхности, если она была крутой.

В своей фактической основе стратиграфическая схема Вернера была узкоэмпирической, но поскольку до начала XIX в. Центральная Германия была почти единственной областью, стратиграфический разрез которой был установлен достаточно детально, от-



Г. Бенедикт де Соссюр (1740—1799)

существование противоречий придавало этой схеме видимость универсальности. Считая, что все породы образовались из воды, и определяя роль вулканизма как чисто поверхностного и сугубо второстепенного фактора, Вернер отрицал влияние внутренней энергии на становление лика Земли. При кажущейся на сегодняшний день наивности взглядов Вернера и его последователей, в литературе известных как непунизм, они были привлекательны, поскольку, с одной стороны, представлялись логически последовательными, с другой — региональные исследования, проводимые многочисленными учениками А. Г. Вернера во второй половине XVIII в. в разных странах, также, казалось бы, укладывались в схему Вернера. И наконец, непунизм имел дос-

статочно близкие связи с дилювианизмом, а идея Всемирного потопа была популярна вплоть до середины XIX столетия (см. ниже).

Первый исследователь геологического строения Альп швейцарский естествоиспытатель Г. Б. де Соссюр (1740—1799) в первом томе книги «Путешествия» также пришел к заключению, что материал, из которого состоят слои, образовался в результате кристаллизации из водного раствора. По его мнению, нет никакой необходимости объяснять наклонное положение слоев действием подземных сил, оно могло образоваться в результате «неправильной кристаллизации». Однако в дальнейшем, когда Соссюру встретились «стоящие на головах» слои конгломератов, он вынужден был признать, что процессы кристаллизации не могут объяснить их современного залегания, следовательно, первоначально их залегание было горизонтальным.

Другой современник Вернера П. С. Паллас (1741—1811), известный исследователь Альп, Апеннин, Кавказа, Крыма, Урала и Сибири, получивший образование в Германии и затем переехавший на постоянное жительство в Россию, где в 1767 г. он был избран действительным членом Петербургской Академии наук, оказал значительное влияние на развитие геологических наук того времени. Имея большой опыт исследования горных стран, он предложил общую схему их строения, которая по существу отвечала концепции А. Г. Вернера. Однако, в отличие от Вернера, Паллас полагал, что граниты, слагающие ядра горных сооружений и образующие их вершины, никогда не были покрыты морем и возник-

ли вместе с рождением Земли. Именно наклон их первозданной поверхности определил последующий наклон слоев горных пород, образовавшихся в результате разрушения гранитов и накопления химических осадков. Он считал, что обнаруженная им в горных породах тропическая фауна в процессе катастрофического наводнения, вызванного поднятием Австралии и некоторых крупных островов Южного океана, была перенесена водными потоками в северные широты. Вулканы, по мнению Палласа, не оказывали значительного влияния на формирование лица Земли, поскольку они образовывались на небольшой глубине в результате горения каменных углей и других горючих материалов.



Петр Симон Паллас (1741—1811)

Разработанная А. Г. Вернером система стратиграфической последовательности слоев и предложенное им объяснение формирования горных сооружений долгое время пользовались широким признанием. Но все чаще и чаще исследователи, занимавшиеся изучением действующих вулканов, стали обращать внимание на удивительное сходство молодых застывших лавовых потоков и их древних аналогов. Катастрофические извержения современных вулканов, описанные в многочисленных трудах античной эпохи, и разрушительные землетрясения указывали на большую вероятность другого способа образования горных сооружений, обусловленного выделением внутренней тепловой энергии Земли, о чем писал еще в 40-х годах XVIII в. итальянский естествоиспытатель А. Л. Моро, который, исследуя вулкан Этну, высказал идею о связи горообразования с вулканизмом.

Первым серьезным оппонентом Вернера стал замечательный шотландский естествоиспытатель Дж. Хаттон (1726—1797)<sup>1</sup>. Получив медицинское и юридическое образование, он, поселившись в своем имении, увлекся геологией, которая и стала смыслом его жизни. В окрестностях г. Эдинбурга, куда он впоследствии переехал, Дж. Хаттон провел наблюдения, которые убедили его в магматическом происхождении зеленокаменных пород. Изучая горячие контакты гранитов северо-восточной Шотландии, он также пришел к выводу об их магматическом происхождении. Структур-

<sup>1</sup> В принятой у нас транскрипции — Геттон.



Джеймс Хаттон (1726—1797)

(рис. 5), где он пишет, что формирование Земли подчиняется законам физики и химии, что все процессы на Земле вызваны силой тяжести и внутренним теплом. «Подземный жар» явился причиной внедрения по трещинам жильных пород, первоначально представлявших собой расплавленное вещество, таким же образом, по его мнению, формировались граниты, базальты и другие подобные породы. Под действием «подземного жара» происходит нагревание, коробление и воздымание горных пород, образуются горные сооружения. Дж. Хаттон называл Землю машиной, поскольку все процессы, происходящие в ее недрах, связаны между собой не только в пространстве, но и во времени. «Развалины старого мира видны в современной структуре нашей планеты», — писал он, указывая, что слои, слагающие современные континенты, произошли от разрушения прежних материков, которые образовались за счет разрушения еще более древних участков суши. История Земли, по Хаттону, имеет циклическое развитие, в «экономике природы мы не находим ни следов начала, ни признаков конца», — писал он.

Идеи, которые развивал Дж. Хаттон и его немногочисленные сторонники, находились в явном противоречии с общепризнанными постулатами учения Вернера. Э. Хэллем очень живо описывает накал борьбы и ход полемики сторонников нептунизма и плутонизма, справедливо указывая, что сила вернеровской системы заключалась в попытке исторического анализа последовательности образования горных пород. В работе Хаттона не рассматривались вопросы стратиграфии, хотя он и признавал образование слоистых

ная позиция магматических пород, которые формировали ядра и слагали вершины горных сооружений, привела его к мысли о решающей роли внутренней энергии Земли в их образовании, что вступало в явное противоречие с точкой зрения нептунистов. Поступление тепла из недр Земли, магматические процессы периодически приводили к изменению ликка Земли, поэтому сторонников идей Хаттона называли плутонистами. Дж. Хаттон утверждал, что на нашей планете одновременно взаимодействуют процессы созидания и разрушения, приводящие к формированию двух типов горных пород — магматических и осадочных.

Свои наблюдения Дж. Хаттон опубликовал сначала в виде небольшой статьи, затем вышла в свет его книга «Теория Земли»

*W. Thomson* No 8

**A B S T R A C T**  
**O F A**  
**DISSERTATION**

**READ IN THE**  
**ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH,**

**LIBRIS** UPON THE  
**SEVENTH OF MARCH, AND FOURTH OF APRIL,**  
**EDINBURGH,**  
**M, DCC, LXXIV,**  
**BIBLIOTHECA** CONCERNING THE

**SYSTEM OF THE EARTH,**  
**ITS DURATION, AND STABILITY.**

*By James Hutton M.D.*

Рис. 5. Титульный лист реферата будущей книги Дж. Хаттона «Теория Земли»

осадочных пород в водной среде. Неполюченность вернеровской стратиграфической системы заключалась в ее фрагментарности и локальности, органические остатки не привлекали должного внимания немецких исследователей второй половины XVIII в., их по-

строения основывались на изучении литологического характера слоев. Несмотря на точность и детальность наблюдений, предложенная схема последовательности напластования горных пород не могла претендовать на универсальность, но авторитет Вернера был настолько велик, что любые альтернативные представления часто не рассматривались всерьез. Представления Дж. Хаттона с современных позиций кажутся значительно более прогрессивными, но они не были восприняты современниками. Успех и признание к нему пришли намного позже, чему способствовало издание после его смерти, в 1802 г., книги его друга Дж. Плейфера (1747—1819) «Иллюстрации к хаттоновской теории Земли». Третий том книги Дж. Хаттона долгое время оставался неизданным и был выпущен в свет Лондонским Геологическим обществом лишь во второй половине XIX в.

Разгоревшийся во второй половине XVIII столетия спор между непунистами и плутонистами представлял собой возобновление дискуссии между сторонниками подобных идей античного периода, когда единство природы определялось той или иной субстанцией, формирующей мир. Непунисты считали, что такой субстанцией является вода, все возникает из воды и в нее превращается, плутонисты первоначальной сущностью всего считали огонь. Отголоски этой дискуссии слышались еще и в начале XIX столетия, но затем интерес к ней пропал, чему способствовали исследования ближайших и самых талантливых учеников А. Г. Вернера — Л. фон Буха и А. фон Гумбольдта и появление биостратиграфического метода, предложенного английским естествоиспытателем В. Смитом. Вместе с тем влияние идей плутонистов или непунистов окончательно не угасло. Как отмечал В. И. Смирнов (1910—1988), оно сохранилось в новое и новейшее время, в частности, в виде концепции рудных магм, наследующей взгляды плутонистов, и в форме концепции инфильтрационного рудообразования, возрождающей идеи непунистов (см. гл. 5.5). И в современную эпоху появляются отдельные работы, доказывающие преобладающую роль экзогенных процессов в развитии земной коры.

Несмотря на то что в конце XVIII в. противоречия между непунистами и плутонистами еще полностью не были разрешены, можно констатировать, что к этому времени, благодаря деятельности ряда крупных естествоиспытателей, начиная с Н. Стенона, был заложен фундамент геологической науки, которая и получила свое первое название — геогнозия. Стенон, а затем Ардуино, Фюксель, Вернер разработали принципы первого расчленения сплошной осадочной оболочки Земли; Моро, а затем Хаттон правильно оценили роль вулканизма и вообще магматизма, а Ломоносов — активную роль поднятий, а также, наряду с Хаттоном, относительное значение эндогенных и экзогенных процессов в развитии Земли. Сначала Декарт и Лейбниц, а затем Кант и Лаплас заложили космогоническую основу этого развития. Были предприняты (Бюффон, Ломоносов) первые попытки оценить реальную длительность истории Земли, выйдя за рамки библейского летоисчисления, и на-

ставить ее этапы (Декарт, Бюффон). Появились первые, хотя и несовершенные, геологические карты и стратиграфические разрезы. Наметились первые элементы классификации минералов и горных пород, начали изучаться их состав и физические свойства. Не хватало, однако, явно исключительно важного элемента — не был найден инструмент, позволяющий надежно определить относительную древность горных пород и провести их межрегиональную корреляцию; расчленение разрезов проводилось лишь на основе литологии, степени изменений, частоты встречаемости органических остатков. Таким инструментом стало изучение остатков фауны и флоры, но начало ему было положено уже в следующем веке.

## Глава 4. ГЕРОИЧЕСКИЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИИ (ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА XIX СТОЛЕТИЯ)

### 4.1. РОЖДЕНИЕ ПАЛЕОНТОЛОГИИ И БИОСТРАТИГРАФИИ

Наиболее ярким событием начала XIX столетия в истории геологических наук, равнозначным научной революции, явилось взаимосвязанное возникновение палеонтологии и биостратиграфии, создавших основу для полноценного геологического картирования. До этого расчленение разрезов осадочных толщ, как мы видели в предыдущей главе, производилось по литологическому составу, а ископаемые остатки организмов, находимые в слоях, изучались сами по себе, без привязки к конкретным слоям.

Как пишет Ж. Кювье, «многие ученые изучали ископаемые остатки организмов, они собирали и изображали их тысячами; их работы послужат великолепными коллекциями материалов, но интересуясь более животными или растениями как таковыми, чем теорией Земли, или смотря на эти окаменелости скорее как на курьезы, чем на исторические документы, или, наконец, довольствуясь частичным объяснением залегания каждого куска, они почти никогда не пытались искать общих законов залегания или связи ископаемых с пластами». И дальше: «Ни Вернер, ни де Соссюр не внесли в определение видов ископаемых организмов в каждой группе слоев той точности, которая стала необходимой с тех пор, как число известных животных столь разительно возросло».

Решающую роль в определении относительного возраста слоев с использованием остатков организмов, заключенных в этих слоях, сыграли работы английского естествоиспытателя В. Смита (1769—1839). Скромный землемер-самоучка, он начинает самостоятельно работать на угольных копях Сомерсетского бассейна, недалеко от г. Бата, а затем в качестве инженера участвует в проектировании и сооружении Сомерсетского угольного карьера. Помимо своих профессиональных обязанностей, он, изучая обнажавшиеся в выработках карьера слои горных пород, заинтересовался содержащимися в них органическими остатками и подметил,



Вильям Смит (1769—1839)

что смежные слои обычно содержат сходные ископаемые и, наоборот, далеко отстоящие друг от друга в разрезах слои характеризуются резко отличными окаменелостями. Одновременно с изучением последовательности напластования осадных пород и находящихся в них органических остатков В. Смит наносит распространение слоев на карту и составляет первую подлинно геологическую карту для окрестностей г. Бата в масштабе примерно 1:42 420 и геологическую карту графства Сомерсет (1:63 340).

По разным причинам В. Смит долго не публиковал свои наблюдения и лишь в 1799 г. под давлением друзей составил рукописный вариант «Таблицы последовательности слоев и заключен-

ных в них органических остатков в окрестностях г. Бата», который привлек внимание европейских геологов. Только в 1815 г. откорректированный вариант этой таблицы был опубликован в качестве стратиграфической легенды к «Геологической карте слоев Англии и Уэльса». Затем В. Смитом была подготовлена серия геологических карт «Нового геологического атласа Англии и Уэльса», которую он, однако, не успел закончить. Своими исследованиями В. Смит доказал закономерное распределение ископаемых остатков организмов в слоях земной коры и тем самым установил возможность их распознавания палеонтологическим (биостратиграфическим) методом. На основании этого метода он установил стратиграфическую последовательность слоев Англии и Уэльса и составил первые настоящие геологические карты, на которых осадочные отложения были расчленены не только по составу, но и по возрасту, правда относительно. После его работ геологическое картирование становится основным методом геологических исследований. Одновременно работами В. Смита была заложена основа создания стратиграфической (геохронологической) шкалы.

Г. П. Леонов (1908—1983), анализируя историю становления современной системы хроностратиграфической классификации, отметил, что в южной части Англии и Уэльса природа создала исключительно благоприятные условия для проведения стратиграфических наблюдений. Здесь на относительно небольшой площади на дневную поверхность выходят в ненарушенной последовательности почти все основные подразделения стратиграфического разреза фанерозоя, представленные в основном метаморфизован-

ными осадочными породами с большим количеством ископаемых остатков. Благодаря этому стратиграфическая схема В. Смита, хотя, как и схема А. Г. Вернера, была составлена для небольшой территории, она все же имела гораздо более универсальное значение, тем более что для расчленения разреза был использован био-стратиграфический метод.

Идеи В. Смита вскоре получили широкое распространение в Европе. Французские ученые Ж. Кювье (1769—1832) и Ал. Броньяр (1770—1847) провели исследования стратиграфического разреза Парижского бассейна и установили, что по ископаемым остаткам можно не только расчленить осадочные напластования по возрасту, но и восстановить физико-географическую обстановку их образования. В более молодых слоях встречаются ископаемые организмы, аналоги которых можно найти и в современном органическом мире. Древние слои содержат ископаемые остатки животных и растений, которые не встречаются среди ныне живущих и принадлежат к вымершим родам. Эти исследователи выделили среди ископаемых организмов пресноводную и морскую фауну и восстановили историю формирования Парижского бассейна.

В отличие от В. Смита они не ограничивались в своих исследованиях изучением слоев (современники часто называли В. Смита Страто-Смитом) и содержания в них определенных видов ископаемых остатков, т. е. не были, подобно Смиту, чистыми эмпириками; в основе их работ уже была заложена прогрессивная идея об изменении органического мира в ходе эволюции Земли, поэтому основной упор в своих изысканиях они отводили исследованию самой ископаемой фауны и флоры. Ж. Кювье, которого считают основателем палеонтологии и сравнительной анатомии позвоночных и который был крупной фигурой в научном мире Франции, прекрасно понимал значение ископаемых для восстановления истории Земли. «Между тем, — писал он, — мысль о таком изучении была вполне естественна. Как не замечали того, что исключительно ископаемым теория Земли обязана своим зарождением, что без них никогда не пришло бы в голову, что образование земного шара представляет ряд последовательных эпох и различных прогрессов!». Исходя из последнего тезиса, Ж. Кювье решил изучить совокупность этих явлений на каком-то ограниченном участке, а в лице Ал. Броньяра он нашел не только единомышленника, но и тонкого исследователя, одаренного геолога. В 1808 г. они опубликовали результаты исследований по геологии Парижского бассейна, где сформулировали свои выводы по сравнительному анализу ископаемых организмов. В дальнейшем Ж. Кювье использовал эти данные для обоснования своего понимания роли катастроф в истории Земли (см. ниже).

Исследования В. Смита, Ж. Кювье, Ал. Броньяра оказали решающее влияние на дальнейшее развитие геологии. Геология обрела достаточно мощный метод исследования, появилась логическая основа для региональных исследований. Сопоставление разрезов Англии и Центральной Европы позволило бельгийскому гео-



Рис. 6. Синтетическая схема осадочных образований Европы (по Ж. Б. Омалиусу д'Аллау, 1831)

логу Ж. Б. Омалиусу д'Аллау (1783—1875) выступить в 1831 г. с общими синтетическими схемами осадочных образований, которые являются прототипами расчленения верхнепалеозойских и мезозойских отложений в современной геохронологической шкале (рис. 6).

Дальнейшее развитие стратиграфии шло стремительно и уже к 40-м годам XIX столетия стратиграфическая шкала с выделением систем была разработана практически для всего фанерозоя. Кембрийская система была выделена английским геологом А. Седжвиком в 1835 г.; силурийская — англичанином Р. Мерчисоном<sup>1</sup> в 1839 г.; девонская — А. Седжвиком и Р. Мерчисоном также в 1839 г.; каменноугольная — английскими геологами В. Конибром и Дж. Филлипсом в 1822 г.; пермская — Р. Мерчисоном в России в 1841 г.; триасовая — немецким горным инженером Ф. Альберти в 1834 г.; юрская — А. Броньяром в 1829 г.; меловая — Ж. Б. Омалиусом д'Аллау в 1822 г., третичная — Дж. Ардуино в 1759 г.

В 1840 г. французский палеонтолог А. д'Орбиньи, горячий сторонник взглядов Ж. Кювье, описал около 12 000 ископаемых беспозвоночных, расположенных в хронологическом порядке, предложил понятие «ярус» и выделил 27 ярусов в разрезе мезозоя. В 1841 г. Д. Филлипсом было предложено разделить все известные в то время системы на три группы — кайнозойскую, мезозойскую и палеозойскую.

Во второй половине XIX столетия были выделены недостающие компоненты стратиграфической шкалы — неогеновая система в 1853 г. М. Хорнсом, палеогеновая система — в 1866 г. К. Науманом; архей — в 1872 г. Д. Дэна; протерозой — в 1887 г. Э. Эммонс.

<sup>1</sup> В традиционной транскрипции — Мурчисон.

Совершенно очевидно, что с созданием хроностратиграфической шкалы фанерозоя геология вступила в новый этап своего развития. Биостратиграфический метод расчленения осадочных толщ лег в основу геологического картирования, а результаты последнего дали мощный стимул развитию структурной геологии и геотектоники. Геология обрела статус одной из основных естественных наук.

Все это дает основание, вслед за немецким историком геологической науки К. Циттелем, назвать данный этап развития геологии героическим, тем более что к нему, как мы увидим ниже, относится и появление основополагающего труда Ч. Ляйеля «Основы геологии» (1830—1833).

#### 4.2. ПЕРВАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА — ГИПОТЕЗА «КРАТЕРОВ ПОДНЯТИЯ»

В начале XIX в. идеи нептунизма продолжали еще владеть умами ученых. В университетах Европы шло преподавание геогнозны на базе концепции А. Г. Вернера. Но расширение географии исследований привносило все новые и новые материалы, которые не соответствовали воззрениям нептунистов. К выводу о вулканической природе базальтов пришли В. М. Севергин, Г. Б. де Соссюр, Н. Демаре. Но самый тяжелый удар по нептунизму был нанесен двумя наиболее выдающимися учениками А. Г. Вернера — Л. фон Бухом и А. фон Гумбольдтом.

Л. фон Бух (1774—1853) уже в первые годы после окончания Фрайбергской горной академии зарекомендовал себя незаурядным полевым геологом. Убедленный нептунист, он в процессе своих исследований в Силезии, Альпах, Италии, Скандинавии, на Канарских островах пытался объяснить геологическое строение этих регионов согласно вернеровской парадигме. Но противоречия между предполагаемыми и реально наблюдаемыми геологическими процессами поколебали его убежденность. Он увидел воочию мощь современных вулканических процессов, обнаружил в Норвегии дайки гранитов, внедрившиеся в карбонатные породы, изменения на контактах с которыми указывали на интенсивное тепловое воздействие, обусловленное внутренней энерги-



Леопольд фон Бух (1774—1853)

ей Земли. И хотя Л. Бух публично не отказался от идей своего учителя, определяющая роль магматических процессов в ходе горообразования была положена в основу его тектонической концепции — гипотезы «кратеров поднятия».

Исследуя строение вулканических конусов на Канарских островах, Л. Бух обнаружил, что слои слагающих их горных пород всегда наклонены от центра кратера к периферии. Это позволило ему сделать предположение, что вследствие локального увеличения количества газов и паров в магме возрастает ее объем, магма поднимается из глубины, внедряется в осадочные толщи, раздвигая их. Осадочные породы, расположенные между двумя поднятиями, деформируются, апикальные части магматических построек обрушиваются, и образуется кратер. Строение таких «кратеров поднятия» очень напоминало картину, которая обычно наблюдалась в горных странах и в целом формально отвечала стратиграфической последовательности их строения, предложенной А. Г. Вернером, где ядра горных сооружений считались сложенными первозданными породами. Л. Бух выдвинул гипотезу, согласно которой все наблюдаемые нами вблизи поверхности Земли явления поднятия, смещения и смятия слоев вызваны непосредственным воздействием на них внедряющихся магматических пород, в частности авгитовых порфиритов. Эпохи интенсивного горообразования занимали короткие промежутки времени и носили катастрофический характер, в других местах море затопляло большие участки суши. Эпохи горообразования и трансгрессий сменялись эпохами покоя. Л. Бух изложил и опубликовал свою гипотезу («кратеров поднятия»; рис. 7) в 1809 г., а наиболее полно она была обоснована им в 1836 г. в книге «О вулканах и кратерах поднятия».

А. Гумбольдт (1769—1859), также выпускник Фрайбергской горной академии, один из самых ярких естествоиспытателей XIX в., которого современники называли Аристотелем XIX столетия, автор около 600 научных работ, среди которых «Картина природы», «Космос», «Путешествия в Южную Америку», оказавших определяющее влияние на развитие естествознания в целом. А. Гумбольдт, в отличие от своего учителя, познакомился с геологическим строением многих стран Западной Европы, а также Центральной и Южной Америки в период своего пятилетнего путешествия по Новому Свету (1799—1804). На региональном материале двух полушарий он почти одновременно с Л. Бухом пришел к гипотезе



Рис. 7. Схема образования горных сооружений (гипотеза «кратеров поднятия») (по Л. фон Буху, 1836; из книги В. В. Белоусова)

кратеров поднятия. Его поразило сходство геологических формаций, слагающих горные цепи. Он исследовал Береговые хребты Венесуэлы, Анды, Кордильеры Мексики и Центральной Америки и пришел к выводу об определяющей роли магмы в формировании этих горных стран; горообразование и сопровождающие его землетрясения происходят, по мнению А. Гумбольдта, в результате внедрения магмы и действия упругих газов. Вулканизму принадлежит определяющая роль как в современной, так и в древней геологической жизни Земли. Гумбольдт также подметил линейное расположение вулканов и высказал мысль об их связи с разломами земной коры, проникающими глубоко во внутренние части планеты.



Александр фон Гумбольдт (1769—1859)

Во второй четверти XIX в. гипотеза «кратеров поднятия» стала господствующей в геологии. Ее поддерживали Эли де Бомон, Б. Штудер и другие крупные геологи Западной Европы. В России сторонниками гипотезы были И. Соколов, Г. Д. Романовский, Н. А. Головкинский, Г. Е. Щуровский и другие исследователи.

Швейцарский геолог Б. Штудер (1794—1887), который руководил геологическими работами в Швейцарских Альпах, автор первой геологической карты Швейцарии, развил идеи Л. Буха. В отличие от своего предшественника, он считал, что причина поднятий и дислокаций горных пород определяется внедрением не только авгитовых порфиритов, но и широкого диапазона магматических пород. В результате расширения магма поднимается из внутренних зон Земли и внедряется в толщи осадочных пород, при этом поднимая последние. Таким образом, в ядре горного сооружения формируется кристаллический массив, который окаймляется осадочными толщами, естественно наклоненными к периферии. В процессе внедрения магма раздвигает горные породы, которые при этом сминаются в складки (рис. 8). Таким образом, горообразование и формирование складчатых сооружений в соответствии с гипотезой «кратеров поднятия» обусловлены внутренней энергией Земли, причем главная роль принадлежит вертикальным тектоническим движениям, определяющим подъем горной страны.

Легко видеть, что геологические воззрения Л. Буха, А. Гумбольдта как бы возродили забытые к тому времени, да и при жизни автора, малопопулярные идеи Дж. Хаттона. Внутренняя энер-

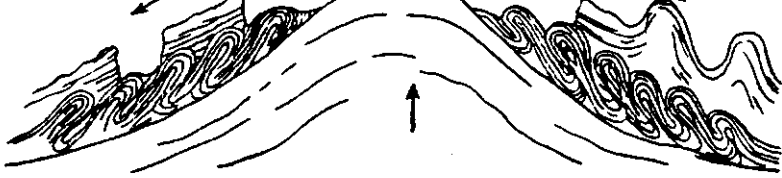


Рис. 8. Схема образования складчатости (по Б. Штудеру, 1848)

гия Земли, вулканические катастрофы являются определяющим фактором формирования лика Земли — эти идеи сторонников Дж. Хаттона завоевали общее признание и стали господствующими в 20-х—40-х годах прошлого столетия.

#### 4.3. КАТАСТРОФИСТЫ И ЭВОЛЮЦИОНИСТЫ — ИСТОРИЧЕСКИЙ СПОР ДВУХ НАУЧНЫХ ЛАГЕРЕЙ

В настоящее время продолжают существовать различные точки зрения на характер развития геологических процессов. Две противоположные позиции, которые обозначились в современной литературе, заключаются в представлении одна — о непрерывном и постепенном течении геологических процессов (градуализм), а другая — об их прерывистости (пунктуализм). Однако становится все более ясным, что в природе непрерывно-прерывистое развитие является нормальной формой реализации геологических процессов и периоды постепенных изменений геологической среды сменяются резкими качественными и количественными (катастрофическими) изменениями.

В начальный период становления геологии, когда впервые стали применять биостратиграфический метод изучения последовательности напластования осадочных пород, когда только начинали выявляться закономерности формирования горных сооружений, споры вокруг этой проблемы носили острый и непримиримый характер. Особенно большие споры возникали при анализе развития органического мира, а также при выяснении скорости проявления экзогенных и эндогенных процессов.

Как отмечалось выше, в первой четверти XIX в. идеи плутонистов, выразителями которых являлись Л. Бух и А. Гумбольдт, быстро завоевали популярность. Между тем концепция кратеров поднятия увязывала возникновение горных цепей, образование складок и разломов, проявления вулканизма и землетрясений с практически мгновенным катастрофическим выделением внутренней энергии Земли, наиболее наглядно проявившимся именно в эпизодичности землетрясений и вулканических извержений. Подобные мысли высказывал еще М. В. Ломоносов. Заключение о катастрофических преобразованиях в прошлом казалось совершенно логичным для многих выдающихся естествоиспытателей первой

половины XIX столетия. Французский геолог Л. Эли де Бомон (1798—1874), развивая концепцию Л. Буха, не только привязывал катастрофы к границам отдельных геологических систем, но и объяснял катастрофическими событиями перерывы и несогласия в напластовании горных пород, неоднократно проявлявшиеся в процессе формирования горных сооружений. В 1829 г. он высказал предположение, что простирание всех горных хребтов укладывается в 12 направлений, при этом все параллельные хребты возникали одновременно как следствие катастрофических событий.

К идеям катастрофизма благосклонно относилось духовенство, поскольку эти идеи были созвучны библейским представлениям о Всемирном потопе. Ученые, верившие в библейский потоп (дилювианисты), считали его самой последней крупной катастрофой в истории Земли. Ведущий последний «дилювианист» У. Бекленд (1784—1856), профессор Оксфордского университета, учитель Ч. Ляйеля и Р. Мерчисона, считал, что шесть дней творения должны восприниматься фигурально, и последовательные акты творения могли разделяться более продолжительными промежутками. Бекленд, хорошо знавший современную ему геологическую литературу, собрал обширный и разнообразный материал в подтверждение катастрофического Всемирного потопа.

Наиболее ярким представителем катастрофического направления явился выдающийся французский ученый Ж. Кювье. Ж. Кювье пережил бурные времена. Он видел падение аристократии, Французскую революцию, правление Наполеона, реставрацию, упадок и возрождение державы. Человек исключительных способностей, он приобрел колоссальное влияние на научную общественность. Ж. Кювье в силу обстоятельств приехал в Париж уже вполне сформировавшимся ученым и при своих дарованиях быстро занял в научном мире столицы одно из первых мест. В первый же год своего пребывания в Париже он читает курс сравнительной анатомии в Музее естественной истории, основанный на фактических данных, полученных при изучении ископаемых остатков. Кювье считал себя ученым-эмпириком и предвзято относился к абстрактным идеям, не обоснованным фактическим материалом. Наблюдая резкое различие в составе фаун смежных осадочных толщ, разделенных перерывами, он пришел к выводу, что при смене геологических эпох



Жорж Кювье (1769—1832)

**DISCOURS**  
**SUR**  
**LES RÉVOLUTIONS**  
**DE LA SURFACE DU GLOBE,**

**ET SUR LES CHANGEMENTS QU'ELLES ONT PRODUITS**  
**DANS LE REGNE ANIMAL;**

**PAR M. LE BARON G. CUVIER,**

Grand officier de la Légion-d'Honneur et de l'ordre de la Couronne de Wurtemberg, conseiller ordinaire au Conseil d'État et au Conseil royal de l'instruction publique, l'un des quarante de l'Académie-Française, secrétaire perpétuel de celle des sciences, des Académies et Sociétés royales des sciences de Londres, de Berlin, de Pétersbourg, de Stockholm, de Turin, de Göttingue, de Copenhague, de Munich, de l'Académie italienne, de la Société géologique de Londres, de la Société asiatique de Calcutta, etc.

**SIXIÈME ÉDITION FRANÇAISE,**

**REVUE ET AUGMENTÉE.**

---

**A PARIS,**  
**CHEZ EDMOND DUCAGNE,**

**LIBRAIRE-ÉDITEUR, RUE DES PRÉVÔTS AUGUSTINS, N° 12;**

**ET A AMSTERDAM,**

**CHEZ G. DUFOUR ET C<sup>o</sup>,**

**PRÈS LA BOURSE**

**1850**

Рис. 9. Титульный лист книги Ж. Кювье «Рассуждения о переломных на поверхности земного шара и об изменениях, какие они произвели в животном царстве»

органический мир изменялся мгновенно, что не позволяло проводить прямое сравнение органического мира более ранних эпох с современными организмами. Внезапные массовые вымирания организмов были обусловлены катастрофическими «переворотами на поверхности земного шара».

В наиболее развернутом виде Ж. Кювье изложил свои взгляды в предисловии к монографии об ископаемых костях, опубликованной в 1812 г. Впоследствии это предисловие неоднократно переиздавалось отдельно, под названием «Рассуждения о переворотах на поверхности земного шара и об изменениях, какие они произвели в животном царстве» (рис. 9). Поскольку предложенная теория имела самостоятельное значение, Ж. Кювье приводит доказательства, что в истории Земли были многочисленные перевороты, которые происходили мгновенно. «Жизнь не раз потрясалась на нашей Земле страшными событиями. Бесчисленные живые существа становились жертвой катастроф», — писал он. Следы этих катастроф он видел не только в изменении ископаемых организмов, но и в «относительной новизне современного состояния континентов».

Ж. Кювье высказал предположение, что установленные им закономерности при исследовании ископаемых костей из относительно молодых отложений должны найти подтверждение при изучении более древних толщ. Вместе с Ал. Броньяром ему удалось составить разрез и геологическую карту Парижского бассейна, отметив значительные отличия в составе фауны и флоры различных горизонтов. Впоследствии Ал. Броньяр обнаружил окаменелости меловой системы в Савойских Альпах на высоте порядка 2000 м, сходные с подобными ископаемыми Парижского бассейна, что указывало на молодость этого горного сооружения и служило подтверждением катастрофически быстрого его воздымания.

Сын Ал. Броньяра, Адольф Броньяр (1801—1876), геолог-палеоботаник, в опубликованной в 1823 г. монографии по ископаемой флоре также не обнаружил преемственности ископаемых форм растений при переходе от одной формации к другой.

Таким образом, главный тезис Кювье о несоответствии прошлого и настоящего находил подтверждение в совершенно независимых по содержанию новых материалах. «В физической истории, — писал Кювье, — нить процесса обрывается, поступь природы меняется, и ни один из факторов, используемых природой ныне, нельзя признать достаточным для работы, выполненной в прошлом».

Между тем в стенах того же Музея естественной истории развивалось совершенно противоположное, эволюционистское учение. Одним из наиболее крупных натуралистов, много сделавшим для внедрения эволюционных представлений в науку, был Ж. Б. Ламарк (1744—1829), долгое время возглавлявший отдел беспозвоночных ископаемых в этом музее. В книге «Философия зоологии» (1809) он изложил основы эволюционной теории. Эво-



Жан Батист Пьер Антуан Ламарк  
(1744—1829)

люция организмов, по его мнению, представляет процесс преобразований низших форм в высшие, который происходит в прогрессивном направлении на протяжении длительного времени постепенно, без катастрофических событий. Все организмы связаны родством, и изменение видов происходит как результат воздействия изменяющихся внешних условий. Эти изменения закрепляются в поколениях наследственностью. Эволюцию органического мира Ламарк изображал в виде лестницы, отражающей процесс развития, в которой выделялось 6 главных типов и 14 классов ископаемых организмов. Это позволило ему говорить о значительной древности нашей планеты: «...Насколько еще возрастет в глазах человека эта древность земного шара, когда он составит себе ясное понятие о происхождении живых тел и о причинах развития и постепенного совершенствования организации этих тел и особенно, когда он поймет, что нужны были время и благоприятные условия для того, чтобы могли возникнуть все ныне живущие виды таими, какими мы их теперь видим...».

Ламарку принадлежит сравнение медленности процессов эволюции с движением часовой стрелки, уловимым лишь при определенной продолжительности наблюдения.

Ярким представителем той же школы эволюционистов был Ж. Сент-Илер (1772—1844), который возглавлял в Парижском музее естественной истории отдел зоологии и сравнительной анатомии, а в 1833 г. стал президентом Парижской Академии наук.

В своих палеонтологических работах он стремился показать, что современные животные и растения имеют корни в минувших эпохах, причем изменение животных происходит под влиянием изменений окружающей среды. Уже в 1796 г. он высказал мысль о единстве плана строения органического мира, при этом современные низшие животные, по его мнению, представляют как бы этапы задержки на эволюционном пути, ведущем к высшим животным.

Таким образом, Ж. Сент-Илер, в отличие от Ж. Б. Ламарка, считал, что в процессе эволюции возможна задержка в развитии организмов, и устанавливал прерывистость самого процесса развития (сальтационизм). Свои теоретические положения он изло-

Жюль в монографии «Философия анатомии» (1818), практически направленной против взглядов Ж. Кювье.

Ж. Кювье был знаком с работами своих коллег, но сам не участвовал в полемике, считая, что его работы имеют преходящее значение в истории науки, что скоро они окажутся лишь предварительной заявкой, своеобразной постановкой вопроса. Он проявлял удивительную терпимость к чужим исследованиям и внимательно относился к ним. Пути прогресса науки, с его точки зрения, усыпаны обломками гипотез и теорий, но все они были забыты, как не сохранились и имена их авторов; сохраняется лишь фактическая основа, которая может быть заново переинтерпретирована в будущем.

Публичный спор между Ж. Кювье и Ж. Сент-Илером возник неожиданно, когда Ламарка уже не было в живых. В 1830 г. в Парижскую Академию наук была представлена работа двух молодых ученых, в которой утверждалось сходство строения позвоночного и каракатицы. Ж. Сент-Илер выступил ее защитником, а Ж. Кювье доказывал, что это два различных типа. Дискуссия отделилась от первоначального объекта и затронула основные спорные вопросы развития органического мира. Спор продолжался 6 недель и был прекращен академией. Аргументация и, главное, приведенный фактический материал Ж. Кювье были настолько убедительными, что он был признан победителем. Ж. Сент-Илер тут же написал книгу «Принципы философии зоологии», где были изложены его возражения по поводу аргументов Ж. Кювье. Ж. Кювье тоже начал писать книгу, но она не была завершена вследствие его кончины.

Эта дискуссия имела широкую огласку и вышла далеко за стены Парижской Академии. А. Седжвик (1785—1873), профессор геологии Вудвордского колледжа в Кембридже, писал по поводу этой дискуссии: «Замечательные выводы, полученные из неожиданных фактов; счастливое сочетание данных минералогии и зоологии; доказательство последовательных революций в физической истории Земли, о котором раньше не имели ни малейшего представления, — все это, вместе взятое, не только позволило в новом свете увидеть довольно неясный до этого предмет, но придало новые силы и открыло новые возможности индуктивного метода тем, кому в последующие времена суждено было предпринять аналогичные исследования». В свою очередь К. Ф. Рулье (1814—1858), профессор Московского университета, палеонтолог, один из предшественников Ч. Дарвина в России, который в своих лекциях постоянно выступал против катастрофизма, относительно результатов этой дискуссии с огорчением писал: «...Кювье победил в академии, но, к счастью; суд истории произносится не ею, а историей науки. Она в современном результате говорит: Кювье проиграл, он спорил в духе отживающей, дряхлеющей теории, к которой он пристал сам».

Много позже другой русский палеонтолог и геолог А. А. Борисяк (1872—1944), анализируя творчество Ж. Кювье, писал по по-

воду этого спора: «На первый взгляд кажется, что современная наука ушла от Кювье и восстановила идеи его противников. Однако своих успехов, приведших ее к современному состоянию — торжеству эволюционного учения, — она добилась, следуя тому пути, который был указан Кювье, классифицируя так, как это делал Кювье. Можно сказать, что Кювье подготовил результаты, которых он сам не предвидел».

Спор между сторонниками постепенной эволюции и скачкообразного развития через катастрофы разного масштаба отнюдь не закончился диспутом в Парижской академии. Победа катастрофистов на этом диспуте, как и писал К. Ф. Рулье, оказалась эфемерной. Уже в том же 1830 г. начал выходить фундаментальный труд британского геолога Ч. Ляйеля «Основы геологии...».

Однако и появление труда Ляйеля, быстро завоевавшего огромную популярность и переведенного на многие языки, включая русский, не поставило точку в споре эволюционистов и катастрофистов. Этот спор возник с новой силой уже в XX в., на этот раз не только в отношении закономерностей эволюции органического мира, но и в вопросе о характере развития тектонических процессов (см. ниже, гл. 9).

#### **4.4. Ч. ЛЯЙЕЛЬ И ЕГО КНИГА «ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ...»**

К началу 30-х годов прошлого столетия в геологии утвердилась концепция катастрофизма. Катастрофическая гипотеза «кратеров поднятия» стала ведущей среди геологов, с ней были созвучны идеи революционных переворотов в развитии органического мира Ж. Кювье.

Не успели затихнуть исторические споры между сторонниками катастрофизма и эволюционизма в развитии органического мира, как английский естествоиспытатель Ч. Ляйель опубликовал трехтомную книгу «Основы геологии...» (1830—1833), в которой дал сокрушительный критический анализ концепции катастрофизма. Однако понадобилось еще около 20 лет, чтобы научное сообщество отвернулось от катастрофистских идей Ж. Кювье, признав их даже реакционными, что было несправедливо, и восторжествовали ляйелевские идеи. А. Седжвик, долгие годы бывший одним из главных оппонентов Ч. Ляйеля, в своей президентской речи на заседании Лондонского геологического общества был бескомпромиссен в своем отречении: «Когда-то я был приверженцем и в меру своих сил пропагандистом идей, которые сейчас представляются мне философской ересью... Я нахожу правильным, если одним из последних моих действий, прежде чем я покину эту кафедру, будет публичное заявление о моем отречении. Нам следовало бы, конечно, с самого начала задуматься, прежде чем принять диллювиальную теорию и связать с библейским потопом все наносы. Ибо до сих пор не обнаружено ни самого человека, ни изделий его рук, вообще ни единого следа существования прежнего мира, погубленного потопом в этих осадках».

Ч. Ляйель (1797—1875) родился в семье шотландского дворянина в тот же год, когда умер Дж. Хаттон, один из основоположников научной геологии. Ляйель получил юридическое образование в Оксфордском университете, но адвокатская практика мало занимала его. Увлечение геологией, зародившееся в нем еще на втором курсе обучения в университете, когда он полностью прослушал курс геологии, который читал профессор У. Бекленд, оказалось решающим в его жизни. Оставив адвокатскую карьеру, он свои первые геологические путешествия совершает с Беклендом. Изучая геологию отдельных районов Англии, он представил ряд докладов Геологическому обществу, которые были одобрены его старшими коллегами. В 1828 г.



Чарлз Ляйель (1797—1875)

Ч. Ляйель вместе с Р. Мерчисоном совершил длительное путешествие по Франции, Италии и Сицилии. Полученные материалы составили основу его главного труда, который принес ему мировую известность.

Первый том этого труда вышел в 1830 г. под названием «Основы (Principles) геологии, являющиеся попыткой объяснить прошлые изменения поверхности Земли путем соотношения с причинами, ныне действующими». Само название книги указывало, что Ч. Ляйель пришел к выводам о соотношении ныне действующих сил и сил прошлого, диаметрально противоположным по сравнению с общепризнанными к тому времени идеями катастрофистов. Р. Мерчисон, который изучал вместе с Ч. Ляйелем те же обнажения, продолжал оставаться на позициях катастрофизма и отрицал сходство древних и современных процессов.

Второй том книги вышел в 1832 г., а третий в 1833 г. «Основы геологии...» вскоре стали самой популярной книгой среди естествоиспытателей и были переведены почти на все европейские языки, в Англии книга выдержала 12 изданий. При жизни Ч. Ляйеля «Основы...» переиздавались 11 раз; 12-е издание было опубликовано посмертно в 1875 г. На русский язык было переведено 9-е издание, вышедшее в 1866 г. под названием «Основные начала геологии, или новейшие изменения Земли и ее обитателей»; книга «Руководство к геологии», которая вначале была составной частью «Основ...», на русский язык переводилась дважды: в 1866 и 1878 гг.

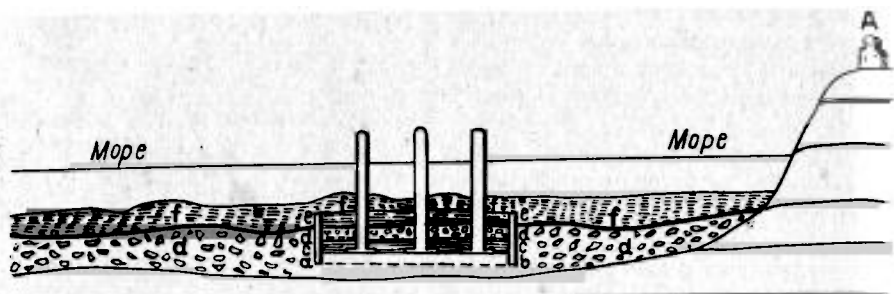


Рис. 10. Медленные колебательные движения в районе храма Юпитера-Сераписа в окрестностях г. Неаполя (схема по Ч. Ляйелю, 1866): ab — древний мозаичный помост; cc — темная морская накипь; dd — первый слой вулканического пепла; ee — пресноводный известковый осадок; ff — второй слой вулканического пепла. А — Стадиум

Ч. Ляйель продолжал работать над своей книгой долгие годы, каждое новое издание включало дополнительный материал. Автор использовал все достижения современной ему геологии; каждое новое издание было событием в научном мире.

Уже в самой своей основе труд Ч. Ляйеля направлен против катастрофистских взглядов на развитие Земли. По убеждению ученого, геология как наука «рассматривает постепенные изменения, происходившие в органическом и неорганическом царствах природы; она разбирает причины этих изменений и то влияние, которое они производили на преобразования поверхности и внешнего строения нашей планеты» (рис. 10).

Свое учение Ляйель построил исходя из трех главных положений: единообразия протекающих на Земле процессов в течение длительного геологического времени; непрерывности действия природных явлений; суммирования действия незначительных по масштабу проявлений этих процессов, приводящего по истечении времени к огромным преобразованиям лика Земли. Эти положения, получившие название принципа униформизма, Ч. Ляйель доказывал, опираясь на те же примеры, которые, как правило, до него использовали его оппоненты. Их «предубеждения и предрассудки», которые, по его представлениям, замедлили процесс развития геологии, были вызваны тем, что они не учитывали фактора огромности геологического времени.

«Если бы мы могли одним взглядом окинуть все вулканические конусы, поднятые в Исландии, Италии, Сицилии и в других частях Европы в течение прошедших пяти тысяч лет, — писал он, — и обозреть лавы, которые вытекли за этот же период, сдвиги, оседания и поднятия, происшедшие во время землетрясений... то, без сомнения, составили бы себе в высшей степени преувеличенное понятие о деятельности сил и о внезапности переворотов... Поэтому геологи, так неправильно истолковавшие признаки последовательности событий, что считали столетиями там,

цифры означали тысячелетия, и тысячелетия там, где язык природы означал миллионы лет, не могли прийти, если бы даже логически рассуждали на столь ложных посылках, ни к какому иному заключению, как к тому, что система естественного мира претерпела полнейший переворот».

Принятие принципа униформизма, по мнению Ч. Ляйеля, дает исследователю не только правильное понимание природы происходящих явлений, но и надежный метод, названный позднее *методом актуализма*, познания процессов и явлений, имевших место на ранних этапах развития Земли: «Если он твердо усвоит верование в сходство или тождество древней и настоящей системы земных изменений, то в каждом факте, указывающем на причины, повседневно действующие, увидит ключ к истолкованию какой-нибудь тайны в прошедшем. События, случающиеся в самых отдаленных периодах в органическом и неорганическом мире, будут взаимно освещать друг друга, и неполнота наших сведений, относительно некоторых из самых темных частей настоящего мира, устранилась».

Самостоятельный раздел книги посвящен стратиграфии третичных отложений. Ч. Ляйель, анализируя различия в процентном содержании видов современных моллюсков на разных уровнях в третичных отложениях, в 1833 г. пришел к выводу, что третичное время делится на несколько периодов, выделив в третичных отложениях три отдела — эоцен, миоцен и плиоцен (рис. 11). Появление труда Ч. Ляйеля вызвало раскол среди естествоиспытателей. Сторонники господствовавшей в то время концепции катастрофизма не могли принять идею равномерного хода событий в геологической истории. Но постепенно «Основы геологии...» стали находить широкую поддержку, стали руководством для нескольких поколений геологов. Самые суровые его критики оценили

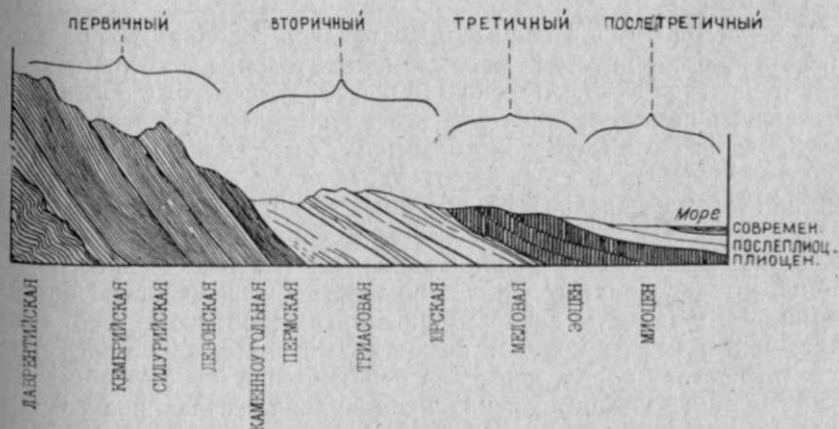


Рис. 11. Последовательность напластования осадочных пород (принципиальная схема, по Ч. Ляйелю, 1866)

возможности метода актуализма в познании геологических событий прошлых эпох в истории Земли.

В ноябре 1874 г., за несколько месяцев до кончины, Ч. Ляйель сделал доклад в Геологическом клубе о будущем развитии геологии. Он успел оставить в распоряжение Лондонского геологического общества 2000 фунтов стерлингов и учредил бронзовую медаль, которая ежегодно должна была присуждаться ученым независимо от национальности и пола за наиболее выдающиеся заслуги в области геологии и смежных с ней наук. На медали была изображена голова Ч. Ляйеля в профиль, окруженная надписью. На оборотной стороне — колонны храма Юпитера-Сераписа в окрестностях Неаполя, того самого места, где он впервые увидел доказательства медленных колсбательных движений земной коры. Медаль Ч. Ляйеля и премия с 1876 г. ежегодно присуждаются за наиболее выдающиеся геологические работы.

Впоследствии стало ясно, что «буквальный униформизм» Ч. Ляйеля вступает в противоречия с огромным фактическим материалом по исторической геологии. Метод же актуализма, основанный на отождествлении характера современных геологических процессов и геологических процессов прошлого, стал ведущим в историко-геологических исследованиях. Основные дискуссии среди ученых ведутся по поводу того, как далеко в глубь истории Земли возможно его безоговорочное применение. Необходимо отметить, что задолго до Ч. Ляйеля, начиная с античных времен, естествоиспытатели в своих исследованиях использовали метод актуализма. Прямыми предшественниками Ч. Ляйеля можно считать М. В. Ломоносова, Дж. Хаттона, К. Гоффа, которые также рассматривали историю Земли, исходя из метода актуализма.

#### **4.5. ДИСКУССИЯ ПО ПОВОДУ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ВАЛУНОВ. СТАНОВЛЕНИЕ ЛЕДНИКОВОЙ ТЕОРИИ**

В июле 1837 г. в Невшателе состоялась годовая конференция Швейцарского общества естествоиспытателей, на которой президент общества Ж. Л. Агассис (1807—1873) выступил с докладом, вызвавшим немалое удивление его слушателей. Аудитория услышала рассказ о валунах, которыми усеяны склоны Юрских гор. Такие валуны часто формируют хаотические нагромождения в местах, весьма далеких от коренных выходов соответствующих пород. Блуждающие, или эрратические, валуны, по мнению докладчика, представляют собой одно из главных доказательств прошлого оледенения гор и ледниковой эпохи в недавней истории Земли. Натуралисты давно знали об этих экзотических образованиях, некоторые из них достигают размеров небольших домов и, судя по составу пород, испытали перемещение на сотни километров. Традиционное объяснение их появления, связанное с идеей Всемирного потопа, ярким пропагандистом которого был английский геолог У. Бекленд, ставило больше вопросов, чем давало ответов. Энергия, стиль изложения, смелость постановки вопроса.

широкие и решительные экстраполяции Ж. Л. Агассиса привлекли внимание к его теории, но в целом реакция естествоиспытателей была сдержанной.

Помимо представлений о роли Всемирного потопа в образовании эрратических валунов, от которых под влиянием Ж. Л. Агассиса впоследствии отказался сам У. Бекленд, в ту эпоху существовало еще две точки зрения на эту проблему.

Л. Бух в рамках своей концепции образования горных сооружений считал, что перемещение валунов происходило в результате катастрофических селевых потоков, возникавших в процессе быстрого воздымания гор, или вследствие взрывной волны, обусловленной резким выделением энергии при образовании кратеров поднятия, в результате чего валуны, как пушечные ядра, были выброшены на высоту более 1,5 км.

Представления Л. Буха не мог разделить Ч. Ляйель, которому претили катастрофистские взгляды Л. Буха и который строго придерживался провозглашенного им принципа униформизма. Он противопоставил взглядам Буха теорию, согласно которой морены и валуны являются результатом ледового разноса, подобно современному разносу обломочного материала плавучими льдами — айсбергами. Эта концепция, получившая название *теории дрефта*, долгое время пользовалась большой популярностью; Р. Мерчисон не отказался от нее и впоследствии, когда о ледниковой теории говорили как о чем-то само собой разумеющемся. Находки морской фауны в матриксе ледниковых отложений позволяли отрисовывать древние береговые линии, а уровень, на котором были обнаружены эрратические валуны, подсказывал глубину моря (так, в Альпах глубина моря должна была превышать 2700 м). В то же время скорость изменения уровня Мирового океана, наблюдаемая в новейшее время, не соответствовала униформистской концепции Ч. Ляйеля, и в конце концов он вынужден был признать реальность древнего оледенения. При этом его учитель Бекленд сделал все, чтобы переубедить своего талантливого ученика.

К середине XIX в. накопилось достаточно материала в области исследования ледников горных стран. В 1840 г. вышла монография Ж. Л. Агассиса «Исследования ледников», а годом позже его соотечественник И. Г. Шарпантье (1786—1855) издал книгу «Опыт по исследованию ледников». В этих книгах были изложены основы учения о четвертичном оледенении. Однако если исследователи горных стран почти единодушно восприняли ледниковую теорию, то гораздо сложнее было доказать тождественность подобных процессов на равнинных территориях. Не было ясно, что представляли собой крупные ледниковые покровы, где были центры оледенения, что служило причиной движения этих покровов. В 1852 г. гляциологическая экспедиция установила существование ледяного щита в Гренландии, а в конце столетия подобное образование было открыто в Антарктиде. Было установлено так-

же несколько эпох оледенений, которые разделялись достаточно продолжительными межледниковыми эпохами.

В 1872 г. шведский геолог О. М. Торелль (1828—1900), совершивший путешествия в Швейцарские Альпы, Исландию, Скандинавию и на Шпицберген, публикует работу «Исследования о ледниковом периоде». Вместе с последующими публикациями 1873—1875 гг. эта работа способствовала утверждению ледниковой теории в Европе и опровержению дрейфовой гипотезы.

Большинство русских естествоиспытателей в этот период придерживались дрейфовой теории. Опираясь на опыт русских полярных мореплавателей, они объясняли присутствие эрратических валунов и штрихованных скал в Прибалтике и на севере Евразии действием плавающих льдов. Однако наряду с этими взглядами в середине прошлого века в России закладывались основы теории материкового оледенения, что было связано с трудами К. Ф. Рулье, Г. Е. Щуровского, а позднее Ф. Б. Шмидта и П. А. Кропоткина.

Профессора Московского университета К. Ф. Рулье и Г. Е. Щуровский, на протяжении многих лет изучавшие геологию Подмосковья и северных районов Русской равнины, уже в 50-е годы пришли к выводу о связи эрратических валунов и глыб, распространенных на этой территории, с деятельностью ледников, двигавшихся с северо-запада.

Геолог и географ Ф. Б. Шмидт (1832—1908) был первым исследователем ледниковых образований Прибалтики и ряда районов Русской равнины. Он пришел к выводу, что ледниковые отложения в Европейской России простираются на юг до линии Рославль—Елец—Воронеж.

П. А. Кропоткин (1842—1921) стал выступать в печати по этой проблеме уже в 60-е годы и сыграл определяющую роль в становлении ледниковой теории в России. В докладе Русскому Географическому обществу в 1874 г. он утверждал: «Все валуны, рассеянные по средней и северной России, доставлены туда из Финляндии ледниками, а не плавающими льдами, как это большей частью предполагалось доселе».

Всеобщее признание учения о ледниковом периоде наступило в 70-е годы, несмотря на противодействие крупных авторитетов — Л. Буха, Ч. Ляйеля, Р. Мерчисона и их последователей. Впоследствии дискуссия шла в основном о причинах, вызвавших феномен четвертичного, а затем и более древних ледниковых периодов (см. ниже).

#### **4.6. УСПЕХИ В ИЗУЧЕНИИ МИНЕРАЛОВ**

В первые десятилетия XIX в. успехи физики и химии дали возможность выйти на совершенно новый уровень исследования вещества, и крупнейшие химики стали ведущими минералогами этого периода. В результате их активной деятельности был определен точный химический состав порядка 450 минералов, большая часть которых ранее не была известна.



Василий Михайлович Севергин  
(1765—1826)

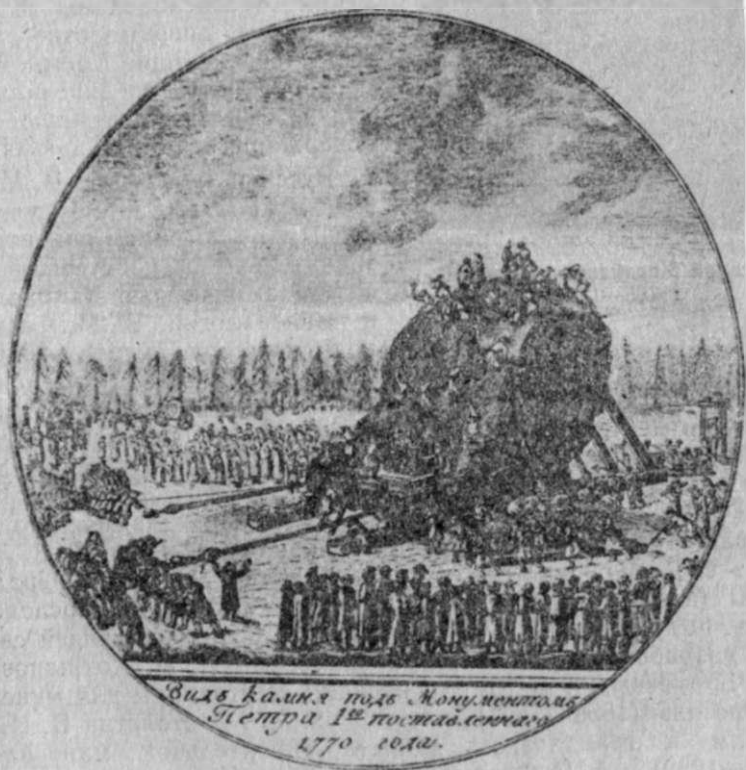
Шведский химик и минералог И. Я. Берцелиус (1779—1848) в 1815 г. предложил первую химическую классификацию минералов с учетом атомной массы и с применением буквенных символов элементов и формул химических соединений. Рассматривая минералогии как химию неорганических соединений Земли, он распределил минералы по электроотрицательным элементам, выделил два класса соединений (бескислородные и кислородные), впервые отнес минералы, содержащие кремнезем, к солеобразным соединениям и указал на двойственную роль содержащегося в них алюминия.

Русский академик В. М. Севергин (1765—1826), будучи искусным химиком-аналитиком, значительно способствовал развитию химического направления в минералогии. В. М. Севергин родился в год смерти великого

русского ученого и просветителя М. В. Ломоносова. Этот, сам по себе случайный факт в то же время как бы символизирует преемственность деятельности обоих ученых. В. М. Севергин был, пожалуй, самым последовательным продолжателем оригинальных разработок Ломоносова в области минералогии. Его двухтомный труд «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1809; рис. 12) является воплощением идеи М. В. Ломоносова собрать и систематизировать материалы по минералогии России (и не успевшего завершить эту работу). Впоследствии задачи, выдвинутые В. М. Севергиным в его обобщающей сводке, были разработаны русскими минералогами Н. И. Кокшаровым и П. В. Еремеевым в 22-томном издании «Материалы для минералогии России» (1852—1891), а затем уже в XX столетии В. И. Вернадским в грандиозном «Опыте описательной минералогии» (1908—1922) и А. Е. Ферсманом в книгах «Драгоценные и цветные камни России» (1922), «Геохимия России» (1922).

Работы Севергина «Первые основания минералогии» (1798), «Подробный словарь минералогический» (1807) представляют собой энциклопедию минералогических знаний того времени. В них заложены основы описательной минералогии, химии минералов, учения о парагенезе («смежности минералов», по выражению Севергина). Особое внимание он уделяет систематизации сведений

О П Ы Т Ъ  
МИНЕРАЛОГИЧЕСКАГО  
ЗЕМЛЕОПИСАНІЯ  
РОССІЙСКАГО ГОСУДАРСТВА.  
въ двухъ частяхъ.



САНКТПЕТЕРБУРГЪ, 1809 года.

Рис. 12. Титульный лист книги В. М. Севергина «Опыт минералогического землеописания Российского государства»

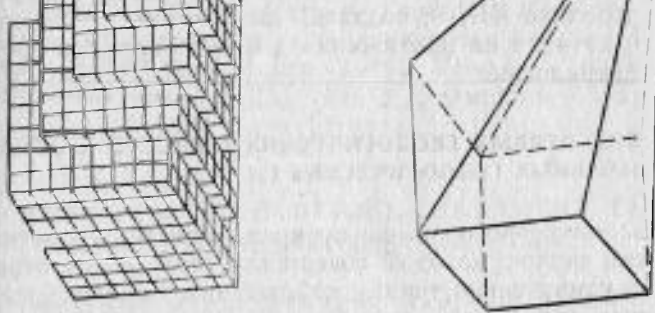


Рис. 13. Строение кристаллических тел (по Р. Ж. Гаюи)

о минералах и тем признакам, по которым следует их классифицировать. «Химические признаки», т. е. химический состав минералов являются, по Севергину, самыми надежными для определения минералов. «Химические признаки, — писал он, — всех надежней и точнее определяют ископаемое тело... они с совершенною точностью уверяют о естественности тел и, сверх того, показывают их пользу и употребление».

Еще в конце XVIII в. французский минералог Роме де Лилль (1736—1790) опубликовал крупные сводки по кристаллографии, ставшие основой для дальнейшего развития этой науки. Однако в своих исследованиях кристаллов он придерживался чисто описательных методов, занимаясь внешней геометрией кристаллов. Значительно дальше в исследовании кристаллического вещества продвинулся французский аббат, профессор минералогии Парижского музея Р. Ж. Гаюи (1743—1822). Он установил симметричное строение множества кристаллических тел (рис. 13), предложил способ математической характеристики взаимного расположения граней кристаллов, открыв один из основных законов кристаллографии — закон рациональности отношений параметров кристаллов, с помощью которого стало возможным прогнозировать наличие тех или иных их граней.

К этому времени относится и открытие немецким кристаллографом и минералогом Х. Вейсом (1780—1856) другого основного закона кристаллографии — закона зон (поясов), устанавливающего связь между положением граней и ребер кристаллов.

В 1848 г. французский инженер О. Браве, подхватив идею Р. Ж. Гаюи об «интегральных молекулах», пришел к понятию о трехмерной периодичности расположения материальных частиц в геометрически однородных телах — кристаллах и в качестве геометрического образа их внутренней структуры предложил пространственную решетку.

Данные по химическому составу минералов и установлению основных законов строения кристаллической формы минералов позволили к середине XIX в. создать химическую классификацию минералов, которая на протяжении долгого времени оставалась основой минералогии.

#### **4.7. СОЗДАНИЕ ПЕРВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЩЕСТВ И ОСНОВАНИЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ**

Для рассмотренного выше периода развития геологии характерен резкий скачок, который совершила геология от отрывочных, хотя порой удивительно тонких наблюдений, смелых предвидений, свойственных донаучному периоду, к систематическому целенаправленному изучению геологических объектов на базе биостратиграфического метода. Большое значение имел и новый химический и кристаллографический подход к исследованию минерального вещества. В начале XIX столетия появилась первая тектоническая концепция «кратеров поднятия», предложенная Л. Бухом и А. Гумбольдтом, которая стала парадигмой для геологов первой половины века. Геология стала рассматриваться как самостоятельная наука, имеющая свой метод и теоретическую концепцию. Этому очень способствовало появление первых руководств по геологии — в России Д. И. Соколова, в Англии Ч. Ляйеля.

Одним из факторов, тормозящих преобразование геологии в самостоятельную научную дисциплину, было отсутствие организованного общения геологов. Поэтому естественно, что в начале XIX столетия начали создаваться геологические общества. В 1807 г. было основано Лондонское геологическое общество, в 1817 г. — Минералогическое общество России, в 1830 г. — Французское геологическое общество. К середине XIX в. подобные общества существовали во многих европейских странах. В некоторых странах (в России, Швейцарии) геологи входили в общества естествоиспытателей и играли в них активную роль. Среди них необходимо отметить основанное уже в 1805 г. Московское общество испытателей природы.

Именно научные общества явились той силой, которая направляла и стимулировала геологические исследования; там обсуждались самые последние достижения геологической науки. Выступить с докладом в обществе считалось почетным и ответственным для исследователя любого ранга. Общества брали на себя публикацию докладов, монографий своих членов; они же издавали труды естествоиспытателей прошлых столетий, в которых

ли высказаны, но, к сожалению, впоследствии забыты и стали недоступными для современников интересные геологические идеи. Геологические исследования приобрели большие масштабы и более организованный характер. Началось систематическое геологическое картирование, целенаправленный поиск полезных ископаемых, во все большем объеме и разнообразии требовавшихся для быстро развивающейся промышленности. Для организации геологической съемки и поисков полезных ископаемых во многих странах стали организовываться национальные геологические службы. Так, государственные геологические службы были основаны в Англии (1835), Австрии (1849), Канаде (1853), Франции (1855), Швеции (1858), США (1867), Германии (1873), Японии (1879), России (1882) и других странах.

## **Глава 5. КЛАССИЧЕСКИЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИИ (ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XIX СТОЛЕТИЯ)**

### **1. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ Ч. ДАРВИНА И ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ГЕОЛОГИИ ЕГО КНИГИ «ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВИДОВ ПУТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА...»**

В 1858 г. на собрании Линнеевского общества естествоиспытателей Англии были доложены работы естествоиспытателей А. Р. Уоллеса и Ч. Дарвина. Эти доклады, в которых авторы излагали свои эволюционные представления о происхождении видов, произвели огромное впечатление на присутствовавших геологов и биологов. Игнорировать эти работы, как это часто случалось во времена господства катастрофистских взглядов на развитие органического мира, было невозможно. Один из авторов представленных работ, Ч. Дарвин, пользовался уже широкой известностью и считался одним из крупнейших геологов и зоологов страны. Помимо этого, статьи были рекомендованы авторитетами с мировым именем — геологом Ч. Ляйелем и ботаником Д. Гукером (1817—1911).

Через год, в 1859 г., вышла книга Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых рас в борьбе за жизнь», где были изложены взгляды автора на проблемы эволюции, проведен анализ естественных сил природы, показаны пути развития органического мира и роль естественного отбора, происходящего на фоне длительного геологического времени. Эту работу Ч. Дарвин считал главным трудом своей жизни, она имела огромный успех. Первое издание, которое насчитывало 1250 экземпляров, разошлось в день его выхода в свет, а вскоре мгновенно разошлось и второе издание в 3000 экземпляров, книга была переведена на главные европейские языки. Современник Ч. Дарвина, немецкий физиолог Г. Дюбуа-Реймон, писал о ней: «Это был взрыв, какого не видывала наука, так долго подготавливавшийся и так внезапно нагрянувший, так неслышно



Чарльз Дарвин (1809—1882)

подведенный и так смертоносно разящий. По размерам и значению произведенного разрушения, по тому эху, которое отозвалось в самых отдаленных областях человеческой мысли, это был научный подвиг, не имеющий себе подобного».

Ч. Дарвин (1809—1882) готовился быть священником, изучая богословие в «Колледже Христа» Кембриджского университета, но увлечение зоологией и, в частности, энтомологией определило дальнейшую его судьбу как ученого-натуралиста. В университете, где он мог слушать лекции по различным разделам естествознания, он выбрал лекции по ботанике, которые блестяще читал профессор Дж. С. Генсло (1796—1861), ставший впоследствии его наставником и другом.

Ч. Дарвин в автобиографии писал, что если бы он выбрал интересные лекции А. Седжвика, то стал бы, вероятно, геологом раньше, чем это случилось. Профессор Генсло все же убедил Дарвина заняться геологией, и он стал изучать геологические разрезы окрестностей университета и даже составил геологическую карту. По просьбе Генсло Седжвик взял Дарвина в геологические маршруты по Северному Уэльсу. Встреча с Седжвиком произвела на Ч. Дарвина глубокое впечатление, а совместные маршруты заложили основу его геологического образования.

«Седжвик часто посылал меня по направлению, параллельному тому, по которому шел сам, поручая собирать образцы горных пород и наносить на карту порядок их залегания. Я почти не сомневаюсь, что он делал это для моей пользы, так как я был слишком несведущ, чтобы мог оказать помощь ему, — писал он. — Это путешествие дало мне разительный пример того, как легко проглядеть даже самые заметные явления, если на них уже не обратил внимание кто-нибудь другой».

Сразу же после геологических экскурсий, по рекомендации Генсло, он был включен в состав научной экспедиции на военный корабль «Бигль» в качестве натуралиста. В кругосветное путешествие, продолжавшееся пять лет (1831—1836), его учитель подарил ему первый том книги Ч. Ляйеля «Основы геологии...», которая стала настольной книгой Ч. Дарвина и руководством при геологических исследованиях. Идеи Ляйеля произвели на Дарвина неизгладимое впечатление, и в первый период путешествия

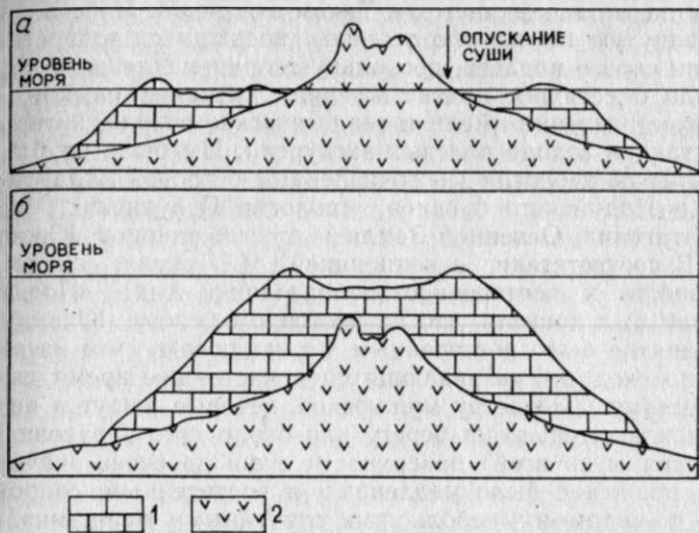


Рис. 14. Схема образования коралловых рифов (по Ч. Дарвину):  
1 — известняки, 2 — базальт

он мыслил себя в будущем прежде всего геологом. Опыт полевых работ, переданный ему Седжвиком, и метод Ляйеля позволили ему провести интереснейшие наблюдения в регионах, где он был первым исследователем.

Главным успехом Ч. Дарвина в геологии считается теория образования коралловых рифов (рис. 14). Эта теория составила содержание первой большой геологической работы Дарвина, вышедшей в свет в 1842 г. Идея образования рифов в результате медленного опускания земной коры, компенсированного ростом коралловых полипов была сформулирована им в ходе изучения процессов денудации и осадконакопления на западном побережье Южной Америки. В Индийском океане, на коралловых островах Килинг, он имел возможность проверить свою теорию. Дарвин нарисовал яркую картину сложных тектонических движений в Тихом океане на основании распределения современных рифов. «Мы видим здесь, — писал он, — огромные поднимающиеся области с там и сям прорывающимися вулканическими массами. Мы видим другие обширные пространства, которые опускаются без каких-либо вулканических всплесков, и мы можем быть уверенными в том, что движения были настолько медленными, что кораллы могли достигать поверхности, и настолько широко распространенными, что на громадной площади, занятой океаном, были погребены все те горы, над которыми ныне в виде памятников атоллы, обозначающие места их погребения». Теория Дарвина стала очень популярной, но лишь спустя 100 лет была подтверждена данными

бурения на атолле Эниветок в Тихом океане. Ч. Ляйель, несмотря на выдвинутую им другую теорию, восхищался точностью аргументации своего коллеги, поскольку теория медленного опускания дна была блестящим подтверждением актуалистического метода.

Важное значение имели и геологические очерки, которые Дарвин составлял в ходе полевых экскурсий. Им были опубликованы материалы по геологии многочисленных островов Атлантического, Тихого и Индийского океанов, геологии Перуанских, Чилийских Анд, Патагонии, Огненной Земли и других районов Южной Америки. В соответствии с концепцией Ч. Ляйеля, он доказывал длительность и постепенность образования Анд: «Поскольку я вынужден был принять, что на восточном берегу Южной Америки... поднятие было постепенным, я заключаю, что на западном берегу по сходству развивающихся в настоящее время движений, по огромному количеству моллюсков, которые живут в настоящее время исключительно на берегу или около него и раковины которых рассеяны по всей поверхности суши до очень значительных высот, движение было медленным и постепенным, сопровождавшимся, по-видимому, небольшими случайными толчками».

Уже в Лондоне при обработке геологических и зоологических результатов своего путешествия он стал подбирать материал по вопросам о происхождении видов растений и животных. Дарвин работал над этой темой более 20 лет и впоследствии писал: «Я много выиграл, промедлив с публикацией книги примерно с 1839 г., когда теория ясно сложилась у меня, до 1859 г., и я ничего не потерял при этом, ибо весьма мало заботился о том, кому припишут больше оригинальности — мне или Уоллесу, а его очерк, без сомнения, помог восприятию теории».

В своей знаменитой работе Ч. Дарвин решил две важнейшие задачи биологической науки: раскрыл основной фактор эволюции организмов — естественный отбор; показал, что материалом для отбора служит ненаправленная наследственная изменчивость. Интенсивность отбора определяется процессом, который Дарвин назвал борьбой за существование, включающей в себя разнообразные формы взаимоотношений между организмами и средой обитания. При этом приспособленность организмов к среде является неизбежным результатом естественного отбора, хотя носит относительный характер. Дарвин писал: «Сохранение благоприятных индивидуальных отличий и вариаций и уничтожение тех, которые неблагоприятны, я называю *естественным отбором*, или *выживанием наиболее приспособленных*... Естественный отбор ежедневно и ежечасно проверяет все мельчайшие вариации, отбрасывая плохие, сохраняя благоприятные, молчаливо, но интенсивно работая, где и когда только возникает возможность, в направлении приспособления всего живого к органическим и неорганическим условиям жизни». При этом он отнюдь не отрицал наличия в популяциях животных и растений нейтральных изменений, не подхватываемых отбором. Подобные изменения служат материалом для случайных флуктуаций и для внутривидового полиморфизма. Допускалось

им и неселективное вымирание особей, вызванное какими-либо неблагоприятными факторами, но при этом, согласно теории Дарвина, среди случайно выживших экземпляров снова должен действовать естественный отбор.

Труд Ч. Дарвина произвел настоящую революцию в биологии. Оценивая общее состояние развития эволюционной теории до выхода своей работы, он пишет: «Иногда высказывалось мнение, что успех «Происхождения» доказал, что «идея носилась в воздухе» и что «умы людей были к ней подготовлены». Я не думаю, чтобы это было вполне верно, ибо я не раз осторожно нащупывал мнение немалого числа натуралистов, и мне никогда не пришлось встретить ни одного, который казался бы сомневающимся в существовании видов. Даже Ляйель и Гукер, хотя и с интересом выслушивали меня, никогда, по-видимому, не соглашались со мной. Один или два раза я пытался объяснить способным людям, что я понимаю под Естественным отбором, но попытки мои были удивительно безуспешны».

Идеи Дарвина оказали решающее влияние на развитие палеонтологии и исторической геологии, поскольку ископаемый органический мир стал рассматриваться как одно из звеньев эволюционно развивающегося животного и растительного царства.

Когда Дарвин работал над своей книгой, он сознавал важность для эволюционной теории палеонтологических данных, но в современной ему палеонтологии он находил скорее возражения, нежели подтверждения своих идей. Его теория была встречена многими выдающимися палеонтологами с предубеждением. Чтобы обойти их возражения, Ч. Дарвин объяснял отрывочность палеонтологических данных неполнотой геологической летописи. И действительно, под влиянием эволюционной теории изучение ископаемых остатков за очень короткий промежуток времени после появления работ Дарвина сделало блестящие успехи. Огромный материал, собранный палеонтологами, как бы отрывочен он ни был, позволял сознательно восстанавливать историю развития органического мира. Он стал подтверждением эволюционной теории и во многом способствовал восстановлению первичных пространственно-временных соотношений геологических толщ и развитию исторической геологии.

Эволюционные взгляды Ляйеля и Дарвина определили в целом развитие геологии, биологии и естествознания второй половины XIX в., его вступление в новый, эволюционный период. За трудами этих ученых последовали имевшие ту же направленность труды других геологов и палеонтологов.

Наиболее яркими выразителями эволюционных идей Дарвина стали русский ученый В. О. Ковалевский (1842—1883) и бельгийский палеонтолог Л. Долло (1857—1931).

Творчески развивая идеи Дарвина, В. О. Ковалевский решил ряд важных вопросов в эволюции органического мира. Преимущественным объектом его изучения были ископаемые копытные третичного периода. Изучая их, Ковалевский установил ряд зако-

номерностей их эволюции в ходе геологического времени главным образом под действием изменяющихся внешних условий. Он показал, как образ жизни травоядных степных животных привел к эволюции их конечностей. Он объяснял происхождение всех современных копытных от древних первобытных, разделение которых на две группы (парнокопытные и непарнокопытные) произошло еще в меловой период. Выдвинутая Ковалевским идея об адаптивных (приспособительных) и инадаптивных (неприспособительных) типах строения явилась крупным достижением эволюционной теории. Инадаптивное развитие, по Ковалевскому, более простое; оно начинается раньше и идет быстрее, чем адаптивное того же органа в процессе приспособления. Но, раз возникнув, адаптивное развитие всегда оказывается более прочным и устойчивым в филогенезе. Этот общий закон адаптивной и инадаптивной эволюции получил в палеонтологии название *закона Владимира Ковалевского*.

Бельгийский палеонтолог Л. Долло занимался изучением вымерших позвоночных. Развивая идеи Ковалевского в рамках эволюционной теории, он выдвинул идею о необратимости развития организмов, известную среди естествоиспытателей как *закон Долло*. Л. Долло является одним из основателей нового направления в палеонтологии — палеоэкологии.

## 5.2. ГИПОТЕЗА КОНТРАКЦИИ ЭЛИ ДЕ БОМОНА И ЕЕ РАЗВИТИЕ В ТРУДАХ Э. ЗЮССА

В связи с развитием геологии и расширением географии геологических исследований гипотеза «кратеров поднятия» все чаще встречала трудности при объяснении строения горных сооружений. Оказалось, что гранитные массивы, выступающие в осевых частях горных стран, нередко имели более древний возраст, чем окружающие осадочные породы, и не могли быть причиной их воздымания. Морфология горных стран, их линейность и характер залегания слоев также не находили объяснения в рамках этой гипотезы.

Французский геолог Л. Эли де Бомон (1798—1874), пытаясь усовершенствовать гипотезу «кратеров поднятия», еще в 1833 г. выдвинул гипотезу контракции, объяснявшую образование горноскладчатых сооружений сжатием земной коры вследствие остывания и уменьшения объема внутренних оболочек Земли (рис. 15).

Более подробно он изложил эту гипотезу в монографии «Горные системы» (1852). Эли де Бомон считал, что в истории Земли существовали достаточно длинные периоды сравнительного покоя, в течение которых происходило образование горизонтально залегающих осадочных толщ. Периоды покоя нарушались периодами тектонической активности, в процессе которых синхронно возникало большое число горных цепей, имеющих одинаковое простиранье, отличающееся от простиранья более древних горных сооружений. В этих представлениях Бомон был типичным катастрофис-

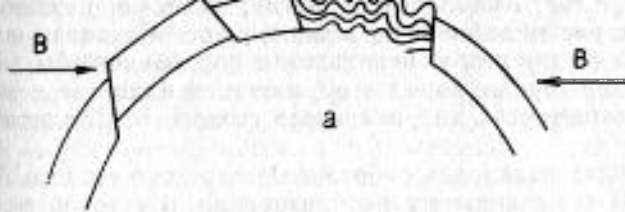


Рис. 15. Схема образования горных цепей (гипотеза контракции) (по Л. Эли де Бомону, 1852)

том. Причиной образования гор служили, по мнению Бомона, не локальные вулканические процессы или землетрясения, а «...вековое охлаждение всей нашей планеты. Ибо весь земной шар, за исключением тонкой оболочки, которая относительно тоньше яичной скорлупы, состоит из расплавленной массы, находящейся в жидком состоянии от действия теплоты, но постоянно охлаждающейся и сжимающейся в своих размерах. Наружная кора не сжимается постепенно и не приравливается из века в век к сжимающемуся ядру, оседая каждый раз, как только произойдет малейшая недостаточность поддержки, но держится сама собой в течение целых геологических периодов, частью отделившись от ядра, пока наконец вдруг не обрушится, трескаясь и падая по определенным линиям раскола. Во время такого кризиса горные породы подвергаются сильному боковому давлению: из них трудно поддающиеся разламываются, а гибкие пласти сгибаются и плотнее укладываются на меньшем пространстве за неимением прежнего простора для своего горизонтального распределения. В то же время большая часть массы вытесняется вверх, потому что излишек в величине оболочки, сравнительно с сжавшимся ядром, может найти себе исход для помещения только по направлению вверх. Этот излишек производит одну или несколько из тех складок или морщин на земной коре, которые мы называем горными цепями».

Гипотеза контракции явилась следствием космогонической гипотезы Канта—Лапласа, логически увязывая космогоническую модель с геологическими процессами, происходящими на поверхности Земли. Вместе с идеями катастрофизма гипотеза Эли де Бомона подверглась уничтожающей критике Ч. Ляйеля, который посвятил ее анализу специальную главу своей книги «Основы геологии».

Однако представление о постепенном остывании Земли оказалось чрезвычайно плодотворным, равно как и мысль о том, что уменьшение ее внутреннего объема может периодически приводить к крупным деформациям коры и горообразованию, вполне вписывалась в общую струю эволюционистских воззрений второй половины XIX в. и быстро завоевала признание. В итоге гипотеза

контракции на протяжении полувека составляла надежную теоретическую основу геологических исследований горно-складчатых сооружений Альп, Аппалачей и других, объясняя неравномерный характер их распределения на земном шаре. Механизм латерального сжатия был успешно использован для объяснения опрокинутого залегания горных пород и образования надвигов и воспроизведен в экспериментах американского геолога Б. Виллиса (1857—1949).

В 70-х годах появилась работа швейцарского геолога А. Гейма (1849—1937) о механизме горообразования, в которой механические основы складкообразования рассматриваются исходя из контрактционной гипотезы. Гейм отверг идею Б. Штудера о вертикальном поднятии центральных массивов как причине горообразования Альп. Выявленные им лежащие складки указывали на значительные горизонтальные сокращения земной коры, достигавшие как минимум 15 км. Причину подобного коробления коры Гейм видел в латеральном сжатии, которое возникало в процессе остывания Земли в соответствии с гипотезой контракции.

Несколько позднее, в 1887 г., французский геолог М. Бертран (1847—1907) путем анализа угловых несогласий установил периодический характер крупных тектонических движений. Он разделил Европу на зоны гуронской (докембрийской), каледонской (додевонской), герцинской (допермской) и альпийской складчатости и проследил продолжение этих зон через северную часть Атлантического океана в Северную Америку. Он установил также естественные закономерные сочетания определенных типов горных пород, позже получившие название формаций, которые закономерно повторялись на каждом из выделенных этапов развития складчатых поясов: блестящие сланцы—флиш—моласса.

Однако апофеозом развития гипотезы контракции явились работы выдающегося австрийского геолога Э. Зюсса (1831—1914). Э. Зюсс, профессор Венского университета, президент Австрийской академии наук, был почетным членом почти всех академий земного шара, членом многочисленных ученых обществ. Его многотомная монография «Лик Земли» представляла собой на-



Эдуард Зюсс (1831—1914)

уный труд, подобного которому еще не было в геологии. Как писал В. А. Обручев (1863—1956): «Зюсс проработал все значимое и существенное в мировой геологической литературе... Он знал лик Земли не только в его современном состоянии, но и проследил его развитие с древнейших времен. Расчлняя мастерским анализом морщины этого лика, изучая древние и молодые горные страны и плоскогорья, сглаженные, более и менее, миллионами веков и часто перекрытые позднейшими наслоениями, Зюсс выяснил закономерность и последовательность образования существующих ныне и прежних горных цепей и, прослеживая одновременно черты по всем материкам, в блестящем синтезе восстанавливал историю отдельных эпох развития земного лика. Выражаясь образно, он заставлял читателя смотреть на нашу планету и следить за ее вращением с большой высоты или брать ее в руки в виде глобуса и, поворачивая между пальцами, изучать ее анатомию, ее черты, устранив воздушную и водную оболочки, мешающие наблюдению».

Первая крупная геологическая работа Э. Зюсса «Происхождение Альп» была опубликована в 1875 г. Ее автор, известный к тому времени как талантливый полевой геолог, изучавший Боемию и Восточные Альпы, обнаружил глубокое знание региональной геологии земного шара и теоретических концепций, выдвигающихся для объяснения причин и механизмов горообразования на Земле. В этой работе Э. Зюсс опровергает концепцию вертикального поднятия, вызванного активным воздыманием кристаллических массивов, и доказывает определенную роль горизонтальных движений крупных блоков в создании всей Альпийской системы. Асимметричное строение большинства орогенических поясов мира, с его точки зрения, связано с воздействием горизонтальных движений коры, обусловленных общим сжатием земного шара. Однако при этом ни простираение горных хребтов, ни их географическое распределение не подчиняются простым геометрическим законам, сформулированным ранее Эли де Бомоном.

Наиболее выдающийся труд Э. Зюсса «Лик Земли» начал публиковаться отдельными выпусками с 1883 г. и был завершен в 1909 г. Уже во вступительном разделе первого тома автор обращает внимание на глобальные особенности строения земной поверхности, выражающиеся в клинообразном очертании материков, разделенных огромными океаническими впадинами, и в своеобразии строения атлантического и тихоокеанского типов переходных зон от континентов к океанам. В последующих разделах им нарисована общая картина строения и развития земной коры, которая включает сравнительное рассмотрение геологического строения отдельных регионов мира. Каждая глава «Лица Земли» сопровождается обширной библиографией с примечаниями автора и представляет собой самостоятельное произведение, в котором сконцентрированы последние данные и раскрыты наиболее важные черты геологического строения и истории развития отдельных регионов.

Э. Зюсс широко использовал работы русских геологов. По материалам И. Д. Черского (1845—1892) и В. А. Обручева написаны разделы, посвященные геологии Сибири, обособляется «древнее темя», впоследствии названное В. А. Обручевым «древним теменем» Азии. Среди русских геологов в библиографии упоминаются работы К. И. Богдановича, И. В. Мушкетова, А. Л. Чекановского, Ф. Н. Чернышова, П. А. Кропоткина и др.

Лейтмотивом этого труда является мысль о том, что современный лик Земли, конфигурация земной поверхности обусловлены последовательным сокращением Земли, выражающимся в уменьшении объема и площади ее поверхности. Формирование горных сооружений и возникающие при этом дислокации обусловлены тангенциальными напряжениями, связанными с неравномерным сокращением различных частей Земли. Вертикальные или радиальные движения вызывают изменения рельефа значительно меньших масштабов.

Э. Зюсс практически обосновал гипотезу контракции Эли де Бомона и развил ее положения на огромном фактическом материале, охватывавшем весь земной шар. Многие термины и понятия, которые сегодня представляются азбукой геологии, впервые предложены Зюссом в «Лике Земли». Вот некоторые из них: синаль, сима, Евразия, Ангариды, Гондвана, Тетис, эвстатические колебания уровня Мирового океана и перемещения береговой линии, ювенильные воды и др. Э. Зюсс впервые обратил внимание на существование Афро-Аравийской системы грабенов и объяснил их возникновение, как и опускание дна океанических впадин, как проявление контракции. Сам Зюсс скромно охарактеризовал развитие своих взглядов на строение земной коры как результат путешествия от одного заблуждения к другому. Последний том «Лица Земли» он закончил словами: «Многочисленные вопросы и сомнения остаются в результате этого несовершенного опыта обзора лика Земли, подобно нитям, спускающимся с концов незаконченной ткани».

Влияние Э. Зюсса на современных геологов было огромно, популярность концепции контракции достигла апогея. В конце XIX—начале XX столетия контрактционная гипотеза пользовалась всеобщим признанием. А. П. Карпинский назвал ее «счастливейшим научным завоеванием». Но в дальнейшем, как мы увидим ниже, эта гипотеза потеряла свое значение, хотя такие крупные ученые, как немецкий геолог Г. Штилле (1876—1966) и австриец Л. Кобер (1883—1970), придерживались этой концепции всю жизнь, а само представление о сжатии Земли при ее вековом охлаждении сохраняет значение и на современном этапе развития геологии.

### 5.3. ЗАРОЖДЕНИЕ УЧЕНИЯ О ГЕОСИНКЛИНАЛЯХ И ПЛАТФОРМАХ

Впервые идея об особом характере зон, получивших позже название геосинклиналей, была высказана американским геологом и палеонтологом Дж. Холлом в докладе, прочитанном в 1857 г. в

Монреале членам Американского общества развития наук, опубликованном лишь в 1883 г. В 1859 г. он опубликовал 3-й том «Натуральной истории штата Нью-Йорк», в котором также изложил свои взгляды на историю Аппалачей с позиций, положенных впоследствии в основу учения о геосинклиналях.

Дж. Холл (1811—1898) значительную часть жизни посвятил изучению палеозойских отложений штата Нью-Йорк. В процессе геологосъемочных работ он обратил внимание на то, что в горных складчатых областях мощность осадочных толщ во много раз больше, чем мощность однообразных отложений на равнинных территориях к западу от Аппалачей, где эти толщи залегают практически горизонтально, сделав вывод, что горные складчатые цепи образуются на месте крупных прогибов земной коры, погружение которых происходило под тяжестью осадков. В пределах равнинных областей, как отмечал Холл, «мощность серий осадочных пород, независимо от того, как сильно они были разрушены и денудированы, является недостаточно большой для того, чтобы произвести горный рельеф». Основные его заключения сводились к следующему:

1. Мощность палеозойских отложений Аппалачского региона, достигающая 12 км, во много раз больше мощности осадочных пород того же возраста, залегающих к западу от Аппалачей, где она составляет лишь 1 км.

2. Большие мощности мелководных осадков могли образоваться только при компенсированном прогибании дна бассейна.

3. Современные районы горообразования испытали в прошлом длительное погружение с одновременным накоплением мощных толщ мелководных отложений.

Эти эмпирические обобщения Дж. Холла явились основой одного из важнейших разделов теоретической геологии — учения о геосинклиналях, которое в течение многих десятилетий играло руководящую роль в становлении теоретических и практических направлений геологии.

Профессор Йельского университета Дж. Дэна (1813—1895), специалист в области минералогии и тектоники, с одобрением отнесся к наблюдениям Дж. Холла, но как убежденный сторонник



Джеймс Холл (1811—1898)

контракционной гипотезы не мог согласиться с интерпретацией образования глубоких прогибов, предложенной Дж. Холлом.

В 1873 г. он публикует две статьи, первая из которых посвящена подробному разбору основных положений работы Дж. Холла. Во второй статье «О некоторых результатах контракции Земли вследствие охлаждения, включая рассмотрение вопросов происхождения гор и природы внутреннего строения Земли» он излагает свою концепцию формирования складчатых горных систем. Будучи также знатоком геологии Аппалачей, он, в отличие от Дж. Холла, считал, что причиной появления линейно вытянутого палеопрогиба Аппалачей была не тяжесть отлагающихся осадков, а тангенциальное сжатие при общей контракции Земли. Такие области погружения и были названы Дж. Дэна геосинклиналями. Восточнее геосинклинального прогиба Аппалачей, совпадающего с их внешней зоной, он предполагал наличие поднятия, или геоантиклинали, которая служила источником сноса обломочного материала. Исходя из особенностей геологического строения Северо-Американского континента Дж. Дэна писал, что геосинклинали образуются по окраинам континента в процессе взаимодействия континентальных и океанических площадей в зоне, где напряжения сжатия максимальны.

Эти две зоны — прогиб и поднятие — Дж. Дэна объединил в понятие «большой Аппалачской геосинклинали»; впоследствии это вызвало некоторую путаницу, ибо оставалось неясным, что же Дэна считал тектонотипом геосинклинали. Дэна писал далее, что «геосинклинальные цепи, или синклинориумы, подвергались почти во всех случаях после своего образования настоящему поднятию вследствие больших геоантиклинальных движений, причем таких движений, которые охватывают большую площадь земной коры, чем предшествовавшие геосинклинальные движения, а именно такую площадь, которую можно в строгом смысле назвать полигенетической массой».

Вопросам метаморфизма и магматической деятельности в геосинклиналях Дж. Дэна отводил незначительную роль, хотя и посвятил им третью часть своей работы. Он согласился с Дж. Холлом, что частично метаморфизм можно объяснить петростатическим давлением, возникающим в основании мощной осадочной толщи, но главный фактор этого процесса был обусловлен, с его точки зрения, теплом, возникающим при перемещении осадочных отложений, и тепловой энергией, являющейся прямым результатом сжатия Земли.

Большинство европейских геологов вплоть до начала XX столетия не придавали особого значения идеям Дж. Холла и Дж. Дэна. Но в 1900 г. французский геолог Э. Ог (1861—1927) опубликовал работу «Геосинклинали и континентальные площади», в которой четко изложил основы учения о геосинклиналях, обобщил и проанализировал работы своих американских предшественников. Э. Ог впервые четко противопоставил друг другу основные струк-

турные зоны земной коры — геосинклинали (рис. 16) и континентальные площади (платформы). Он поддержал Дж. Холла и Дж. Дэна в том, что геосинклинали характеризуются большой мощностью осадочных пород, непрерывно откладывающихся в течение длительного времени. Однако, по его мнению, осадочные породы геосинклиналей образовывались преимущественно в глубоководных бассейнах; геосинклинали представляют собой мобильные зоны коры и располагаются между стабильными континентальными массивами. Логическим выводом из этого заключения Э. Ог считал, что Атлантический океан является геосинклиналью, а незадолго до этого открытый немецкой экспедицией на «Метеоре» срединный хребет — геоантиклиналью. Для объяснения происхождения складчатых поясов Тихоокеанского кольца он выдвинул предположение о существовании в центральной части Тихого океана гипотетического материка Пацифида. Так же, как и Холл и Дэна, Ог считал, что складчатость возникает на заключительной стадии развития геосинклиналей, а горные цепи образуются на месте геосинклинальных прогибов.



Гюстав Эмиль Ог (1861—1927)

В своей работе Э. Ог положил начало составлению палеотектонических карт с выделением на них геосинклинальных и «эпиконтинентальных» (платформенных) морей (рис. 17). Детальный анализ этих карт позволил ему сформулировать следующий закон, который получил в литературе его имя: «Всякий раз, когда некоторый определенный член осадочной серии является на континентальных площадях трансгрессивным, этот же член в геосинклиналях является регрессивным, и наоборот».



Рис. 16. Разрез геосинклинали (по Э. Огу, 1907). Цифрами показаны этапы развития прогиба

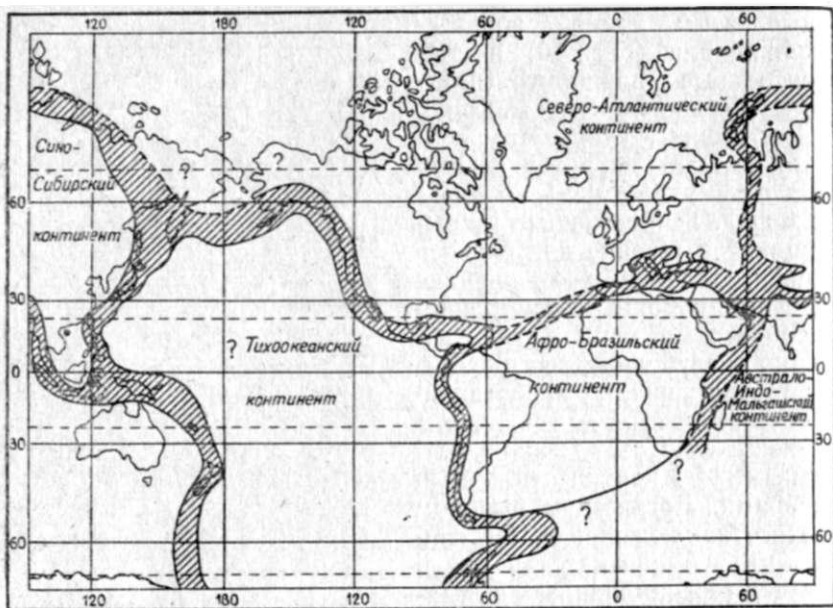


Рис. 17. Расположение мезозойских геосинклиналей и древних континентальных массивов (по Э. Огу, 1900)

С опубликованием работы Э. Ога учение о геосинклиналях получает признание геологов всего мира. В русскую литературу оно было введено Ф. Ю. Левинсон-Лессингом и К. И. Богдановичем. Теперь внимание геологов сосредоточилось на изучении процессов, имевших место в геосинклиналях, разработке и дальнейшем развитии этого учения. Учение о геосинклиналях, возникшее на основе гипотезы контракции, вышло за ее рамки и в течение 70 лет было ведущей тектонической концепцией, определявшей развитие геологических наук. «Можно сказать, — писал впоследствии Е. В. Милановский (1892—1940), — что учение о геосинклиналях произвело революцию и в исторической геологии — революцию принципиального характера. Если мы сравним старые почтенные курсы исторической геологии Креднера и Кайзера (первых изданий) с курсом Ога «Traité de géologie», мы увидим, что между ними почти такая же разница, как между магазином случайных вещей и научным музеем».

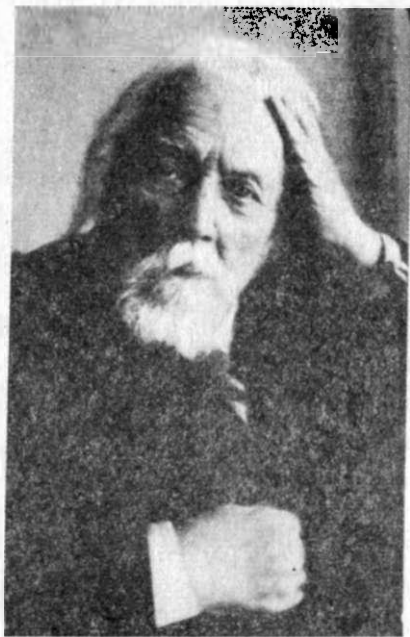
Но одновременно начало формироваться и представление об антипode геосинклиналей — о платформах.

В конце прошлого столетия Э. Зюсс и А. П. Карпинский впервые выделили Балтийский (Скандинавский) щит и Русскую плиту в качестве важнейших структурных элементов Европы. Вскоре Э. де Маржери при переводе на французский язык «Лица Земли» трансформировал термин «Русская плита» («Russische Tafel»)

В гермин «Русская платформа» («Plattform russe»). Почти одновременно Э. Ог наряду с геосинклиналями выделил в качестве структурного эквивалента материков континентальные площади (plate continentale). На первых порах двойственное толкование смысла термина «платформа» приводило к досадным недоразумениям. Русская плита, в понимании Зюсса, и Балтийский щит представляли собой самостоятельные структуры. Название «Русская плита» вскоре было произвольно распространено Э. Огом и многими другими геологами на всю платформу, в состав которой входила эта плита. В 1922 г. немецкий геолог Г. Штилле предложил для обозначения всей платформы название «Фенносарматия», но после работ русского геолога А. Д. Архангельского наибольшее распространение получило название «Восточно-Европейская платформа», в пределах которой выделялись Русская плита и Балтийский щит.

Термин «платформа» укрепился в геологической литературе и с ним тесно связаны наши представления о важнейших тектонических структурах Земли. В русской литературе термин «платформа» впервые был использован И. Д. Лукашевичем (1863—1928), который в 1911 г. в 3-м томе своей монографии «Неорганическая жизнь Земли» на тектонических картах выделил Русскую платформу.

Становление учения о платформах неразрывно связано с развитием учения о геосинклиналях. Дж. Холл, отмечая специфику строения палеозойских отложений Аппалачей, в качестве альтернативной структуры рассматривал равнинные области Мидконтинента США, для которых характерно почти горизонтальное залегание слоев с удивительно небольшим градиентом изменения мощностей по сравнению с мощными разновозрастными толщами горного сооружения. Если учение о геосинклиналях зародилось в Америке и развивалось в Западной Европе, то учение о платформах с самого начала наиболее активно стало разрабатываться русскими геологами Д. И. Соколовым (1788—1852), Г. П. Гельмерсом (1803—1885), затем А. П. Карпинским (1847—1936), А. П. Павловым (1854—1939), а позднее А. Д. Архангельским (1879—1940) и др.



Александр Петрович Карпинский  
(1847—1936)

А. П. Карпинский происходил из старинной семьи уральских горняков, представители которой, по установившейся традиции, после окончания в Петербурге Кадетского горного корпуса, переименованного в 1833 г. в Горный институт, служили управляющими заводами и инженерами преимущественно на Урале. После непродолжительной геологической работы в Златоустовском округе А. П. Карпинский был приглашен на педагогическую работу в Горный институт и преподавал там в течение 27 лет, с 1869 по 1896 г. С 1882 г., со времени основания Геологического комитета России, он состоял его старшим геологом, а с 1885 по 1903 г. возглавлял геологическую службу России. Начиная с 1881 г. он был постоянным представителем русской геологии на международных геологических конгрессах, а в 1917 г. был избран президентом Академии наук России, оставаясь в этой должности до кончины в 1936 г. Наиболее выдающиеся труды А. П. Карпинского, которые принесли ему мировую известность, затрагивали области палеонтологии, тектоники и палеогеографии Европейской России и Урала. А. П. Карпинский руководил работами по составлению геологической карты Европейской России в масштабе 60 верст в дюйме; в 1894 г. им была составлена первая обзорная тектоническая карта Европейской России.

В 1880 г. выходит его работа «Замечания об осадочных образованиях Европейской России», где он впервые отмечает двухъярусное строение изученной территории, различая «гранитный базис» и осадочный покров. В 1883 г. в статье «Замечания о характере дислокаций пород в южной половине Европейской России» он наметил существование двух линий дислокаций запад-северо-западного простираия, которые протягивались от Мангышлака через Донецкий кряж к Келецко-Сандомирскому кряжу в Польше (рис. 18). Эту полосу А. П. Карпинский назвал «Зачаточной кряжевой полосой» юга России. Позднее ее ограничения Э. Зюсс назвал «линиями Карпинского». В своих тектонических взглядах А. П. Карпинский был убежденным сторонником гипотезы контракции, поэтому природу этих дислокаций он рассматривал как результат коробления остывающей Земли.

Наиболее значительные работы А. П. Карпинского по геологии Русской платформы: «Очерк физико-географических условий Европейской России в минувшие геологические периоды» (1887) и «Общий характер колебания земной коры в пределах Европейской России» (1894). В первой из них автор не использовал еще термин «Русская плита» или «платформа», но поразительно точно охарактеризовал соотношение между складчатым фундаментом, сложенным древними метаморфическими комплексами, и пологозалегающим чехлом осадочных пород.

Во второй работе по результатам анализа фаций он выявил закономерные опускания и поднятия Европейской России в течение палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Колебания земной поверхности этой площади, по его представлениям, совершались в прошлые геологические периоды с известной закономерностью, меняя свою ори-



Рис. 18. Карта дислокаций послепарейских периодов (по А. П. Карпинскому, 1894):

1 — дислокации кембрийских и нижнесилурийских слоев в Псковской и Тверской губерниях; 2 — Смоленск; 3 — Зауральский сброс, образовавшийся в каменноугольный период; 4 — Андомская дислокация; 5 — Урал, Тиман; 5<sup>I</sup> — поперечная Уральская дислокация: Каратау, Уйташ и др.; 5<sup>II</sup> — Канин; 5<sup>III</sup> — Пай-Хой, Вайгач, Новая Земля; 6 — почти меридиональная дислокация Вятской и соседней губернии; 7 — Кавказ; 7<sup>I</sup> — Крым; 7<sup>II</sup> — Балхан; Польско-Мангышлакская дислокация; 8 — Донецкий кряж; 8<sup>I</sup> — Келецко-Сандомирский кряж; 8<sup>II</sup> — Канев; 8<sup>III</sup> — Исачки; 8<sup>IV</sup> — г. Пивиха; 8<sup>V</sup> — Мангышлак; 8<sup>VI</sup> — Султануиздаг; 9 — Большой и Малый Богдо, Чапчари, Бисчахо; 10 — северо-восточная Казанско-Вятская дислокация; 11 — Индерские горы; 12 — Курмышская дислокация; 13 — Жигулевские дислокации; 14 — Гродно; 15 — Куланды; 16 — Ергени

ентировку с меридиональных на субширотные. «В пределах части земной поверхности, занятой в настоящее время Европейской Россией, — писал он, — происходили последовательные колебания земной коры через смену понижений в широтном направлении с опусканиями в меридиональном. Такие медленные, так сказать, волнообразные колебания не касались лишь северо-западной части России, где массив, состоящий из древнейших кристаллических



Алексей Петрович Павлов  
(1854—1929)

образований и представляющий так называемый горст, являясь настоящим оплотом или буфером, около которого, как около неподвижной оси, совершались перемещения упомянутых понижений и повышений... Направление колебаний почти всегда оказывалось параллельным кряжам Кавказскому и Уральскому. В период наиболее интенсивного образования последнего преобладают по их продолжительности меридиональные понижения; во время же интенсивного образования Кавказа наибольшей продолжительностью отличаются понижения, параллельные этому кряжу». Установленная им закономерность соотношения колебательных движений складчатых и платформенных областей в дальнейшем, по предложению

В. Е. Хаина, получила название *закона Карпинского*.

Почти одновременно с первыми работами А. П. Карпинского появился ряд исследований другого выдающегося русского геолога А. П. Павлова, посвященных главным образом геологическому строению Поволжья.

А. П. Павлов, один из основателей московской школы геологов, был приглашен в Московский университет своим учителем Г. Е. Щуровским (1803—1884) в качестве хранителя Геологического кабинета в 1880 г. Но уже в 1884 г. после защиты магистерской диссертации он получил звание приват-доцента и возглавил кафедру геогнозии и палеонтологии, которой с 1886 г. в качестве профессора руководил до 1929 г. В 1916 г. А. П. Павлов был избран действительным членом Академии наук. Круг научных интересов Павлова был чрезвычайно широк, он включал разработку вопросов стратиграфии верхней юры и нижнего мела Русской равнины и Западной Европы, работы по верхнему мелу и палеогену, по геологии четвертичных отложений, теоретические и практические вопросы эволюционной палеонтологии. Работы по тектонике занимают относительно скромное место в творческом наследии А. П. Павлова; он придерживался контракционной гипотезы и был одним из главных пропагандистов идей Э. Зюсса в России.

Материалы по геологическому строению Московского и Печорского бассейнов, Симбирско-Саратовской впадины послужили основой для выделения в пределах континентальных областей пологих впадин, названных А. П. Павловым синеклизмами. Эти впервые выявленные им впадины оказались важнейшими структурными

элементами платформ, и предложенный им термин «синеклиза» прочно вошел в словарь современных тектонических терминов.

При изучении геологии Самарской Луки и Жигулей А. П. Павлов впервые выделил и протрассировал на расстояние более 350 км Жигулевскую дислокацию. Он писал, что «большие сдвиги, к которым, несомненно, принадлежит и Жигулевский, не могут быть объяснены причинами местными и относятся к той группе дислокационных явлений, которые обусловлены напряжениями земной коры, возникающими от сокращения объема сфероида. Такая дислокация или, лучше сказать, система дислокаций, связанных между собой общностью направления и относящихся к определенной геологической эпохе, тянется более или менее широкой полосой обыкновенно на сотни и тысячи верст: они выражены в образовании складок, нередко группирующихся в сложные, запутанные системы и обуславливают собой резко выраженные черты рельефа континентов». Он определенно утверждал, что Жигулевская дислокация не связана с системой запад-северо-западного простирания, выделенной незадолго до этого А. П. Карпинским в теле Русской равнины, а представляет собой систему самостоятельных структур запад-юго-западного простирания, близкого к простиранию альпийского пояса, и генетически связано с последним.

Таким образом, работы А. П. Карпинского и А. П. Павлова положили начало представлениям о специфике и самостоятельном значении геологических структур равнинных областей континентов, выкристаллизовавшимся позднее в учение о платформах.

## СТАНОВЛЕНИЕ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ, ГЕОМОРФОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

Во второй половине XIX в. в ходе развития классических направлений геологии наметилась тенденция дифференциации геологических наук, обусловленная необходимостью выделения специальных объектов исследования, приобретающих самостоятельное значение. Уже в 1860 г. немецкий исследователь К. Науман (1797—1878) выделил в качестве самостоятельных геологических дисциплин тектонику, геоморфологию, петрографию. В ходе развития исторической геологии и стратиграфии возникло понятие о палеогеографических обстановках формирования осадочных пород, которое вскоре переросло в новое научное направление — палеогеографию. К числу наук, окончательно оформившихся во второй половине XIX в., относятся также гидрогеология и учение о полезных ископаемых (в основном рудных месторождениях).

Наиболее значительным событием, положившим начало становлению палеогеографии, стало появление понятия о геологических фациях. В 1838 г. швейцарским геологом А. Гресли (1814—1865) был предложен термин «фация» на примере верхней юры Юрских гор. Под фацией Гресли понимал литологическую или

палеонтологическую разновидность пласта или горизонта в определенном месте, отличающемся от соседних участков физико-географическими условиями осадконакопления. Это понятие достаточно быстро распространилось среди геологов.

Русские геологи Н. А. Головкинский (1834—1897) и А. А. Иностранцев (1843—1919) рассматривали обособление фаций осадочных пород как следствие колебательных движений земной коры<sup>1</sup>.

Н. А. Головкинский в 1868 г. в диссертации «О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна», анализируя распределение мелководной и относительно глубоководной фауны в разрезах известняков пермского возраста, пришел к выводу, что последовательность смены фаций в вертикальном разрезе отвечает последовательности смены осадков в горизонтальном направлении от мелководных к глубоководным.

Он предложил схему образования слоистой осадочной толщи (рис. 19), формирующейся в процессе движений земной коры, на которой показал зоны фациального перехода и их смещения в разрезе по вертикали и горизонтали по мере изменения положения береговой линии. Одновозрастные отложения, по мнению Н. А. Головкинского, могут иметь неодинаковый состав, отвечающий палеогеографической обстановке их формирования. Породы в слоистой толще, расположенные ближе к береговой линии, при трансгрессии моря будут относительно моложе более удаленных от берега, а при регрессии — наоборот.

Несколько позже, в 1872 г., А. А. Иностранцев, проводя исследования на севере Европейской России, также обратил внимание на различный состав одновозрастных отложений. Он показал, что в случае, когда осадконакопление сопровождается постепенным опусканием, образуется целая серия отложений, в которой каждая последующая группа осадков как бы «надвинута» на предыдущую, т. е. последовательность напластования в горизонтальном направлении вполне совпадает с порядком формирования в вертикальном разрезе.

В 1893 г. немецкий геолог И. Вальтер (1860—1937) на более широком региональном материале независимо пришел к аналогичным выводам. В монографии «Введение в геологию как историческую науку» он писал, что «напластование или слоистость возникает благодаря различиям в составе наслаивающегося материала вследствие миграций фаций. Выклинивающееся наслоение свидетельствует о пространственной смене фаций и характеризует внешний край отложений». Подобная закономерность распределения фаций, выявленная И. Вальтером, а до него Н. А. Головкинским и А. А. Иностранцевым, известна в литературе как *закон Вальтера* (его следовало, точнее, называть законом Головкинского—Вальтера).

<sup>1</sup> Термин «колебательные движения» появился в русской литературе в работе А. Д. Озерского (1832).

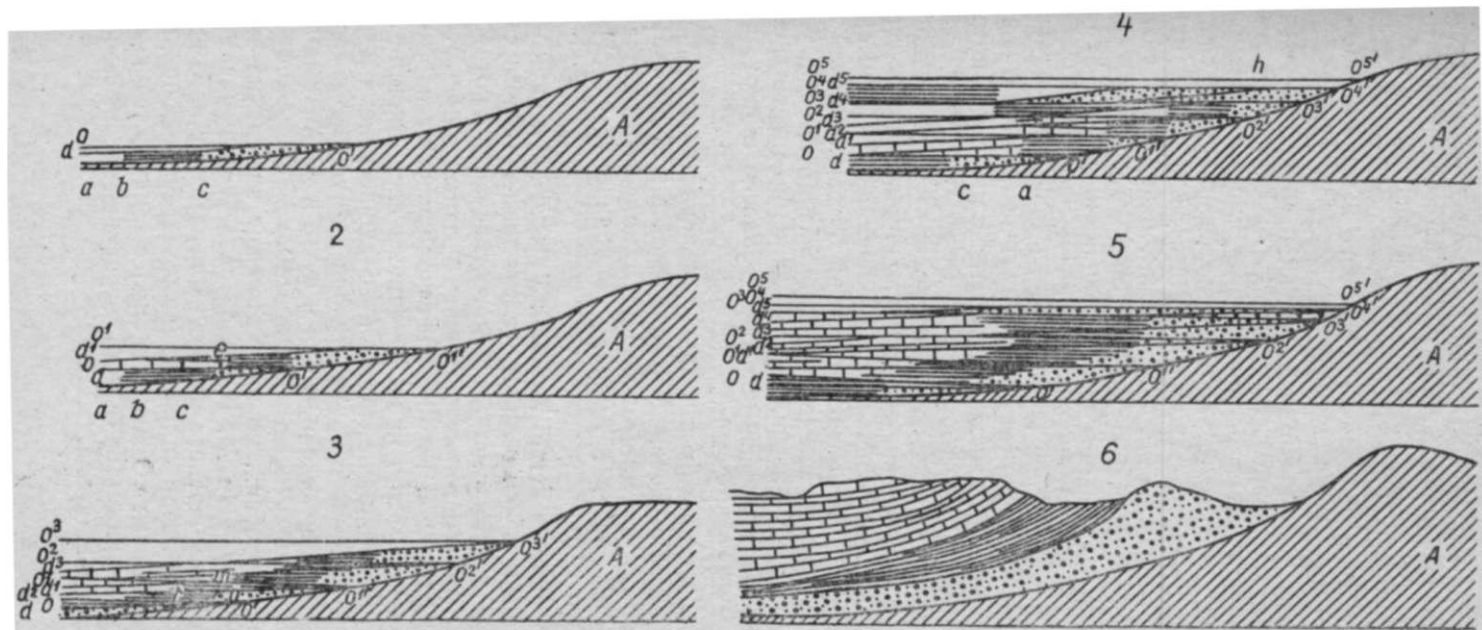


Рис. 19. Последовательность формирования слоистой структуры осадочных пород (по Н. А. Головкинскому, 1868; из книги С. И. Романовского)

Успехи региональной геологии позволили приступить к созданию палеогеографических карт различных территорий с показом распространения суши и моря в прошлые геологические эпохи и попыткой восстановления физико-географических условий образования комплексов осадочных пород того же временного интервала.

Первая подобная палеогеографическая карта Европейской России была опубликована в 1862 г. Г. А. Траутшольдом (1817—1902); на ней показано распределение суши и моря в пределах этого региона в юрский период. В начале 80-х годов серия палеогеографических карт Европейской России была предложена А. А. Иностранцевым. На этих картах были уточнены контуры береговой линии бассейнов в различные этапы развития территории, а в объяснительной записке проанализирован характер изменения глубин моря и физико-географические обстановки формирования различных типов пород с точки зрения фациального анализа. Но наиболее значительные работы по палеогеографии Европейской России были выполнены А. П. Карпинским, который составил и проанализировал палеогеографические карты Европейской России для всех геологических периодов «исторического» этапа развития, т. е. фанерозоя, включая ледниковый период (рис. 20). Широкие палеогеографические обобщения А. П. Карпинского позволили судить о палеотектонической обстановке формирования основных структурных элементов Европейской России, установить специфику их эволюции и наметить закономерности и связи развития равнинных (платформенных) областей и окружающих их горно-складчатых сооружений.

В конце XIX столетия подобные исследования по расшифровке истории развития Северо-Американской платформы были начаты и американскими геологами. Первые палеогеографические карты территории Северной Америки опубликованы Ч. Шухертом (1858—1948) в 1910 г.

Таким образом, в конце XIX в. на стыке двух наук — исторической геологии и физической географии — оформилась новая геологическая дисциплина — палеогеография, о которой в 80-х годах известный австрийский геолог и палеонтолог М. Неймайр (1845—1890) писал: «Эта область исторической геологии зародилась недавно, но быстро продвигающиеся исследования в отдельных странах позволяют надеяться на большие успехи в недалеком будущем; при всей своей трудности они имеют огромное значение, так как, зная распределение моря и суши в различные эпохи, мы будем в состоянии ответить на целый ряд труднейших вопросов динамической геологии... но окончательное выяснение их принадлежит будущему». Сам М. Неймайр составил первую палеогеографическую карту юрского периода для всего земного шара. Вопросам палеогеографии и палеоклиматологии посвящены две его классические работы: «О климатических зонах в течение юрского и мелового времени» (1883) и «Географическое распространение юрских формаций» (1885).

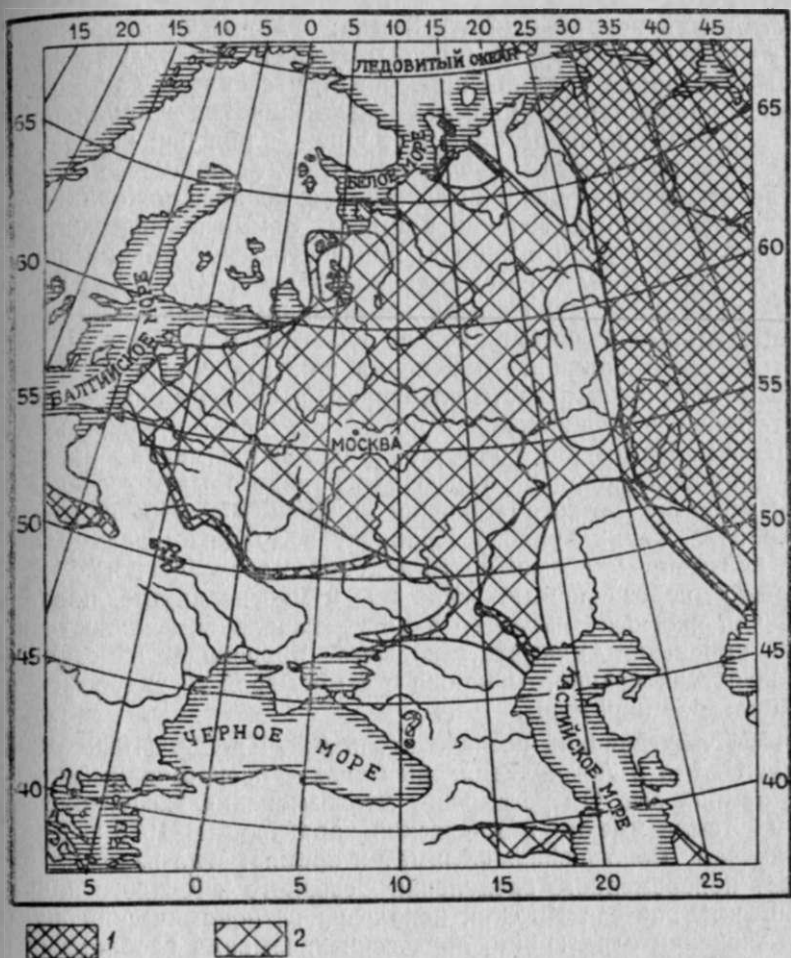


Рис. 20. Палеогеографическая карта Европейской России для девона (по А. П. Карпинскому, 1894, упрощенно):  
 1 — бассейны всего девонского периода; 2 — средне- и верхнедевонские бассейны

Широкие палеогеографические построения стали основой для анализа палеоклиматических изменений в истории Земли. По анализу распределения некоторых видов морских ископаемых Неймайр выявил широтную климатическую зональность Земли для юрского и мелового периодов, тем самым предсказав возможность использования палеоклиматических данных при палеотектонических построениях, широко используемых в настоящее время. Интересные работы по палеоклиматам Земли были опубликованы И. Д. Лукашевичем, который подметил определенную цик-

личность в изменениях климата Земли: влажный и жаркий климат в лаврентьевское время (архей); суровый прохладный климат в гуронское время (ранний протерозой); с триаса до триаса — жаркий и равномерный климат; очень широкий жаркий пояс и умеренная околополярная область в юре — плиоцене; контрастные температуры по широтам — плиоцен-четвертичное время.

Были высказаны различные мнения по поводу характера и причин глобального изменения климата Земли во времена. Наиболее острая дискуссия возникла при обсуждении причин покровных оледенений Земли и межледниковых эпох. Ч. Ляйель считал, что причиной оледенения были вертикальные движения земной коры. Детальный вариант версии изложил Дж. Дэна, с точки зрения которого причиной изменения климата служили глобальные поднятия суши и части акваторий, поскольку они создавали препятствия для проникновения теплых океанских течений в северные широты. Изменения солнечной радиации и начало разрастания ледниковых покровов увязывались некоторыми исследователями с эпохами резкого усиления вулканизма взрывного типа. Пример извержения вулкана Кракатау в Зондском архипелаге в 1883 г. указывал на возможность подобного воздействия.

Однако перечисленные гипотезы и многие другие, подобные им, носили частный характер и не учитывали глобальности процессов изменения климата, которые происходят в результате взаимодействия ледяного покрова с атмосферой — гидросферой и движениями земной коры.

В 1864 г. английский исследователь Дж. Кролль (1820—1890?) выдвинул идею о связи ледниковых эпох с прецессионными качаниями земной оси. Он установил, что изменения эксцентриситета орбиты Земли имеют циклический характер. В 1875 г. Кролль опубликовал монографию «Климат и время», где изложил свою гипотезу попеременного оледенения Северного и Южного полушарий Земли. Гипотеза Кролля, используя астрономический фактор для объяснения оледенений, логически увязывала глобальные изменения атмосферных процессов и направления теплых и холодных океанских течений, определяющих климат Земли. Вокруг нее разгорелись споры; принципиальные противоречия концепции Кролля были выявлены при анализе продолжительности межледниковых эпох, проведенном американскими исследователями. Дж. Дэна опроверг метахронность ледниковых эпох Северного и Южного полушарий. В итоге в конце столетия интерес к гипотезе Кролля практически угас. Сам Дж. Кролль, убежденный в правильности своих теоретических выводов, видел несовершенство имеющихся хронологических датировок ледниковых эпох и справедливо предположил, что многие вопросы о хронологии ледниковых периодов будут уточнены при исследовании Мирового океана.

Много позже, уже в 60-е годы XX в., исследования осадков океанского дна действительно подтвердили другую, более строгую астрономическую гипотезу циклического изменения климата Земли, предложенную сербским математиком М. Миланковичем в

1912—1914 гг. (см. гл. 7.4). В 1941 г., подводя итоги своей работы по выяснению причин древних оледенений, М. Миланкович (1879—1958) писал: «Причины изменения инсоляции, вызываемые взаимодействием планет и пертурбациями в их орбитах, лежат далеко за рамками видения естественных наук описательного плана. Поэтому создание теории ледниковых эпох — задача точных наук, которые должны опираться на законы, управляющие Вселенной, на наиболее совершенные математические методы. А описательные науки должны проследить, чтобы эта теория была согласована с фактическими данными, установленными геологией».

Крупные региональные обобщения по геологии горных и равнинных областей различных континентов заставили геологов обратить внимание на процессы динамики развития рельефа. В 80-е годы XIX в. на стыке геологии и физической географии возникло еще одно самостоятельное научное направление — геоморфология — наука о рельефе земной поверхности, его строении, происхождении, истории развития, динамике взаимодействия формирующих его экзогенных и эндогенных процессов.

Выделение геоморфологии в самостоятельную отрасль знаний связано с именами В. М. Дэвиса (1850—1934), А. Пенка (1858—1945), Г. Гилберта (1843—1918), Дж. Пауэлла (1834—1902), А. П. Павлова, И. Д. Черского, В. В. Докучаева (1846—1903), И. В. Мушкетова (1850—1902), а позднее В. Пенка (1888—1923). Это были представители разных географических и геологических школ. Их исследования касались проблемы образования и развития речных долин (В. В. Докучаев, А. П. Павлов, А. Пенк), влияющая физико-географических процессов на формирование рельефа (Дж. Пауэлл, И. В. Мушкетов, А. Пенк), связи тектоники и рельефообразования (Г. Гилберт, И. Д. Черский). В конце XIX столетия появляются обобщающие труды А. П. Павлова, А. Пенка, В. М. Дэвиса, в которых систематизируются представления о строении земной поверхности, происхождении рельефа и делаются первые попытки его классификации.

В 1898 г. А. П. Павлов предлагает генетическую классификацию типов рельефа, различая рельеф тектонический, эрозионный, аккумулятивный и смешанный эрозионно-аккумулятивный.

В 1899 г. американский геоморфолог В. М. Дэвис разработал учение о географических циклах становления рельефа, которое долгое время служило теоретической основой геоморфологии и не потеряло своей научной ценности до наших дней. Дэвис считал, что развитие рельефа аналогично развитию органического мира и происходит медленно и постепенно. Он выделил несколько стадий эволюции рельефа: юности, зрелости, старости и дряхлости. Основой изучения рельефа лежит, по его мнению, в познании геологической структуры, динамики процессов и времени, поскольку сумма изменений, вызванных деструктивными процессами, возрастает в течение времени. По признакам ведущего процесса Дэвис выделял водно-эрозионный, ледниковый, морской и эоловый циклы развития рельефа. Деятельность ведущего процесса протекает

постепенно и дает разные результаты в условиях разной геологической структуры, но в конечном итоге ведет к выравниванию рельефа и образованию пенеплена (почти равнины); новый цикл развития начинается в связи с поднятием пенеплена (термин Дж. Пауэлла).

Несколькоми десятилетиями позже немецкий геоморфолог В. Пенк уязал стадии развития рельефа с тектоническими движениями. В отличие от Дэвиса, В. Пенк рассматривает рельеф как результат взаимодействия тектонических движений и денудационных процессов. Согласно В. Пенку, на фоне быстрого и значительного поднятия происходят энергичные эрозионные процессы, при которых склоны приобретают выпуклый профиль. При замедлении темпов поднятий профиль склонов становится более или менее прямым, а при длительном устойчивом состоянии земной коры склоны в процессе денудации отступают в сторону водоразделов и приобретают вогнутый профиль. При возобновлении движений склон начинает менять свою конфигурацию. Иначе, чем В. Дэвис, В. Пенк представлял реализацию процесса пенепленизации, отводя ведущую роль в разрушении водораздельных плато боковой эрозии долин рек.

Теоретические концепции В. Дэвиса и В. Пенка, носившие ярко выраженный эволюционистский характер, во многом определили развитие геоморфологии в XX в., хотя и подверглись определенным уточнениям.

Во второй половине XIX в. в качестве самостоятельной научной дисциплины стала выделяться и гидрогеология. Изучением подземных вод, закономерностей их размещения в земной коре и условий залегания интересовались многие ведущие геологи того времени: Ч. Ляйель, Э. Зюсс, Г. Е. Шуровский, С. Н. Никитин, В. В. Докучаев, И. В. Мушкетов, А. П. Павлов и др.

В 1856 г. французский инженер-гидравлик А. Дарси (1803—1858) в ходе экспериментов по изучению фильтрации воды установил закон движения подземных вод (закон фильтрации Дарси) и тем самым заложил теоретические основы исследований в области подземной гидродинамики.

Первым значительным исследованием, в котором была четко поставлена проблема изучения подземных вод в историческом аспекте, стала работа другого французского ученого Г. Добре «Подземные воды древних эпох. Их роль в возникновении и последующем изменении вещества земной коры», вышедшая в 1887 г. Ценность работы Г. Добре заключается в том, что он попытался найти пути изучения истории подземных вод, исходя в основном из минерального состава эпигенетических образований, возникших в результате деятельности подземных вод. Многие проблемы, затронутые в работе Г. Добре, разрабатывались другими его современниками. В частности, чешский геолог Ф. Пошепни (1836—1895), занимаясь вопросами рудообразования, выделил две области подземных вод; верхнюю он назвал областью вадозной циркуляции, а нижнюю — областью глубинной циркуляции.

Большой вклад в развитие гидрогеологии внес С. Н. Никитин (1851—1909). В 80-е годы он сделал первые широкие обобщения по региональной гидрогеологии Русской равнины, выявил закономерности распространения артезианских и грунтовых вод, провел первое гидрогеологическое районирование крупной территории и разработал методику гидрогеологической съемки.

И. В. Мушкетов уделил много внимания вопросам происхождения подземных вод в своем учебнике «Физическая геология» (1888), где изложил теоретические основы гидрогеологии. В. В. Докучаев установил закономерные связи между климатом, характером почв, растительности и подземными водами, рассматривая последние как активную компоненту ландшафта.

Таким образом, к концу XIX столетия были разработаны основные положения теоретической и региональной гидрогеологии, которые определили принципиальные направления развития этой науки в XX в.

#### 5.5. РАЗВИТИЕ ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ, КРИСТАЛЛОГРАФИИ. СТАНОВЛЕНИЕ УЧЕНИЯ О ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Второй половине XIX столетия отвечает новый этап развития наук о веществе. Резкая грань разделяет домикроскопический период исследования вещества, характеризующийся изучением его внешних признаков путем визуального наблюдения, и микроскопический период, когда для изучения горных пород и минералов был применен поляризационный микроскоп. В 1850 г. английский геолог К. Сорби (1826—1908) предложил методику изготовления прозрачных шлифов и изучения их с помощью поляризационного микроскопа. Вначале полевые геологи настороженно отнеслись к методу, «рассматривающему горы под микроскопом». Но в скором времени они уже не представляли себе изучения горных пород без поляризационного микроскопа. В 1866 г. вышла монография немецкого петрографа Ф. Циркеля (1838—1912) «Петрография», где еще не были отражены возможности оптической петрографии, но в 1870 г. тот же автор публикует свою классическую работу о базальтах, которую Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1861—1939) назвал «поворотной вехой, отмечающей зарю новой эры в петрографии, показавшей все значение микроскопа». Последующие десятилетия стали временем лавинного накопления огромного наблюдательного материала.

В 1873 г. появилась монография немецкого исследователя Г. Розенбуша (1836—1914) «Микроскопическая физнография», где были рассмотрены оптические характеристики главных породобразующих минералов. В 1879 г. французские петрографы А. Мишель-Леву (1844—1911) и Ф. Фуке (1828—1904) опубликовали сводную работу по минералогии изверженных пород. В России петрографические исследования с помощью микроскопа широко внедряли А. А. Иностранцев, А. П. Карпинский, Ф. Ю. Левин-

сон-Лессинг; Е. С. Федоров (1853—1919) значительно усовершенствовал метод микроскопических исследований. Изобретенные им в 1891 г. двухкружный гониометр и специальное устройство, представляющее собой комбинацию двух теодолитов, получившее впоследствии название «федоровского столика», которое позволяло ставить строго ориентированное положение минерала в шлифах, явились универсальным методом определения порообразующих минералов и кристаллов. Это способствовало быстрому развитию минералогии и петрографии. Австрийский минералог и петрограф Ф. Бекке (1855—1931) в 1903 г. разработал методику определения под микроскопом показателя преломления кристаллов и ввел в практику иммерсионный метод, сохранивший свое значение до сегодняшнего дня.

Микроскопическое исследование минералов и горных пород позволили по-новому рассматривать условия их образования. Новые классификации магматических пород с учетом условий их образования, структурных особенностей и минерального состава были предложены Г. Розенбушем и А. Мишель-Леви в конце 80-х годов. Постепенно увеличивалось количество оптических констант для определения минералов; по мнению Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, к концу 80-х — началу 90-х годов прошлого столетия описательная микроскопическая петрография достигла своего апогея.

Параллельно с микроскопическим начало развиваться физико-химическое направление петрографии. Еще в 50-е годы XIX в. французский минералог Ж. Дюроше (1817—1865) и немецкий химик Р. Бунзен (1811—1899) впервые высказали взгляд на магму как на раствор. Значительно позднее русские исследователи А. Е. Лагорио (1852—1925) и Ф. Ю. Левинсон-Лессинг доказали, что все особенности процесса формирования магматических пород определяются законами кристаллизации растворов, и только с этих позиций можно подобрать ключи к правильному пониманию механизма кристаллизации магмы.

К концу XIX — началу XX в. дискуссия развернулась вокруг двух основных проблем: происходят ли магматические породы из одной базальтовой магмы или из нескольких родоначальных магм и какой процесс является определяющим при кристаллизации магмы — кристаллизационно-гравитационная дифференциация или ее ликвация еще в жидком состоянии. В связи с этим много позже, в 1937 г., Ф. Ю. Левинсон-Лессинг на Международном геологическом конгрессе в Москве сделал доклад «О кризисе магмы». В настоящее время эти проблемы продолжают обсуждаться ведущими петрографами.

Развитие микроскопической петрографии оказало решающее влияние на становление учения о метаморфизме. Начиная с работ Ч. Ляйеля, метаморфические породы стали выделяться в самостоятельную категорию. К середине XIX в., благодаря работам французских исследователей Ж. Дюроше, Г. Добре (1814—1896) и русского геолога П. С. Усова (1828—1888), сложилось представление о двух типах метаморфизма: контактовом, возникающем в

Области непосредственного влияния магматических пород на вмещающую раму ранее существовавших образований, и региональном, происходящем вне контактовых зон. Дальнейшим развитием учения о региональном метаморфизме явилось установление понятия о глубинном метаморфизме, развивающемся в процессе эволюции геосинклиналей, и динамометаморфизме. С помощью поляризационного микроскопа был установлен минеральный состав метаморфических пород, определены минеральные ассоциации различных типов, предложена классификация их структуры. Г. Ронбушу в 1877 г. удалось показать, что исходными материалами для однотипных метаморфических пород могут служить совершенно различные породы. В 1888 г. на IV сессии Международного геологического конгресса в Лондоне, где обсуждались проблемы генезиса метаморфических пород, была принята концепция образования кристаллических сланцев и других метаморфических пород как из магматических, так и из осадочных пород. Вскоре популярной стала концепция глубинных зон метаморфизма. Она возникла и развивалась почти одновременно и независимо в разных странах, в Финляндии Я. Седерхольмом (1863—1934), в Америке Ч. Ван-Хайзом (1857—1918), в Австрии Ф. Бекке, в Швейцарии У. Грубенманом (1850—1924), в России И. Д. Лукашевичем. Согласно этой концепции, основной причиной метаморфизма служит повышение температуры и давления, увеличивающееся при погружении горных пород на все большие глубины. В земной коре стали выделять глубинные зоны со своими величинами температуры и давления, в которых возникают характерные для них метаморфические минералы и породы.

Наибольшую популярность первоначально получила схема М. Грубенмана, опубликованная в 1904 г., с трехчленным делением земной коры на эпи-, мезо- и катазону. Однако уже в период ее создания были опубликованы описания горизонтальной зональности метаморфизма (Г. Барроу, 1893), которые не укладывались в рамки концепции глубинных зон.

В конце XIX в. стало также популярным учение о круговороте и цикличности образования горных пород, суть которого заключалась в превращениях: магма — изверженная порода — выветрелая порода — осадочная порода — слабометаморфизованная порода — глубокометаморфизованные сланцы — анатектические мигматиты — магма. Однако опубликованные в первой четверти XX столетия работы Ф. Бекке и швейцарского геохимика П. Ниггли (1888—1953) показали, что концепция глубинных зон метаморфизма и круговорота пород не в состоянии объяснить многих геологических фактов. Но их дальнейшее обсуждение относится уже к следующему этапу развития геологических наук, здесь же важно подчеркнуть, что основы учения о метаморфизме были заложены все же в последней четверти XIX в.

Интенсивное развитие петрографии во второй половине XIX столетия было неразрывно связано с успехами минералогии и кристаллографии. В минералогии во второй половине XIX в. ос-

новые достижения были обусловлены более тщательным изучением химического состава минералов, их детальным описанием и определением регионального распространения. Увеличилось общее количество изученных минеральных видов. Отдельными сборниками были опубликованы справочные издания по минералогии Англии, Ирландии, Франции, Испании, Японии, Перу, США и Канады.

Особое значение имели многотомные труды американского геолога Дж. Дэна «Система минералогии», изданные в шести выпусках (с 1837 по 1892 г.), и русских минералогов Н. И. Кокшарова (1818—1892) и П. В. Еремеева (1830—1899) «Материалы для минералогии России», опубликованные в 22 томах (первые 8 томов с 1852 по 1892 г. выпустил Н. И. Кокшаров, остальные 14 были изданы под редакцией П. В. Еремеева).

Успехи химии и физики позволили минералогам на данном этапе развития своей науки сосредоточить внимание на проблемах изоморфизма, химического состава и структуры основных породообразующих минералов. Главными объектами исследования стали наиболее распространенные в природе минералы класса силикатов.

При расшифровке структуры силикатов наметилось два главных направления. Одно из них, развиваемое немецкой школой минералогов, главным образом П. Гротом (1843—1927) и его учениками, отделяло кремний в структуре силикатов от других катионов и допускало существование множества гипотетических кремнистых кислот. Французские исследователи, к которым впоследствии примкнул В. И. Вернадский (1863—1945), отождествляли по химической роли в структуре силикатов кремнезем, алюминий, бор и предполагали наличие алюмосиликатного ядра, являющегося основой структуры силикатов. Как оказалось впоследствии, при рентгенографическом изучении структур силикатов, обе точки зрения заключали в себе рациональные элементы, которые были использованы при расшифровке мотивов их структуры и создании общей кристаллохимической теории силикатов.



Пауль Грот (1843—1927)

В рамках минералогии во второй половине XIX в. быстрыми темпами развивалось и кристаллографическое направление.

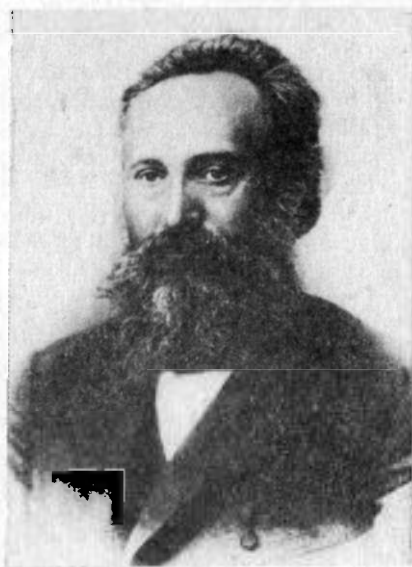
Основываясь на учении о симметрии, теории решетчатых систем и кристаллографических построениях О. Браве, кристаллографы второй половины XIX столетия направили свои усилия на создание теории кристаллической структуры вещества. Основные достижения кристаллографии на рубеже XIX и XX вв. А. Е. Ферсман (1883—1945) связывает с именами П. Грота, Е. С. Федорова и В. Гольдшмидта.

П. Грот был центральной фигурой среди кристаллографов и минералогов конца XIX — начала XX столетия. Организатор первого Института минералогии в Германии, создатель международного «Журнала кристаллографии и минералогии», П. Грот являлся автором обобщающих трудов по физической и химической кристаллографии. Он сформулировал закон о соотношении между составом и симметрией кристаллов и, по мнению А. Е. Ферсмана, «вся современная кристаллохимия, как бы мы ее ни представляли и ни расценивали, есть, несомненно, наследие его блестящих работ».

Е. С. Федоров высказал новые оригинальные идеи и создал строгую математическую основу современной кристаллографии. Разработанная Е. С. Федоровым новая методика изучения кристаллов и минералов («федоровский столик») способствовала быстрому развитию минералогических и петрографических исследований. Научные интересы Е. С. Федорова были связаны с выяснением геометрических законов, управляющих расположением формирующих кристалл атомов, молекул и ионов. В 1890 г. он математически обосновал 230 способов размещения материальных частиц в кристаллах — 230 пространственных групп симметрии, известных в литературе как «федоровские группы».

Практически одновременно с Е. С. Федоровым и независимо от него исследованием всех теоретически возможных случаев размещения точек в кристаллическом пространстве занимался немецкий математик А. Шенфлис (1853—1928), который пришел к аналогичным выводам и указал на то же количество пространственных групп симметрии.

П. Грот одним из первых понял значение достижений Е. С. Федорова в области кристаллографии, не оцененных в то время в России. Уже в начале XX в. он содействовал проведению



Евграф Степанович Федоров (1853—1919)



Виктор Мориз Гольдшмидт  
(1888—1947)

опытов немецкого физика М. Лауэ, который в 1912 г. открыл явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллах и доказал решетчатую геометрию кристаллических структур, тем самым подтвердив предсказанные Е. С. Федоровым законы строения кристаллического вещества. Эти законы легли в основу современного кристаллохимического этапа исследования вещества, когда изучается связь между расположением атомов в структурах кристаллов и их химическим составом, характером химической связи и свойствами.

В. М. Гольдшмидт (1888—1947), известный в науке как один из основателей геохимии, создал фундаментальные труды по кристаллографии. Им были составлены крупные сводные работы: «Указатель кристаллических форм», «Таблицы кристаллографических углов», «Атлас кристаллографических форм» и дру-

гие, сохранившие свою актуальность в наше время. Гольдшмидт является также основателем нового научного направления минералогической кристаллографии — генетической морфологии кристаллов, рассматривающей структуру граней и поверхностей кристаллических тел как следствие воздействия внешней минералобразующей среды.

В. И. Вернадский в 1894 г. писал: «Минералогия переживает теперь весьма знаменательную пору своего развития; от нее отделяется новая наука — кристаллография, и недалеко то время, когда эти две области будут развиваться самостоятельно и разные люди будут заниматься ими».

Результаты новейших исследований вещественного состава земной коры предоставили огромный материал по геологии рудных месторождений, накапливались сведения о специфике формирования торфа, угля, нефти. Экономическое развитие многих стран во второй половине XIX столетия определялось наличием запасов тех или иных полезных ископаемых. Горная промышленность стимулировала геологические исследования. Геологические службы ряда стран помимо составления геологических карт стали непосредственно заниматься разработкой критериев поисков, а следовательно, изучением условий образования и классификацией месторождений полезных ископаемых. В результате этой потребности

во второй половине XIX в. выделилось самостоятельное научное направление — учение о полезных ископаемых, которое включало целенаправленное изучение земной коры с целью поиска конкретных минералов и горных пород, выяснения условий их образования и регионального распространения, с последующей разработкой открытых месторождений.

Однако учение о рудных полезных ископаемых имело глубокие традиции, корни которых уходят к истокам геологической науки. Самым выдающимся авторитетом в вопросах теории рудного генезиса в середине XIX в. был немецкий геолог Б. Котта (1808—1879), профессор Фрайбергской Горной академии в Германии, изучавший рудные месторождения Саксонии, Алтая и других регионов. В монографии «Учение о рудных месторождениях» (1859) он указал на зональность распределения рудного вещества, выделил разные фазы рудообразования и объяснил образование руды результатом инфильтрации глубинных потоков. Термин «гидротермальные месторождения» в науку о рудообразовании ввел в 1897 г. бельгийский геолог Л. де Лоне.

Вопрос о природе инфильтрационных потоков был наиболее спорным в дискуссии о происхождении рудных месторождений, начало которой было положено во второй половине XIX в. Высказывались различные точки зрения на природу инфильтрационных потоков. Согласно одной из них, эти потоки формировались в процессе просачивания метеорных вод, и рудные месторождения образовались без участия магматизма, в процессе выноса рудообразующих элементов и их переотложения инфильтрационными водами. Сторонники другой точки зрения связывали инфильтрационные потоки с процессами магматизма. Основные разногласия среди последних касались глубины образования этих потоков. Одни считали, что минерализованные флюиды поступают из подкоревой мантии («барисферы»), другие рассматривали растворы как следствие отделения летучих компонент при раскристаллизации гранитов. Одновременно выдвигалась идея рудных расплавов, из которых могла непосредственно образоваться руда.

Лидером инфильтрационной теории происхождения рудных жил при участии метеорных вод стал немецкий исследователь Ф. Зандбергер. Эта теория, получившая название латераль-секреционной, в наиболее полном виде была изложена им в двухтомной монографии «Исследования о рудных жилах» (1882—1885). Основываясь на материалах исследования рудных жил Шварцвальда, он отметил, что вмещающие породы обнаруживают повышенное содержание рудных компонент и что скопление их в трещинах является результатом латеральной секреции, т. е. выщелачивания из прилегающих пород, и никак не связано с восходящими глубинными растворами. Работа Ф. Зандбергера была встречена сочувственно большинством исследователей; ее поддержали известные американские геологи Ч. Ван-Хайз, С. Ф. Эммонс (1876—1948). Ч. Ван-Хайз в 1901 г. высказал предположение о том, что рудообразующее вещество в ходе геологической истории многократно

переотлагалось и затем концентрировалось под действием инфильтрационных вод поверхностного происхождения. Согласно его взглядам, месторождения, отложенные из подобных водных растворов, составляют доминирующий класс от общего объема подземных циркулирующих вод, причем вода метеорного происхождения составляет 95%.

Представления сторонников латераль-секреционной теории рудообразования подверглись резкой критике со стороны чешского геолога Ф. Пошепни. В работе «О генезисе рудных месторождений» (1894) на основании изучения рудных месторождений Центральной Богемии он пришел к выводу, что процессы латеральной секреции и магматической сегрегации не имеют принципиального значения при рудообразовании. Определяющий вклад в рудообразование вносят горячие воды, восходящие из барисферы. Он выделил две области циркуляции подземных вод в земной коре. Одна из них — внешняя (вадозная), в которой рудообразование происходит из нисходящих вод или путем латеральной секреции; другая — основная глубинная зона, где вода, поднимающаяся из барисферы, несет с собой металлические элементы в литосферу.

Бельгийский геолог Л. де Лоне (1860—1938) и француз Ж. Ле Конт связывали формирование рудообразующих гидротермальных вод с отделением летучих компонентов, возникающих при остывании и кристаллизации гранитов.

Некоторые геологи отвергали роль как вадозных, так и гидротермальных вод при рудообразовании и основополагающими в этом процессе считали образование рудных жил непосредственно из магматических расплавов, обогащенных рудными элементами. Своей кульминации эта идея достигла в 20-х годах XX столетия, в основном благодаря работам американского геолога Дж. Спёрра (1870—1950).

Таким образом, во второй половине XIX в. были сформулированы основные концепции рудообразования. Последующие исследования, проводимые в XX в., показали, что каждая из них имеет право на существование и характеризует лишь какую-то частную сторону этого сложнейшего природного процесса.

Среди других полезных ископаемых во второй половине XIX столетия важное значение стали приобретать горючие — уголь и нефть. Интересна динамика роста мировой добычи нефти начиная с 1870 г.: 1870 — 0,8 млн т; 1880 — 4,1 млн т; 1890 — 10,3 млн т; 1900 — 20,0 млн т. За тридцать лет объем добычи нефти вырос почти в 30 раз. В 1900 г. мировая добыча бурого угля составляла 70,7 млн т, каменного — 706,6 млн т. В основном эти виды полезных ископаемых использовались в качестве топлива.

Нефть добывали преимущественно из колодцев, первые нефтяные скважины были пробурены в окрестностях г. Баку в 1848 г., в 1859 г. были пробурены первые скважины на нефть в Пенсильвании (США).

Постепенно в ходе освоения нефтяных месторождений возникали представления о закономерностях скопления нефти. Одной

из первых была так называемая «сбросовая теория» залегания нефти, предполагавшая приуроченность скоплений нефти к зонам дробления и повышенной трещиноватости горных пород. Начиная с 1885 г. стала завоевывать признание «антиклинальная теория», изложенная в работах американского геолога И. Уайта (1848—1927), а затем австрийца Г. Гефера (1823—1924). В 1899 г. были открыты нефтяные месторождения на Эмбе, а в 1901 г. — на берегу Мексиканского залива в США, приуроченные к солянокупольным структурам. Механизм образования нефтяных залежей в сводах антиклинальных структур увязывался с миграцией нефти из нижележащих слоев. Эту точку зрения поддерживали известный исследователь Кавказа Г. В. Абих (1806—1886) и канадский геолог Т. С. Хант (1826—1892).

По вопросу происхождения самой нефти высказывались различные точки зрения. Знаменитый русский химик Д. И. Менделеев (1834—1907) выдвинул идею подземной газификации углей и предложил первую неорганическую (карбидную) гипотезу образования нефти. Большинство же исследователей придерживались теории органического происхождения нефти, наиболее полно изложенной в начале XX в. немецким палеоботаником Г. Потонье (1857—1913) и русским геологом Г. П. Михайловским (1870—1912). Но основная дискуссия по вопросу происхождения нефти развернулась в XX столетии (см. следующие главы), когда нефть стала одним из важнейших полезных ископаемых.

## **56. ПЕРВЫЕ ШАГИ ГЕОФИЗИКИ В ИЗУЧЕНИИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ**

Современная геология во многом опирается на изучение естественных физических полей Земли. Геофизика как наука имеет свою историю, корни которой уходят в историю самой физики. Идея изучения геофизических полей для выяснения глубинной структуры Земли и эндогенных процессов, в ней протекающих, начала реализовываться лишь в середине XIX в.

Магнитометрия явилась первым геофизическим методом, который стал применяться для решения геологических задач, главным образом для поиска залежей магнитных железных руд.

Еще в 1600 г. английский естествоиспытатель личный врач английской королевы Елизаветы У. Гилберт (1544—1603) в книге «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле» высказал утверждение, что Земля представляет собой магнит, полюсы которого совпадают с географическими полюсами. У. Гилберт выдвинул предположение о намагниченности материков, которая производит отклоняющее действие на магнитную стрелку, и связал земной магнетизм с процессами, которые происходят внутри нашей планеты.

В 1839 г. немецкий математик и физик К. Гаусс (1777—1855) провел первый математический анализ геомагнитного поля. Он предложил модель геоцентрического диполя, ось которого накло-

нена на  $11,5^\circ$  к оси вращения Земли; геомагнитные полюса этого диполя по расположению отличаются от географических. В монографии «Общая теория земного магнетизма» К. Гаусс дал теоретическое обоснование изучения вековых вариаций магнитного поля Земли, что привело впоследствии к созданию учения о палеомагнетизме. Изучение главной составляющей напряженности магнитного поля было положено в основу разработки теории стационарного динамо, объясняющей структуру магнитного поля вблизи Земли; и наконец, изучение внутренней и внешней частей геомагнитного поля позволило геофизикам впоследствии применить изученное геомагнитное поле для выяснения внутреннего строения Земли.

При разработке современной магнитохронологической шкалы по предложению американского геофизика А. Кокса в 1969 г. имена этих двух пионеров геомагнитологии, У. Гилберта и К. Гаусса, были присвоены третьей и четвертой от современности эпохам инверсии геомагнитного поля.

К. Гаусс и А. Гумбольдт стали организаторами первых ширококомасштабных наблюдений. Под эгидой созданного ими «Магнитного союза» была реализована идея одновременного измерения вариаций магнитного поля Земли; 1882—1883 гг. вошли в историю как дата «Первого полярного года», подобная программа геомагнитных измерений была повторена через 50 лет, в 1932—1933 гг. — «Второй полярный год», а в 1957—1958 гг. по инициативе Международного геофизического союза был проведен первый Международный геофизический год.

В 1895 г. шведским геофизиком Р. Таленном был изобретен первый прибор для магнитной съемки — магнитометр. В России под руководством В. И. Баумана (1867—1923) в конце XIX столетия магнитная съемка проводилась на Урале в районах Магнитогорска и Тагила. В ходе этих работ были выявлены крупные магнитные аномалии, обусловленные залежами железной руды.

В 1890 г. на заседании Русского географического общества обсуждался вопрос о наличии еще более крупной магнитной аномалии в районе Курска. Аномалия занимала большую площадь и, по мнению исследователей, разгадка ее природы должна была во многом раскрыть тайны земного магнетизма. Была создана специальная магнитная комиссия и, по предложению профессора Московского университета Э. Е. Лейста (1852—1918), намечена программа исследования Курской магнитной аномалии (КМА). В 1898 г. Лейст высказал предположение, что КМА, открытая еще в 1783 г. штурманом, а затем академиком Петербургской АН П. Б. Иноходцевым (1742—1806), связана с крупнейшим скоплением железной руды. Идея Лейста в свое время не нашла поддержки у геологов Геолкома, тем более что пробуренные тогда скважины не достигли предполагаемой руды. И лишь в 20—30-х годах XX в. район КМА стал полигоном, где отрабатывались новые геофизические методы исследования земных недр, а существование

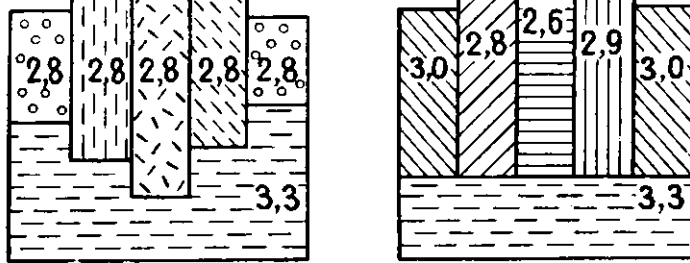


Рис. 21. Схема строения земной коры: а — по Дж. Эри, 1855; б — по Дж. Пратту, 1855

здесь крупнейших железорудных залежей нашло полное подтверждение.

Другим геофизическим методом, получившим применение уже в XIX в., стала гравиметрия. В середине XIX в. английский физик Г. Стокс (1819—1903) теоретически обосновал связь аномалий силы тяжести с фигурой Земли, определив тем самым геодезическое направление развития гравиметрии. Вычисленная Стоксом зависимость между неоднородностями рельефа и отклонениями отвеса маятника не всегда подтверждалась данными природных измерений. Измерения силы тяжести, проведенные в Индии у подножия Гималаев и в Андах, дали несколько неожиданный результат: полученные значения оказались значительно меньше тех, которые можно было ожидать при подобном градиенте изменения рельефа.

Для объяснения этого явления почти одновременно в 1855 г. появились две гипотезы (рис. 21), выдвинутые одна — английским астрономом Дж. Эри (1801—1892) и другая — английским священнослужителем Дж. Праггом (1809—1871); последний жил в Калькутте и занимался вопросами физики, математики и астрономии. Обе гипотезы исходили из допущения, что отдельные части земной коры находятся в состоянии равновесия, плаывая, в соответствии с законом Архимеда, в подстилающем слое подкоревой оболочки большей плотности. По мнению Эри, блоки, слагающие горные сооружения, состоят из гранитно-осадочного материала, имеют разную высоту, но одинаковую плотность. При этом чем выше горы, тем глубже они опускаются в подкоревый слой, создавая своеобразные «корни» гор. Следовательно, подошва земной коры служит как бы зеркальным отражением рельефа.

Дж. Прагг предложил другую модель, в которой блоки коры имеют разную плотность, причем более низкий рельеф отвечает

блокам большей плотности, а высокий — меньшей. Основание блоков находится на одинаковой глубине.

В 1889 г. американский геолог К. Деттон (1841—1912) подобный процесс компенсации неодинаковой высоты блоков коры назвал *изостазией*. Разработанная К. Деттоном теория изостазии стала широко использоваться для объяснения механизма вертикальных движений земной коры. Сам принцип изостазии нашел подтверждение в отсутствии крупных привитационных аномалий, связанных с мощными ледниковыми панцирями Гренландии и Антарктиды, и в восходящих движениях областей Балтийского и Канадского щитов, недавно освободившихся от ледовой нагрузки. Вместе с тем выяснилось, что в природе реализуется как схема Эри (горы — равнины), так и схема Пратта (океаны — континенты) или их комбинация.

Созданный в 1906 г. венгерским геофизиком Р. Этвешем (1848—1919) вариометр обеспечил широкое внедрение гравиметрического метода для решения практических геологических задач.

Третий геофизический метод, также появившийся еще в XIX в. и начавший играть все большую роль в изучении глубоких недр Земли, — сейсмический. Сейсмические явления изучались геологами с самого начала как проявление мгновенных подвижек земной коры, причем высказывались различные предположения об их причинах, изучались последствия. Физики конструировали приборы для регистрации этих подземных толчков. В последней трети XIX в. наука о землетрясениях оформилась в самостоятельную научную дисциплину — сейсмологию, которая ставила перед собой задачу определения потенциальной сейсмической опасности, т. е. сейсмического районирования. Появились термины «эпицентр», «изосейсты», «гипоцентр»; стали издаваться каталоги землетрясений, которые фиксировались небольшим количеством стационарных сейсмических станций.

18 апреля 1889 г. в Потсдамской геофизической обсерватории сломались магнитометры. Когда стали устанавливать причину поломки, то выяснилось, что время ее совпадает со временем сильного землетрясения, произошедшего в Японии и зафиксированного всеми сейсмическими станциями. Поскольку это показывало, что сейсмические волны прошли значительную толщу земных недр, возникла идея использовать это явление для расшифровки внутреннего строения Земли.

Особую роль в становлении данного направления сейсмологии сыграли исследования немецкого геофизика Э. Вихерта, русского физика Б. Б. Голицына (1862—1916) и английского физика Дж. Милла (1836—1913). Дж. Милл создал теорию сейсмоприемников. В 1895 г. немецкий геофизик Э. Ребер-Павшиц (1861—1895) установил в Страсбурге первый современный стационарный сейсмограф. Э. Вихерт разработал теорию прохождения сейсмических волн в реальных средах. Он предложил двухслойную модель Земли, первую сейсмическую модель ее оболочечного строения.

Особую роль в становлении сейсмологии сыграл Б. Б. Голицын. Физик по образованию, он много сделал в области создания теории сейсмометрии, изобрел сейсмограф оригинальной конструкции. Большое внимание Голицын уделял и разработке глубинной модели Земли. Он образно сравнивал землетрясения с факелами, которые «освещают на мгновения внутренность Земли». Голицын выделил слой Земли на глубинах 400—1000 км с особыми сейсмическими свойствами, названный впоследствии «слоем С», или «слоем Голицына», переходным от верхней к нижней мантии. Будучи президентом Международной сейсмической ассоциации (1911—1916), он в 1912 г. прочитал для начальников сейсмологических станций курс лекций по сейсмометрии, изданный вариантом которых считается классическим трудом по сейсмологии, не потерявшим значения до настоящего времени.

Таким образом, в конце XIX — начале XX в. были сформированы теоретические основы сейсмологии и начата разработка модели оболочечного строения Земли.

## **7. НАЧАЛО МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ГЕОЛОГОВ. ПЕРВЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КОНГРЕССЫ**

В последней четверти XIX в. горная промышленность ведущих экономически развитых стран мира вывела геологию в разряд приоритетных научных дисциплин. Во всех таких странах были созданы геологические службы. Профессия геолога стала престижной. Открывались специальные учебные заведения или факультеты, занимающиеся подготовкой геологов. Под эгидой национальных геологических служб и геологических обществ проводились широкие геологосъемочные работы. Надежной основой поиска полезных ископаемых стали геологические работы. Большой накопленный фактический материал, расширение географии региональных исследований ставили перед геологами задачи, решение которых было возможным только в процессе координации усилий геологов различных стран, особенно в условиях Европы, поделенной на множество государств. Прежде всего надо было договориться об общих принципах составления геологических карт, унифицировать системы условных обозначений и индексов картируемых комплексов, согласовать стратиграфические шкалы, другими словами, создать условия для сопоставимости и увязки геологических карт различных территорий.

На международных выставках, проводившихся в 1862 г. в Лондоне, в 1868 г. в Париже и в 1876 г. в Филадельфии, эти проблемы неоднократно обсуждались. В 1876 г. в г. Буффало близ Нью-Йорка по инициативе геологов ряда стран был поставлен вопрос о создании постоянной Международной геологической организации. Был сформирован Учредительный комитет по организации Международного геологического конгресса во главе с известным американским геологом Дж. Холлом. Этот Учредительный

комитет обратился к Французскому геологическому обществу за содействием в организации первого заседания.

В 1878 г. в Париже состоялась первая сессия Международного геологического конгресса (МГК). В ней приняли участие 310 геологов из 23 стран мира. Российская делегация не принимала участия в работе сессии, поскольку в стране еще отсутствовала Геологическая служба, но в порядке личной инициативы там присутствовало семь русских геологов.

На первой сессии конгресса в качестве основных вопросов обсуждались правила составления геологических карт, геологическая номенклатура и классификация. Эти вопросы оставались в центре внимания до восьмой сессии конгресса, которая собралась снова в Париже в 1900 г.

На первой сессии пришли к соглашению, что геологические конгрессы будут собираться каждые 3—4 года. Официальными языками конгресса стали французский, английский и немецкий, на 14-й сессии в 1926 г. к ним добавились итальянский и испанский, а на 18-й сессии в 1948 г. в Лондоне — русский язык.

На второй сессии МГК, состоявшейся в 1881 г. в г. Болонье (Италия), были одобрены унифицированные термины и условные обозначения для геологических карт, предложенные А. П. Карпинским, и принято решение о составлении по согласованной легенде Международной геологической карты Европы в масштабе 1:2 500 000. Со второй сессии в работе конгресса принимала участие официальная делегация России.

На третьей сессии конгресса в 1885 г. в Берлине уже демонстрировались первые готовые листы этой карты, окончательный вариант карты (первое издание) был опубликован в 1913 г. в трудах 13-й сессии конгресса, состоявшегося в Торонто (Канада).

В связи с возросшим количеством участников и докладов, разнообразием их тематики, начиная с шестой сессии, собравшейся в Цюрихе в 1894 г., были впервые выделены четыре секции: общей геологии, стратиграфии и палеонтологии, минералогии и петрографии, прикладной геологии, в дополнение к Комиссии по геологической карте Европы.

Седьмая сессия МГК проходила в Санкт-Петербурге в 1897 г.; председателем ее оргкомитета и президентом конгресса был А. П. Карпинский. На сессии обсуждались принципы и правила стратиграфической номенклатуры, принципы классификации и номенклатуры эффузивных пород. Состоялись четыре секционных заседания, посвященных обсуждению проблем общей геологии (орогенез, эволюция климата и др.), петрографии и минералогии, стратиграфии и палеонтологии, прикладной геологии и геофизики. Сессия конгресса сопровождалась геологическими экскурсиями по Европейской России, Уралу, Кавказу, Крыму, каждый маршрут обеспечивался прекрасно изданным путеводителем, к которому были приложены новейшие геологические карты и разрезы. 34 путеводителя геологических экскурсий конгресса объемом 700 страниц являлись в то время лучшим и наиболее полным руко-

водством по геологии России. В 1899 г. были опубликованы труды сессии.

На заключительном заседании сессии по предложению французского палеонтолога А. Годри конгресс принял обращение к правительствам всех стран, участвовавших в работе конгресса, с ходатайством о введении преподавания геологии в средней школе, что вскоре было осуществлено во Франции и Румынии, но до сих пор отсутствует в нашей стране.

## Глава 6. «КРИТИЧЕСКИЙ» ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК (10—50-е годы XX в.)

На рубеже XIX и XX вв. естествознание пережило очередную научную революцию. Проявилась она прежде всего в физике — были открыты рентгеновское излучение, естественная радиоактивность, разработана модель строения атома. Серьезные изменения претерпели и космогонические представления — была отвергнута небулярная гипотеза Канта—Лапласа, появилась планетезимальная гипотеза Мультона—Чемберлина, катастрофистская гипотеза Джинса, наметился переход от «горячих» космогоний, признававших изначально расплавленное состояние Земли, к «холодным», отрицавшим такое состояние (Вейцеккер, Шмидт, Юри и др. — уже в середине XX в.).

### 6.1. КРИЗИС В ГЕОТЕКТОНИКЕ

Эти достаточно радикальные перемены не могли не затронуть в той или иной форме и степени развитие геологических наук. В *геотектонике* они привели к фактическому крушению контракционной гипотезы, которая на протяжении всей второй половины XIX в. служила общепризнанной парадигмой теоретической геологии, на основе которой, как указывалось в предыдущей главе, на исходе века был создан первый синтез глобальной геологии — «Лик Земли» Зюсса. Чем же был вызван отказ подавляющего числа исследователей от контракционной гипотезы? Во-первых, заменой «горячей» космогонии «холодной». Если Земля изначально не была расплавленной, предположение о ее остывании с уменьшением объема теряло смысл. Во-вторых, открытие радиоактивности показало, что в Земле имеется мощный источник ее разогрева; по подсчетам английского физика Р. Стретта (1906), его было достаточно, чтобы предотвратить охлаждение Земли, а дальнейшие вычисления, например русского геофизика Е. А. Любимовой, показали, что Земля может даже испытывать вторичный разогрев за счет тепла радиоактивного распада. В-третьих, с открытием шарьяжного строения горных сооружений оказалось, что оно требует сокращения радиуса Земли такого масштаба, который не мог быть обусловлен ее вековым охлаждением.

Интересно отметить, что первые два аргумента ныне, спустя почти 100 лет, потеряли свое значение. Современные космогонис-

ты снова вернулись к представлениям об изначально горячей, частично или даже полностью расплавленной Земле, за счет тепла, выделяющегося при соударении планетезималей. Оценки тепла, выделяемого естественно радиоактивными элементами, оказались сильно завышенными, так как они исходили из содержания этих элементов в верхней части континентальной коры и непропорционально экстраполировали его на нижнюю кору и мантию. Другим источником ошибок в рассуждениях этих исследователей был недоучет роли конвективного теплопереноса в выделении внутреннего тепла Земли. Отсюда и выводы о ее прогрессирующем разогреве.

Однако в начале века лишь немногие крупные ученые, среди которых немец Г. Штилле и австриец Л. Кобер, остались верны контракционизму. Другие исследователи стали искать замену гипотезе контракции. В отличие от того, что происходило в геологии раньше, когда одну парадигму сразу сменяла другая: гипотезу поднятия — гипотеза контракции Эли де Бомона, на сей раз был выдвинут ряд взаимоисключающих гипотез и ни одна из них не завоевала общего признания, что дало повод известному американскому геологу Ч. Лонгвеллу назвать современную ему тектонику «сумасшедшим домом». Лишь в 40—50-е годы стало намечаться, особенно в нашей стране, нечто вроде консенсуса, но и это положение, как будет показано ниже, оказалось очень непрочным.

Хронологически одна из первых попыток найти альтернативу контракции принадлежала австрийскому геологу, исследователю Альп О. Амфереру (1906). Амферер, подобно контракционистам, считал покровно-складчатые сооружения образованными в условиях сжатия, но в отличие от контракционистов, в частности его соотечественника Л. Кобера, считал, что это сжатие является следствием не просто сближения ограничивающих геосинклиналь жестких глыб — кратонов, а подвига последних под выполнение геосинклинали под действием нисходящих подкорковых течений. Идеи Амферера о роли подкорковых течений в тектогенезе нашли довольно много продолжателей, среди которых австрийский геофизик Р. Швиннер, немецкие геологи Ф. Коссман и Э. Краус, на их основе предпринявший глобальный тектонический синтез; американский геофизик Д. Григгс, поставивший эксперимент в подтверждение этих идей; ирландский геолог Дж. Джели и шотландский — А. Холмс, использовавшие их в своих тектонических гипотезах. Особо следует отметить работы голландского геофизика Ф. Веннинг-Мейнеса по обоснованию мантийной конвекции. Вместе с тем некоторые крупные геофизики отнеслись к этим представлениям весьма скептически, считая, что твердое состояние недр Земли не позволяет предполагать проявления в них каких-либо течений.

Другая попытка найти замену контракционной гипотезе, несколько ее дополнив и подправив, была предпринята в начале века А. Ротплетцом, в 20-е годы поддержана Дж. Джели и вылилась в формулировку гипотезы, получившей название пульсацион-

ной. Ее автором был американский геолог У. Бухер (1933); аналогичные взгляды высказал его соотечественник А. Грэбо, долго работавший в Китае, и голландец Дж. Умбгрове. Суть гипотезы состояла в том, что в истории Земли чередуются эпохи ее расширения и сжатия; в первые происходит заложение геосинклиналей и массовые базальтовые излияния, а во вторые — складко- и горообразование и внедрение гранитов. В 30—40-е годы оригинальные варианты этой гипотезы разрабатывались в России М. М. Тетяевым и особенно известными исследователями Сибири М. А. Усовым (1883—1939) и В. А. Обручевым. Причины пульсаций объема Земли при этом не рассматривались.

В то время как в гипотезах подкорковых течений и пульсационной сохранялось общее с контракционной гипотезой положение об образовании складчатых горных систем в условиях сжатия, другие появившиеся в этот период гипотезы стали выдвигать на первое место вертикальные движения и прежде всего поднятия, возвращаясь тем самым к гипотезе поднятия первой половины XIX в. Первой попыткой в этом направлении явилась осцилляционная гипотеза немецкого геофизика Э. Хаармана, согласно которой земная кора под действием внешних приливных сил образует поднятия — геотуморы, с которых затем соскальзывают слои осадочных толщ, сминаясь в складки и создавая складчатые системы. Подобные представления о гравитационном происхождении складок и тектонических покровов стали высказываться швейцарскими исследователями Альп уже в самом конце XIX — начале XX в. (Д. Шардт, М. Лужон и др.), а затем были «взяты на вооружение» и другими авторами гипотез, отводивших главную роль в тектогенезе вертикальным движениям при ведущем значении поднятий.

Одной из наиболее распространенных гипотез такого рода стала ундационная гипотеза голландского геолога Р. В. ван Беммелена (1933), исследователя Индонезии, продолжавшего работать над совершенствованием своей гипотезы еще более 30 лет. В отличие от Хаармана, он полагал, что образование поднятий — положительных ундаций земной коры — является следствием воздействия не внешних сил, а глубинных процессов дифференциации вещества подкорковых недр, подъема кислых расплавов — астенолитов. В последних вариантах гипотезы он допускал, что базальным уровнем такой дифференциации может являться граница мантии и ядра, в связи с чем его гипотеза стала именоваться гипотезой гиподифференциации. На примере Индонезии Беммелен обосновал картину центробежного разрастания и миграции поднятий, выделив ундации разного масштаба. Как и Хаарман, он объяснял образование складок и шарьяжей гравитационным сползанием слоев с поднятий, но выделял несколько уровней такого скольжения. Когда к середине 60-х годов стало очевидным раздвиговое происхождение океанов, в частности Атлантического, Беммелен ввел понятие о геоундациях, с которых происходит соскальзывание уже целых материков с обнажением в промежутке ложа океанов.

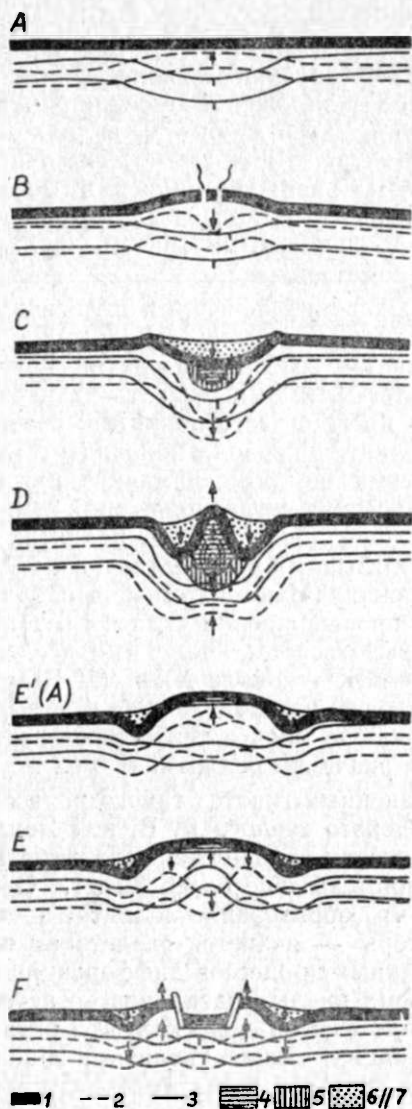


Рис. 22. Схема развития геосинклиналей. Радиомиграционная гипотеза В. В. Белоусова (1946):

1 — земная кора; 2 — изотермы; 3 — изорады; 4 — места скопления кислой магмы; 5 — области пониженного содержания радиоэлементов; 6 — осадки; 7 — сбросы

В 40-е годы сходные гипотезы были предложены американскими геологами Б. и Р. Виллисами (астенолитная гипотеза) и русским геологом В. В. Белоусовым (1907—1990). Выдвинув свою гипотезу в 1942—1943 гг., В. В. Белоусов продолжал разрабатывать ее до своей кончины, непрерывно учитывая новые данные. Гипотеза Белоусова, первоначально названная им радиомиграционной (рис. 22), в связи с тем, что он привлек радиогенное тепло в качестве основного возбудителя тектогенеза и магматизма, а затем скорее заслуживавшая, как и гипотеза Беммелена, название гипотезы глубинной дифференциации, являлась наиболее полно обоснованной и глубоко разработанной из всех тектонических гипотез данного и не только данного направления и поэтому оказала очень большое влияние на развитие теоретической геологии не только в России, но и за рубежом.

Центральное место в ранних вариантах концепции В. В. Белоусова занимало объяснение геосинклинального процесса и его орогенного завершения, включая происхождение складчатых деформаций. Впоследствии, с началом интенсивного изучения океанов и прогрессом в изучении докембрия, важное, если не главное место стало отдаваться механизму океанообразования и, наконец, общей эволюции земной коры и всей тектоносферы. Сводя развитие геосинклиналей к смене общего погружения ростом частных поднятий и к их объеди-

нению в общее поднятие, т. е. к инверсии тектонического режима, Белоусов объясняет первую из этих стадий нагружением коры большими массами основных магматитов, внедрявшихся и изливавшихся вдоль густой сети глубинных разломов. Переход ко второй стадии вызывается связанным с этим магматизмом разогревом коры; дальнейшее нарастание этого процесса, дополненного воздействием глубинных флюидов, приводит к наступлению третьей, инверсионной стадии, к росту центрального поднятия, сопровождаемому региональным метаморфизмом, гранитизацией, складчатостью, образованием надвигов и шарьяжей. Складчато-надвиговые деформации вызываются, по Белоусову, частично гравитацией, частично распирающим действием «глубинного диапира», возникающего в ядре центрального поднятия в процессе метаморфизма глинистых толщ, сопровождаемого увеличением их объема. Остывание тектоносферы, наступающее после заключительного горообразования, ведет к установлению платформенного режима. Архей, по Белоусову, был эрой повсеместного господства подвижности, близкой к геосинклинальной (пермобильный режим Л. И. Салопы — Ю. М. Шейнманна), а в течение протерозоя и фанерозоя, по мезозой включительно, шло развитие геосинклиналей и платформ с постепенным разрастанием вторых за счет первых. Но в мезозое наступил новый этап развития земной коры — этап разрушения континентов и новообразования океанов (существование более древних океанов отрицается). Океаны возникли за счет раздробления континентальной коры и погружения ее обломков в мантию при массовом излиянии базальтов.

Такова в основных чертах геотектоническая концепция В. В. Белоусова в том виде, в котором он ее сформулировал в последние 20 лет своей деятельности. Но в своих самых последних, посмертно опубликованных работах он делает шаг, скорее полшага, навстречу мобилизму (об этом понятии см. ниже) — допускает проявление раздвига в осевых зонах срединно-океанских хребтов и соглашается, что с этим может быть связано образование характерных полосовых магнитных аномалий. Однако за пределами этих зон всякое растяжение им отрицается и ведущая роль отводится статическому процессу океанизации. Аналогичных взглядов придерживается и ряд других русских ученых — А. Л. Яншин, Е. В. Артюшков, Е. Е. Милановский, Г. Б. Удинцев. В целом концепция Белоусова является типично фиксистой, по определению швейцарского геолога Э. Аргана, который противопоставил фиксизму, т. е. учению о неизменном положении континентов по отношению к глубоким недрам Земли, мобилизм, допускающий перемещение материков и берущий начало в работах американского геолога Ф. Тейлора (1910) и немецкого геофизика А. Вегенера (1912). Поскольку наиболее полное обоснование этой совершенно новой и весьма смелой для своего времени гипотезы было дано именно Вегенером, гипотеза перемещения, или дрейфа материков, стала широко известна как гипотеза Вегенера (рис. 23).



Альфред Вегенер (1880—1930)

Исходным моментом для построений Вегенера, и Тейлора было удивительное сходство очертаний материков, особенно Южной Америки и Африки, ныне разделенных Атлантическим океаном. Это сходство давно обращало на себя внимание, о нем писали в XVII в. француз Ф. Пласе, англичанин Ф. Бэкон и в XVIII в. американец Б. Франклин и даже в трудах среднеазиатского ученого А. Р. Бируни, созданных много раньше, можно найти строки, говорящие о возможности перемещения материков. Но Вегенер, будучи прежде всего геофизиком, исходил не только из этого факта; опираясь на принцип изостазии и гипсографическую кривую, он пришел к выводу о коренном отличии коры континентов от океанской коры: первая сложена в основном из гранитов, вторая — из базальтов<sup>1</sup>. Далее Вегенер об-

ратил внимание на поразительное сходство ископаемых позднепалеозойских и раннемезозойских фаун и флор материков, ныне разделенных океанами, — Южной Америки, Африки, Австралии, а также Индостана. Об этом сходстве писал уже Э. Зюсс, установивший былое существование суперконтинента Гондваны (см. гл. 5), но он считал, что разрушение Гондваны и образование океанов между ее сохранившимися фрагментами было следствием опускания промежуточных участков. Вывод Вегенера о принципиальном отличии океанской коры от континентальной опровергал это представление. Более того, он обратил внимание еще на одно важное обстоятельство: в позднем палеозое все гондванские материки были охвачены покровным оледенением; если бы они занимали те же места, что и сегодня, это оледенение должно было достигать тропических широт, что вряд ли возможно. Используя всю эту аргументацию, Вегенер пришел к выводу, что в позднем палеозое и раннем мезозое все материки были объединены в один суперконтинент, который он назвал Пангеей, а распад этой Пангеи начался в юре. Забегая вперед, отметим, что все эти выводы Вегенера нашли в дальнейшем полное подтверждение.

Пытаясь объяснить причину смещения материков по их базальтовой постели, Вегенер и Тейлор обратились к силам, связанным с осевым вращением Земли, вызывающим смещение материков

<sup>1</sup> К такому же заключению независимо пришел в те годы русский ученый И. Д. Лукашевич (см. ниже).

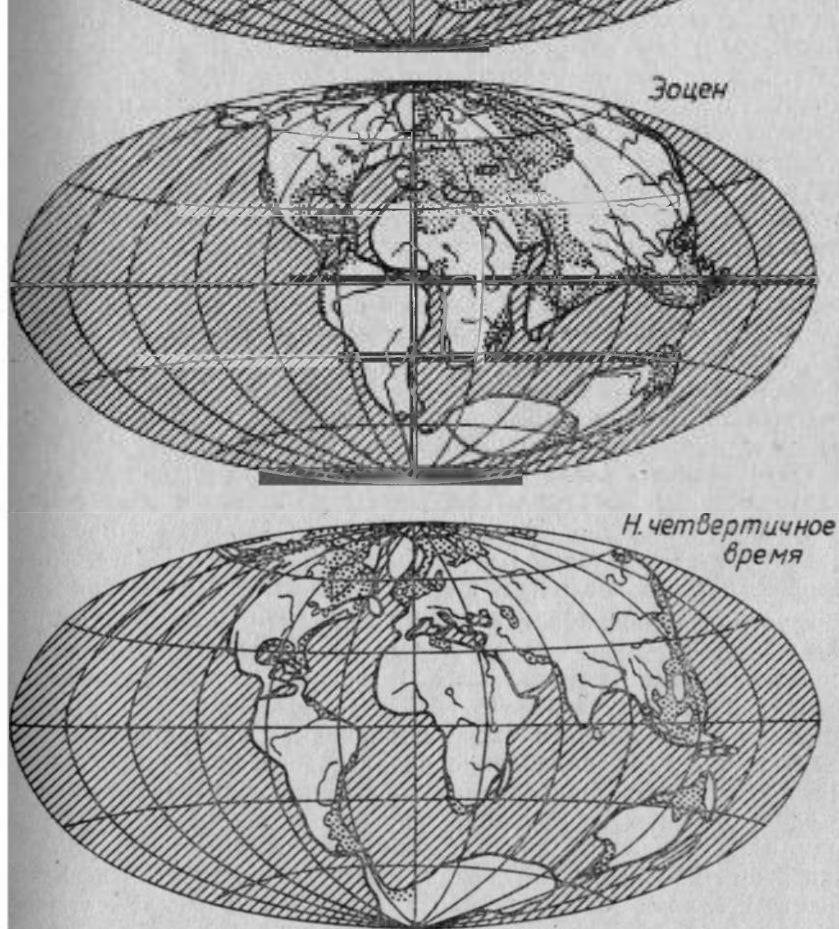


Рис. 23. Палеотектонические реконструкции Панген, по А. Вегенеру, 1912  
(гипотеза дрейфа континентов)

от полюсов к экватору (Тейлор), и приливным силам, смещающих их к западу (Вегенер). Сопротивление ложа Тихого океана такому смещению послужило причиной образования Кордильер, а островные дуги Восточной Азии и Меланезии являются, по мнению Вегенера, оставшими при этом западном дрейфе обломками Пангеи. Бегство материков от полюсов к экватору привело, по Тейлору, к образованию не только Альпийско-Гималайского горного пояса, но и Тихоокеанского кольца.

Идея Вегенера вначале вызвали большой интерес, причем не только у геологов, но и у палеонтологов и биогеографов. Его книга «Происхождение материков и океанов» выдержала на родине четыре издания и в 1922 г. была переведена на русский язык, но издана в Берлине, а в 1925 г. — в Москве. Среди заинтересованных ею русских ученых были такие крупные, как Г. Ф. Мирчинк (1889—1942), А. А. Борисяк (1872—1944), Б. Л. Личков (1888—1966). Этими идеями увлеклись и столь известные исследователи Альп, как швейцарцы Э. Арган и Р. Штауб. Первый из них в своем труде «Тектоника Азии», доложенном на Брюссельской сессии Международного геологического конгресса в 1922 г., изданном в 1924 г. и переведенном на русский язык в 1935 г., объяснил образование молодых горных сооружений Европы продвижением Африки на Европу (также полностью подтвердившимся сейсмическими исследованиями), а Азии — Ангаридами, т. е. Сибири, на Индостан (по современным данным картина была обратной). Штауб высказал мысль о попеременном сближении и столкновении Гондваны и Лавразии и их удалении друг от друга; и эта мысль в общей форме созвучна современным представлениям. Особенно много сторонников Вегенера нашел в странах Южного полушария; среди них выделяется фигура южноафриканского геолога А. Л. Дю Тойта, выпустившего книгу «Наши странствующие материки» (1937), в которой привел большой фактический материал, подтверждающий былое единство Африки и Южной Америки и предложил оригинальную трактовку конфигурации и распада Пангеи, отведя ведущее место в последнем процессе конвективным течениям.

Еще более своеобразная версия мобилизма была выдвинута в 1924 г. ирландским исследователем Дж. Джоли. Он был первым, использовавшим открытие радиоактивности непосредственно для объяснения тектогенеза. По гипотезе Джоли, под влиянием накопления радиогенного тепла происходит периодическое, через 25—35 млн лет, расплавление базальтового слоя коры. Оно создает возможность горизонтального перемещения гранитоиднейсового слоя, слагающего материки, по базальтовому субстрату в западном направлении под влиянием солнечно-лунных приливов. При этом континенты и океаны меняются местами, а возникшие вдоль их границ геосинклинали древращаются в складчатые горные системы.

Гипотеза Джоли встретила серьезные возражения, поскольку, в частности, при повышении температуры гранит плавится раньше базальта, а не наоборот. Но за Джоли остается историческая

служба первого привлечения радиоактивности к объяснению геотектонических процессов и обоснованию цикличности в их проявлении.

Несколько позже, в 1929—1931 гг., известный британский геолог А. Холмс, являвшийся пионером в применении радиометрических методов определения возраста докембрийских горных пород, также привлек радиогенное тепло к объяснению тектогенеза, полагая, что накопление этого тепла стимулирует конвективные течения и прежде всего под континентами, поскольку континентальная кора характеризуется повышенным содержанием естественно-радиоактивных элементов. Под континентами возникают вследствие этого восходящие течения, а на их границе с океанами, где образуются геосинклинали, — нисходящие. Восходящие течения ведут к распаду континентов, а нисходящие — к образованию складчатых зон. Схема проявления этих процессов (рис. 24), изображенная Холмсом, во многом предвосхитила построения будущей тектоники плит (см. следующую главу).

Несмотря на развитие мобилистских идей, мобилизм в целом в 30—50-е годы потерпел поражение. Разгром его начался уже в 1926 г., когда весьма авторитетная Американская ассоциация нефтяных геологов провела большую конференцию по обсуждению гипотезы дрейфа материков, на которой присутствовал и ее автор. Большинство участников, в том числе крупнейшие американские геологи, решительно выступили против дрейфа. Большое значение имела и критика со стороны крупнейшего британского геофизика Дж. Джеффриса, который указал, что силы, привлеченные Вегенером для объяснения дрейфа, совершенно не способны вследствие своей незначительности сдвинуть материки, правда Вегенер в последнем издании своей книги уже допускал, что эту роль могут выполнять подкоровые течения.

Серьезные возражения были выдвинуты в 40-е годы русскими учеными — Н. С. Шатским и В. В. Белоусовым; они были основаны прежде всего на существовании глубинных разломов, проникающих из коры в мантию и длительное время сохраняющих фиксированное положение, что делает невозможным их относительные горизонтальные смещения. Этот аргумент оказал решающее влияние на умонастроения советских геологов, и в 40—50-е годы идеи мобилизма у нас практически единодушно отвергались. К концу рассматриваемого периода гипотеза дрейфа почти полностью утратила свою первоначальную популярность, а ее автор погиб в 1930 г. во льдах Гренландии, куда отправился с экспедицией, чтобы доказать, что Гренландия отодвигается от Европы.

Наряду с отходом от мобилизма происходил и пересмотр представления о большой роли шарьяжей в строении горных стран. Первоначально, в 10—30-е годы, преобладало противоположное течение — после обобщающих работ М. Люжона, Э. Ога и особенно П. Термье (1907) шарьяжные построения по Альпам были быстро распространены на Карпаты и другие складчатые сооружения, в том числе русскими геологами на Кавказ и Урал.

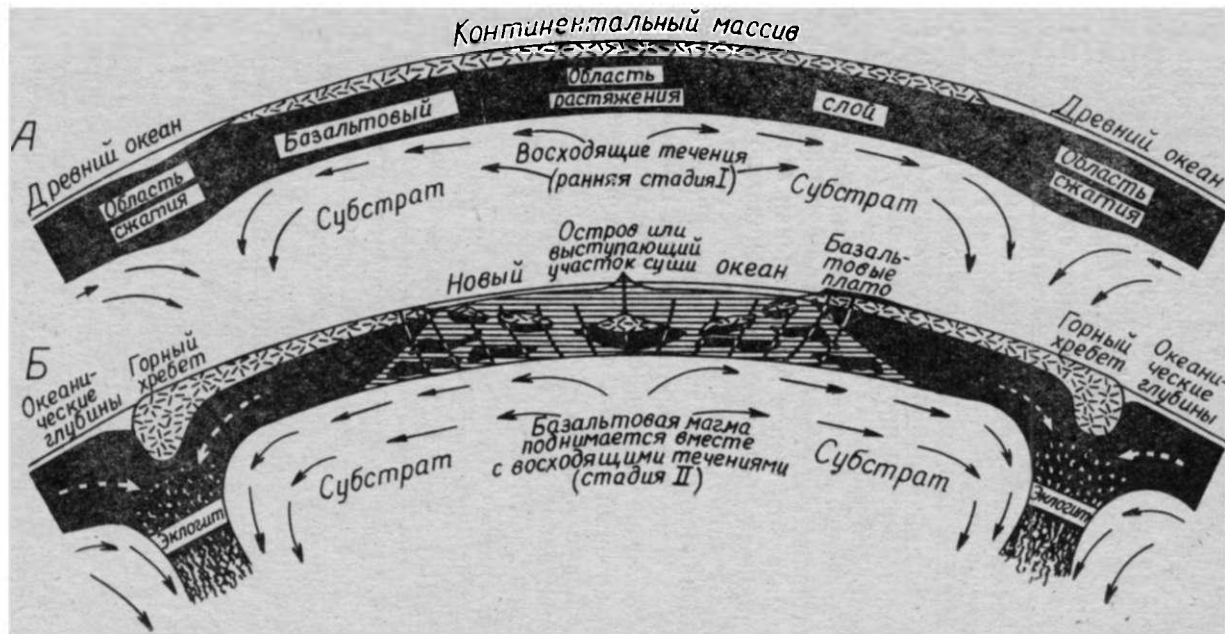


Рис. 24. Схема гипотетического механизма дрейфа континентов (по А. Холмсу):  
 А. Подкорковые течения находятся на ранней стадии конвективного цикла. Б. Течение становится достаточно мощным для того, чтобы оттянуть в разные стороны две части первоначально единого континента. Горы возникают в зоне нисходящих течений, новый океан — в месте разрыва, в зоне восходящих течений

Однако уже в 30-е и особенно в 40—50-е годы они стали подвергаться все более резкой критике, в первую очередь именно в нашей стране. И только в конце этого периода бурение начало приносить фактическое подтверждение существования тектонических покровов в ряде горных систем — в Карпатах, Восточных Альпах, Динаридах, на Кавказе, в Аппалачах, Скалистых горах Канады. Но окончательно этот вопрос был решен положительно много позже, после проведения многоканальных сейсмических профилей методом отраженных волн (см. гл. 7.1).

Возвращаясь к геотектоническим гипотезам, следует упомянуть появление в 30-е годы еще одной гипотезы, также представляющей радикальный отход от контракционизма и вместе с тем как бы промежуточной между фиксизмом и мобилизмом. Гипотеза расширяющейся Земли была выдвинута в 1933 г. немецким исследователем О. Хильгенбергом и позднее поддержана венгерским геофизиком Л. Эдьедом и австралийским геологом У. Кэри, который ее пропагандирует до наших дней (книга Кэри недавно вышла в русском переводе). Суть гипотезы очень проста: Земля испытывает вековое расширение, масштаб которого и время проявления оцениваются по-разному. В качестве довода в пользу гипотезы Эдьед приводил постепенное сокращение развития морских осадков в пределах современных континентов, что должно свидетельствовать о стягивании морских вод в расширяющиеся океаны. Хотя эти данные и оказались неточными, попытка объяснить новообразование океанов расширением Земли оказалась самой сильной стороной этой гипотезы и объясняет ее поддержку со стороны некоторых геологов-океанологов, в частности одного из пионеров этого направления — Б. Хейзена, в 50-е — начале 60-х годов. Но причины расширения Земли при этом указывались весьма различные и очень спорные: например, уменьшение гравитационной постоянной, отрицаемое подавляющим большинством физиков. Большие трудности возникают перед этой гипотезой и при объяснении формирования покровно-складчатых сооружений. Тем не менее гипотеза расширяющейся Земли продолжает пользоваться некоторой популярностью и в наши дни.

При всем разнообразии мнений, высказанных в первой половине XX в. по проблеме глобального тектогенеза, и их переплетении во времени можно выделить в их развитии два периода, характеризующихся первый — большой популярностью идей мобилизма (1910—1935) и второй — отливом первой волны мобилизма и наступлением почти полного господства фиксистских представлений, т. е. реставрацией фиксизма (1935—1960 гг.).

Пока в теоретической глобальной тектонике сохранялась эта разногласия, в ее более конкретных областях наблюдался определенный прогресс. Это касается, в частности, учения о геосинклиналях и платформах, основы которого были заложены в конце XIX в. В учении о геосинклиналях это выразилось в разделении их на внешние и внутренние зоны — мио- и эвгеосинклинали, из которых первые характеризуются практическим отсутствием проявлений магма-

тизма, а вторые — его обильным и разнообразным проявлением, причем особенно показателен так называемый начальный, преимущественно основной магматизм, включающий офиолиты, диабазы, спилиты, кератофиры. Это разделение было предложено немецким тектонистом Г. Штилле и американским — Дж. М. Кэем.

В работах швейцарских (Э. Арган и др.), французских (Ж. Обуэн), а затем и русских (Н. С. Шатский, В. В. Белоусов и др.) исследователей было показано сложное внутреннее строение подвижных зон, обычно именуемых геосинклиналями, с их внутренними поднятиями и частными впадинами — прогибами, и разработана сложная и неоднозначная классификация этих структурных элементов. Особое место в них стало отводиться срединным массивам — менее подвижным участкам с выступами более древних образований, впервые выделенными Л. Кобером в качестве междугорий на примере Паннонской впадины между Карпатами и Динаридами — примере, оказавшемся не слишком удачным. Кобером же была предложена, на примере Альп, схема типового строения орогенов, в которых он выделил ряд зон — экстерниды, интерниды, метаморфиды, централиды. Несмотря на то что это было сделано на достаточно ограниченной основе, попытка Кобера была несомненно прогрессивной. В этот же период сначала западноевропейскими, а затем русскими геологами разрабатывалась проблема стадийности, направленности и цикличности развития геосинклиналей.

В области учения о платформах ведущее значение оставалось за работами русских исследователей, которыми были введены понятия об их основных структурных элементах — плитах, синеклизах, антеклизах, валах (А. П. Павлов, А. Д. Архангельский, А. Н. Мазарович). Н. С. Шатским были впервые выделены наиболее своеобразные платформенные структуры — авлакогены; этот термин впоследствии нашел широкое распространение за рубежом. Н. С. Шатским (1895—1960) был внесен наиболее существенный вклад в представления о развитии платформ, их соотношениях со смежными складчатыми областями.

Совершенствование понятий о геосинклиналях и платформах в сочетании с учением о главных эпохах орогенеза, выделенных еще М. Бертраном в конце XIX в. и дополненных байкальской эпохой самого конца докембрия, установленной Н. С. Шатским, создало основу для составления тектонических карт крупных территорий. Первыми подобными картами, еще очень мелкомасштабными с районированием по основным эпохам складчатости, были карты, вернее схемы, Европы Э. Ога (1909), Г. Штилле (1924) и Ф. Космата (1936), а затем территории СССР, опубликованные в 1933—1935 гг.; наиболее удачной из них была схема А. Д. Архангельского и Н. С. Шатского. Следующим шагом стало уже коллективное составление под руководством Н. С. Шатского, карт СССР в масштабе 1:4 000 000 и 1:5 000 000, изданных в 1953—1956 гг. Последняя из них послужила образцом для составления первой Международной тектонической карты Европы (1962, под редакци-



Андрей Дмитриевич Архангельский  
(1879—1940)



Николай Сергеевич Шатский  
(1895—1960)

ей Н. С. Шатского и А. А. Богданова) и карты Евразии (1966, под редакцией А. Л. Яншина). Публикация карты Европы явилась в свою очередь стимулом для дальнейшей активной работы над международными тектоническими картами других континентов (Африка, Северная и Южная Америка) и Мира в целом.

Если концепция основных тектонических (орогенических) эпох начала разрабатываться еще в XIX в., то в рассматриваемый период она была дополнена представлением об орогенических фазах. Это связано с именем выдающегося немецкого тектониста Г. Штилле и получило свою наиболее законченную форму в его труде «Основы сравнительной



Ганс Штилле (1876—1966)

тектоники» (1924), где был помещен список таких фаз, выделенных по распространению угловых несогласий в фанерозойских разрезах континентов. Однако воззрения Штилле довольно скоро стали подвергаться критике, прежде всего со стороны русских геологов (Д. В. Наливкин, Н. С. Шатский и др.), указывавших, в частности, что складчатость может проявляться и одновременно с осадконакоплением (конседиментационная складчатость, как ее назвал С. С. Шульц) и в этом случае не сопровождается образованием угловых несогласий. Н. С. Шатский обвинил Штилле в «неокатастрофизме», имея в виду воззрения Кювье и его последователей в первой половине XIX в. (см. гл. 6). Американский геолог Дж. Гиллули и другие обратили внимание на то, что в действительности число орогенических фаз значительно больше, чем предусматривалось в списке («каноне») Штилле; некоторые новые фазы были установлены в России. Poleмика, завязавшаяся в связи с обсуждением данного вопроса, показала, что обе его противоположные трактовки односторонни, что процесс тектонических деформаций протекает непрерывно, но неравномерно и в нем можно различить определенные кульминации, качественные скачки, которые и отвечают тектоническим фазам. Проведенная русским геологом А. А. Прониным в глобальном масштабе статистика несогласий в общем подтвердила обоснованность выделения таких фаз в фанерозое, а аналогичная статистика радиометрических датировок магматических и метаморфических пород показала, что и



Владимир Афанасьевич Обручев  
(1863—1956)

эти эндогенные процессы протекают непрерывно-прерывисто. Однако дискуссия по этой проблеме не может считаться законченной и в наши дни.

Одна из ошибок, первоначально допущенных Штилле при составлении своего «канона» орогенических фаз (позднее он ее исправил), заключалась в отрицании проявления орогенеза в четвертичном периоде. На эту ошибку впервые указали русские геологи, в частности Г. Ф. Мирчинк. В работах В. А. Обручева, а также С. С. Шульца по Тянь-Шаню и Н. И. Николаева по европейской части СССР убедительно показано, что неоген-четвертичное время было временем интенсивного горо- и складкообразования, особенно ярко проявившегося в Центральной Азии. В 1948 г. В. А. Обручев ввел термин «неотектоника» для обозна-

чения новейших движений и деформаций; термин быстро получил широкое признание, а соответствующие исследования активно развернулись в СССР, а затем и за рубежом. В 1960 г. под редакцией Н. И. Николаева и С. С. Шульца была издана первая карта новейшей тектоники СССР.

Изучению новейших движений способствовали также структурно-геоморфологические исследования, развернувшиеся на равнинных территориях СССР с практической целью выявления перспективных для поисков нефти и газа структур по пнищативе известного геолога-нефтяника И. О. Брода (1902—1962).

Особую задачу представляло изучение современных движений земной коры, проводимое инструментальными методами, наиболее активно в нашей стране и Японии. У нас были организованы специальные полигоны для фиксации современных движений — в Крыму, Прикаспии, Центральной Азии и других регионах — и была издана, под редакцией Ю. А. Мещерякова, первая карта современных движений европейской территории СССР, основанная на использовании данных высокоточного нивелирования вдоль линий железных дорог и водомерных наблюдений в морских портах.

В 40-е годы в особое направление в тектонике оформилось учение о глубинных разломах как важнейшем типе разрывных нарушений литосферы. Значение отдельных разломов этого типа отмечалось уже в конце XIX — начале XX в., а в 10-е годы XX в. американский геолог У. Хоббс ввел в литературу понятие о линейментах. В 30—40-е годы к этой проблеме обратились немецкие ученые Г. Клоос и Г. Штилле, швейцарский геолог Р. Зондлер, но наибольшее значение она приобрела после работы А. В. Пейве (1909—1985), опубликованной в 1946 г., где было дано четкое определение самого понятия глубинного разлома и обосновано значение таких разломов в развитии земной коры. Выше уже говорилось, что существование глубинных разломов явилось одним из поводов для критики мобилизма, но сам Пейве в своих последующих работах указывал, что по глубинным разломам происходят не только вертикальные, но и крупные горизонтальные смещения, отмечая, в частности, роль сдвигов. Особое внимание исследователей привлекли такие сдвиги, как высокосейсмичный сдвиг Сан-Андреас в Калифорнии, Таласо-Ферганский в Центральной Азии и некоторые другие.

Еще одно направление тектоники получило развитие в рассматриваемый период — экспериментальная тектоника и тектонофизика. Работы по воспроизведению тектонических деформаций в эксперименте приобрели надежную основу лишь после применения к их постановке принципа подобия, сформулированного американскими учеными М. Хаббартом и В. Раби. Наиболее успешно работы в этом направлении стали проводиться в Швеции, в лаборатории Г. Рамберга в Упсале, а также в России, в Москве (В. В. Белоусов, М. В. Гзовский и др.) и Новосибирске.

Таким образом, несмотря на отсутствие единой идеологической базы, тектонические исследования в первой половине XX в. велись

на весьма широком фронте и характеризовались крупными достижениями. Это привело к тому, что уже в 30-е годы тектонический раздел динамической геологии перерос в самостоятельную науку — геотектонику, которая с того времени начала преподаваться в Советском Союзе — М. М. Тетяевым в Ленинграде, Е. В. Милановским (1892—1940) в Москве — в качестве самостоятельной дисциплины. Ее задачи и содержание были впервые достаточно полно рассмотрены в книге В. В. Белоусова «Общая геотектоника» (1948), впоследствии неоднократно переиздававшейся под другими названиями.

## 6.2. РАЗВИТИЕ ДРУГИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Рассматриваемый период был достаточно богат достижениями и в других областях наук геологического цикла. В *геофизике* это выразилось прежде всего в завершении создания общей модели оболочечного строения Земли по сейсмическим данным, основы которой (кора—мантия—ядро) были намечены Э. Вихертом еще в 1897 г. Этому способствовало установление хорватским геофизиком А. Мохоровичичем (1857—1936) в 1909 г. границы между корой и мантией, которая затем получила его имя; границы мантии и ядра в 1914 г. немецким (впоследствии американским) геофизиком Б. Гутенбергом (1889—1960); границы внешнего и внутреннего ядра датским сейсмологом Инге Леманн в 1936 г. В итоге австралийским ученым К. Булленом в 1959 г. была предложена общая модель строения Земли с буквенными обозначениями отдельных оболочек, получившая известность как модель Булдена, или Джеффриса—Буллена. Химический состав этих оболочек был впервые правильно намечен Э. Зюссом в 1909 г.: он назвал ядро Nife — по преобладанию железа и никеля; промежуточный слой, т. е. мантию, Sima (Si, Mg), а земную кору Sal (Si, Al), в дальнейшем сial, применительно к континентальной коре. В последующем были предложены и другие модели химической зональности Земли — норвежского геохимика В. М. Гольдшмидта, американского петрографа Г. Вашингтона, использовавшего аналогию с метеоритами разного состава, А. Е. Ферсмана, В. И. Вернадского и др. В ряде таких моделей предположительно выделялась сульфидная или рудная зона (Гольдшмидт, Ферсман), очевидно, как вероятный источник рудных месторождений.

Крупнейшим русским сейсмологом Б. Б. Голицыным в 1912 г. было намечено существование в мантии на глубинах 106—232 км особого пластичного слоя — источника магмы, а в 1914 г. американский геолог Дж. Баррел предсказал наличие под корой (литосферой) слоя пониженной вязкости, который он назвал астеносферой. Баррел исходил при этом из принципа изостазии, справедливо считая, что изостатическое равновесие может осуществляться лишь при наличии на глубине такого слоя, в котором возможно перетекание вещества. Гипотеза Баррела получила сейсмологическое подтверждение лишь в 50-е годы (Б. Гутенберг), и с тех пор

...тия литосферы и астеносферы прочно укрепились в литературе и были использованы в построениях мобиллистов. Существование астеносферы стало необходимым и в качестве потенциального источника магмы, поскольку сейсмологи установили твердое состояние Земли вплоть до границы ядра. Поэтому уже Э. Вихерт допускал присутствие между корой и мантией тонкого пластичного слоя.

Для изучения мощности и в основных чертах внутреннего строения земной коры в послевоенное время в СССР, а затем в странах Восточной Европы стал успешно применяться разработанный Г. А. Гамбурцевым (1903—1955) на основе разведочного корреляционного метода преломленных волн метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Сама разведочная геофизика переживала период быстрого развития, особенно в области сейсмометрии и электрометрии, причем большое значение имело изобретение электрического каротажа скважин (французский геофизик К. Шлюмберже), по образцу которого затем появились и другие методы каротажа (гамма, нейтронный и др.).

Подлинная революция произошла в начале XX в. в минералогии в связи с открытием рентгеновских лучей (1895) и явления их дифракции в кристаллах (1912, предсказанного ранее М. Лауэ). Последнее открытие явилось основой для разработки У. Г. и У. Л. Брэггами метода рентгеноструктурного анализа, впервые позволившего непосредственно «увидеть» внутреннюю структуру кристаллов, расположение атомов в кристаллической решетке и измерять расстояния между ними. Это было огромным достижением, ибо ранее, хотя и высказывались соображения о связи внешней формы минералов с их внутренним строением и о группировке в них атомов различных элементов в зависимости от их валентности, предлагаемые «структурные формулы» были неоднозначны и гипотетичны. Теперь структура минералов перестала быть предметом догадок и в минералогии начался поистине героический период раскрытия этой структуры, период кристаллохимии минералов или «структурной минералогии», как ее определил русский лидер нового направления Н. В. Белов (1891—1982). Особое внимание было обращено на структуру таких сложных минералов, как силикаты; строение важнейших из них удалось расшифровать всего за пять лет (1925—1930). В. И. Вернадский уже в 1928 г. оценил первые результаты применения рентгеноструктурного анализа в минералогии: «Это одно из величайших открытий точных наук быстро сдвигает минералогию на новый путь и открывает перед ней негаданные огромные перспективы...».

Применение рентгеноструктурного анализа подтвердило реальность теоретически выведенных ранее Е. С. Федоровым и А. М. Шёнфлисом 230 пространственных групп симметрии. Оно позволило В. М. Гольдшмидту (1937) сформулировать основной закон кристаллохимии: «Кристаллическая структура какого-либо вещества обуславливается числом, величиной и поляризационными свойствами его структурных единиц, каковыми являются атомы,



Владимир Иванович Вернадский (1863—1945)

ноны или группы атомов». Впоследствии эта формулировка была уточнена украинским минералогом А. С. Поваренных (1962).

Данные рентгеноструктурного анализа привели к коренному пересмотру принятых ранее на смешанной химико-кристаллографической основе классификаций минералов; теперь во главу угла были поставлены общие особенности их внутренней структуры, среди которой стали различать несколько типов.

Благодаря рентгеноструктурному и термическому анализам, а затем применению электронного микроскопа, к 50-м годам удалось расшифровать строение наиболее

трудно поддававшихся изучению и вместе с тем чрезвычайно широко распространенных в природе глинистых минералов. Была предложена их рациональная классификация (американский ученый Р. Гримм, 1953).

К первой половине XX в. относится и зарождение новой науки — геохимии, которой наряду с геофизикой и собственно геологией было суждено занять одно из основных мест среди наук о твердой Земле. Предпосылками возникновения геохимии были, конечно, открытие Д. И. Менделеевым периодического закона распределения химических элементов (1869), появление модели строения атома Бора—Резерфорда (1908), введение в практику геологов спектрального анализа, предложенного еще в 1859 г. Г. Кирхгофом и Р. Бунзенем.

Данные о химическом составе горных пород и минералов начали накапливаться уже со второй четверти XIX в., а термин «геохимия» был предложен еще в 1838 г. швейцарским химиком Шёнбейном. Это третий случай в истории наших наук, когда предложение нового термина намного опередило создание самой научной дисциплины. Два других случая касаются гидрогеологии

...рмии предложен Ж. Б. Ламарком в 1802 г.) и геотектоники (К. Науман, 1860).

Первый камень в фундамент будущей геохимии был заложен американским химиком и минералогом Ф. Кларком, опубликовавшим в 1908 г. сводку по химическому составу земной коры «Data of geochemistry», в которой он вычислил среднее содержание в коре различных элементов, получив цифры, в дальнейшем названные в его честь кларками элементов. Однако, как писал Вернадский в 1927 г., «...Кларк не ставил резко и определенно задачу геохимии как задачу изучения истории атомов планеты; это течение геохимии возникло позже и вне его мысли». И именно В. И. Вернадский широко сформулировал предмет геохимии и положил начало его разработке; поэтому он по справедливости и считается подлинным основоположником геохимии. Первые геохимические работы В. И. Вернадского были опубликованы в 1908—1910 гг., а его основной труд «Очерки геохимии» издан на русском языке в 1934 г. на базе лекций, прочитанных в Сорбонне. Но первые лекции по геохимии были прочитаны в Москве еще в 1912 г. учеником и сподвижником Вернадского А. Е. Ферсманом, которого также справедливо считают одним из основоположников этой науки; ему принадлежит капитальный четырехтомный труд «Геохимия» (1932—1939).

К именам Кларка, Вернадского, Ферсмана как основателей геохимии следует добавить еще имя норвежско-германского ученого В. М. Гольдшмидта, также известного минералога. Гольдшмидт и Ферсман развивали в геохимии в 20—30-е годы кристаллохимическое направление. Гольдшмидт, как уже отмечалось выше, придавал определяющее значение при вхождении химических элементов в кристаллическую решетку размеру их ионов и атомов. Ферсман, со своей стороны, выдвинул идею о том, что последовательность кристаллизации минералов в природе определяется энергией их кристаллической решетки, которая зависит от радиусов ионов, валентности, поляризационных и некоторых других свойств атомов. Впоследствии, правда, выяснилось, что эти зависимости были им заметно преувеличены. Ферсман положил начало и важному практическому направлению — региональной геохимии; предметом его особого интереса и внимания был уникальный Хибинский рудный узел на Кольском полуострове, значение которого он впервые доказал.

В особое направление выделилась в 20—30-е годы, но получила широкое развитие позднее геохимия процессов гипергенеза в связи с образованием кор выветривания и литогенеза — в связи с образованием осадочных полезных ископаемых. Важные успехи на этом практически весьма значимом направлении были достигнуты в России (Б. Б. Полынов, И. И. Гинзбург — коры выветривания, А. В. Казаков — фосфориты, Г. И. Бушинский — бокситы, Н. М. Страхов — железные руды и др.), а также в США (В. Крунбейн, Р. Гаррелс).

Развивалась также гидрогеохимия — геохимия природных, в особенности подземных, вод. Начало ее положил В. И. Вернадский в своем капитальном трехтомном труде «История природных вод» (1933—1936). Позднее это направление разделилось на несколько самостоятельных — геохимия пластовых вод нефтяных месторождений, геохимия минеральных вод и др.

Среди геохимических проблем, особо привлекавших внимание Вернадского, была проблема геохимической и вообще геологической роли живого вещества, т. е. биогеохимия. Ей он посвятил труд «Биосфера» (1926), а его ближайшим последователем в этом направлении был А. П. Виноградов (1895—1975), собравший и обобщивший огромный материал по химическому составу морских организмов. В дальнейшем круг интересов А. П. Виноградова сильно расширился, включив геохимию океана, космохимию, дифференциацию глубинного вещества Земли, но это уже относится скорее к следующему этапу развития геологических наук. В 1967 г. А. П. Виноградов стал первым вице-президентом Академии наук СССР по наукам о Земле; он же создал кафедру геохимии в Московском университете.

Потребности индустриализации страны стимулировали разработку в СССР геохимических методов поисков полезных ископаемых; заслуга в этом принадлежит прежде всего А. П. Соловову (1908—1993).

Итак, благодаря энергичной деятельности своих выдающихся основоположников и своему выгодному «пограничному» положению геохимия очень быстро вошла в пору расцвета и заняла важное место среди наук о Земле.

Другая, значительно более старая наука о веществе твердой Земли — *петрография* — развивалась в рассматриваемый период не столь быстрыми темпами, как минералогия и геохимия. Главным событием начала века в этой области можно считать обособление в отдельную ее ветвь учения о метаморфизме горных пород, у истоков которого стояли американский ученый Ч. Ван-Хайз и русско-литовский ученый и революционер — узник Шлиссельбургской крепости И. Д. Лукашевич, указавшие на место метаморфизма среди процессов эволюции земной коры. Далее последовало разграничение типов метаморфизма и разработка схем его глубинной зональности с выделением минеральных фаций (финский геолог П. Эскола, 1920), введением понятия об изоградах (французский геолог А. Мишель-Леви, 1906) и других основ этого учения. Новые идеи о большом значении процессов метасоматизма и роли в нем флюидов были высказаны в 1940—1960 гг. Д. С. Коржинским; они нашли широкий отклик и получили дальнейшее развитие в работах В. А. Жарикова и других его учеников уже в следующем периоде.

В петрографии магматических пород на рассматриваемом этапе оживленно обсуждались вопросы их классификации в тесном переплетении с проблемой происхождения — из одной базальтовой (канадский петрограф Н. Л. Боуэн, русский петрограф

Н. Заварицкий) или перидотитовой (британский ученый Холмс, американский — Г. Вашингтон), двух — основной и кислой (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг в России, Р. Дэли в США и др.), трех и даже более магм, а также сопряженной проблемой механизма их дифференциации. Наиболее актуален был вопрос о происхождении гранитов, поскольку ряд видных специалистов, начиная с финского геолога Я. Седерхольма (1931) и особенно после работ французов М. Рубо и Р. Перрена (1937), стали высказываться в пользу образования гранитов за счет осадочных пород без переплавления последних, а под воздействием диффузии ионов и флюидов. Эта концепция получила название «трансформизма» и нашла некоторую поддержку и в России (Н. Г. Судовиков и др.), но встретила решительные возражения со стороны ведущих петрографов страны (А. Н. Заварицкий, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, А. А. Полканов и др.).

В настоящее время все эти споры имеют лишь сугубо исторический интерес, ибо они были порождены недостатком знаний о составе земной коры и верхней мантии, особенно ложа океанов, о физикохимии процессов магмообразования и дифференциации магмы, о поведении пород в эксперименте при высоких температурах и давлениях и в присутствии флюидов. Все эти данные появились позднее, уже во второй половине века (см. гл. 9) и сняли многие противоречия во взглядах петрографов-магматистов.

Изучение осадочных пород в первой четверти XX в. еще не носило систематического характера. Положение начало меняться в 30-е годы, когда петрография осадочных пород стала оформляться в самостоятельную дисциплину, к концу периода окончательно отделившись от петрографии магматической и метаморфической и превратившись в особую науку — *литологию*, когда в США появился капитальный трактат У. Твенхофела «Учение об образовании осадков» (1925, 1932), изданный и в русском переводе (1936). Начавшееся с этого времени быстрое развитие литологии и седиментологии, несомненно, стимулировалось практическими запросами нефтегазовой и угольной геологии и геологии других осадочных полезных ископаемых. Литология быстро превращалась из чисто описательной науки в учение о происхождении осадочных пород. Важным шагом на этом пути было появление в 1940 г. «Петрографии осадочных пород» Л. В. Пустовалова (1902—1970). Стержневой идеей этого труда было представление о том, что разнообразие осадочных пород и особенности их пространственно-временного распределения обуславливаются двумя факторами: поверхностной механической и химической дифференциацией вещества и периодичностью тектонических процессов, вызывающих оживление или затухание сноса исходного материала осадков. Эта теоретическая концепция Л. В. Пустовалова подверглась критике со стороны Н. М. Страхова, расценившего ее как умозрительную и даже «натурфилософскую». Сам Страхов, вслед за своим учителем А. Д. Архангельским, развивал в своих работах сравнительно-литологический, т. е. актуалистический, подход (ис-

следование современных осадков Черного моря и др.) и в 1960—1962 гг. опубликовал капитальный труд по теории литогенеза, в котором, в отличие от Пустовалова, на первое место среди факторов, контролирующих осадкообразование, поставил климатическую обстановку, признавая одновременно некоторую роль тектонического режима. Соответственно им было выделено четыре главных типа литогенеза: ледовый, гумидный, аридный и вулканический, причем лишь последний считается тектонически обусловленным.

Кроме Л. В. Пустовалова и Н. М. Страхова с крупными обобщениями в области литологии выступили в эти годы в России Л. Б. Рухин и Г. И. Теодорович. Распределение химических элементов в осадочных породах разного возраста начало изучаться А. Б. Роновым. В США был издан труд У. Крумбейна и Ф. Петтиджона.

В 40-е годы в России на стыке литологии, тектоники и учения об осадочных полезных ископаемых зародилось и стало быстро развиваться новое направление — *учение о геологических формациях*, прежде всего осадочных. Обозначилось два подхода к выделению и классификации формаций — одно более палеогеографическое (Н. М. Страхов, Л. Б. Рухин), другое более тектоническое (Н. С. Шатский, Н. П. Херасков, Н. Б. Вассоевич, В. Е. Хаин). При первом подходе формации рассматривались как показатели палеогеографической, при втором — тектонической обстановки, причем в работах Шатского и Хераскова преобладал эмпирический принцип, а в работах Вассоевича, Хаина, а также В. В. Белоусова — дедуктивное начало.

*Палеогеография* также относится к числу наук геологического цикла, приобретших самостоятельность в первой половине XX в., хотя само ее название было предложено еще в 1868 г. русским геологом Н. А. Головкинским, а первые палеогеографические (и одновременно палеотектонические) карты появились уже в конце XIX в. и на рубеже XX в. — карты А. П. Карпинского европейской части России, Н. И. Андрусова (1861—1924) для неогена Понто-Каспийской области, А. П. Павлова для раннего мела Поволжья. Палеогеографические построения глобального масштаба были приняты впервые французским геологом Э. Огом в его учебнике «Геология» (1907—1911), а И. Д. Лукашевичем в «Неорганической жизни Земли» (1911). В 1910 г. американский геолог Ч. Шухерт начал трудиться над палеогеографическими картами Северной Америки, продолжая их непрерывно совершенствовать до своей кончины в 1948 г. В 1952—1953 гг. усилиями коллектива ученых был создан «Атлас литолого-палеогеографических карт Русской платформы», за которым последовало издание «Атласа литолого-палеогеографических карт Русской платформы и ее геосинклинального обрамления» в 1961—1962 гг. и, наконец, четырехтомного «Атласа литолого-палеогеографических карт СССР» в 1967—1968 гг. Основными руководителями этих работ были

В. Д. Наливкин, А. Б. Ронов и В. Е. Хаин, а главным редактором атласов — А. П. Виноградов.

Первый курс лекций по палеогеографии был прочитан Э. Дакэ в 1912 г. в Мюнхенском университете, а изданы они были в 1915 г. в книге «Основы и методы палеогеографии». Несколько позднее другой немецкий ученый Т. Арльдт выпустил двухтомное «Руководство по палеогеографии» (1919, 1922). В России подобное руководство было создано Л. Б. Рухиным — «Основы общей палеогеографии» (1959). В этой книге, а также в «Исторической геологии» Н. М. Страхова (1937) мы находим серии палеогеографических карт с отображением климатической зональности. Наглядно видно на них смещение климатических зон по сравнению с современными трактуется еще как результат смещения оси вращения Земли, а не изменения положения континентов по отношению к последней. В 20—30-е годы появились и специальные руководства по палеоклиматологии; первым из них была книга В. Кёппена и А. Вегенера 1924 г. (Кёппен был тестем Вегенера и находился в родстве с известными русскими геологами М. М. Москвиным, Б. М. Келлером и Р. Ф. Геккером).

*Стратиграфия* в первой половине XX в. оставалась еще почти исключительно биостратиграфией. Однако с открытием радиоактивности возникла, наконец, перспектива определения абсолютно-го возраста горных пород, причем не только осадочных. Это стало очевидным Э. Резерфорду в 1904 г., а уже в 1905—1907 гг. англичанин Б. Болтвуд предложил уран-свинцовый метод датирования пород. В 1908—1910 гг. другой британец Стратт обосновал и попытался практически применить другой метод — гелиевый. Но решающие шаги в развитии радиогеохронометрии были сделаны шотландцем А. Холмсом, начиная с 1911—1913 гг., и американцем Дж. Барделом в 1917 г. Опубликованная Холмсом в 1913 г. и уточненная в 1917 г. Барделом геохронологическая шкала фанерозоя в определении возраста границ геологических периодов фанерозоя и их длительности уже малосущественно отличается от современной. Достаточно отметить, что возраст начала кембрия был определен Барделом в 1917 г. в 550—700 млн лет, а Холмсом в 1933 г. в 510 млн лет. В конце 40-х годов появляются пионерские работы Холмса по определению возраста докембрийских пород Африки и Индии.

Но тем временем и возможности палеонтологического метода существенно расширяются за счет вовлечения в орбиту исследований мелких фораминифер, радиолярий, диатомей, спор и пыльцы высших растений (позже, в следующем периоде, — конодонтов и наннопланктона). Оформляются в качестве самостоятельных дисциплин микропалеонтология и палинология; их развитие стимулировалось практическими потребностями нефтегазовой и угольной геологии.

Быстрый рост промышленного производства, появление новых отраслей промышленности и в связи с этим нарастание добычи

минерального сырья определили заметный подъем и самих наук, изучающих геологию полезных ископаемых.

В большой мере это относится к *геологии нефти и газа*, рост добычи которых был особенно стремителен (газ стал добываться для промышленных целей лишь в XX в.). Это стало возможным благодаря неуклонному расширению географии нефтегазодобывающих стран и регионов и открытию новых типов залежей углеводородов. Уже к началу XX в. было установлено региональное (зональное) распространение нефтяных месторождений, которые никогда не встречаются в одиночку. Было выяснено также, что залежи нефти обычно подчинены определенным структурным формам залегания пластов и приурочены прежде всего к сводам антиклинальных складок. Существовало мнение, что зоны распространения нефтяных месторождений обычно окаймляют молодые горные сооружения их погружения; в нашей стране до 40-х годов это были нефтедобывающие районы Кавказа и Средней Азии. Однако начиная с 20-х годов стала выясняться ограниченность этих представлений. Были выявлены литологические и стратиграфические залежи нефти, подчиненные изменениям литологического состава и зонам выклинивания пористых пластов-коллекторов и поверхностям углового несогласия. Выяснилось также, что коллекторами нефти могут быть не только пески и песчаники, но известняки и глинистые породы, если они обладают трещиноватостью или кавернозностью (карбонаты). Началось освоение нефтегазоносных платформенных территорий, на которых поверхностные проявления нефти и газа очень редки или даже отсутствуют. В России были открыты крупнейшие нефтегазоносные провинции Волго-Уральской области и затем Западной Сибири — «второе» и «третье» Баку, которые затмили славу нефтегазоносных районов Кавказа. В этом особенно велика была заслуга И. М. Губкина. Крупнейшим нефтегазоносным районом мира оказался район Персидского залива и его платформенная часть. Крупные месторождения были открыты на Африканской платформе, в Алжирской Сахаре. Началось освоение шельфов, в частности на Каспийском море, в Мексиканском заливе.

В 40—50-е годы И. О. Брод, В. В. Вебер, В. Е. Ханн в СССР, Л. Г. Уикс в США пришли к выводу, что нефтяные месторождения концентрируются в пределах областей глубокого погружения и накопления мощных осадочных толщ — осадочных бассейнов. С этого началось развитие учения о нефтегазоносных осадочных бассейнах, оказавшегося весьма плодотворным. Классификация таких бассейнов стала строиться на тектонической основе, в тот период — на геосинклинально-орогенно-платформенной.

Большой интерес продолжала вызывать к себе проблема происхождения нефти. Долгое время конкурировали две гипотезы — биогенного (органического) и абиогенного (неорганического) происхождения. Однако позиции первой неуклонно укреплялись, а второй — ослабевали. Первоначально сторонники биогенного происхождения спорили о том, за счет какого источника органи-

ского вещества образовалась нефть — растительного или животного. Но уже в 1906 г. Г. П. Михайловский на материале Северного Кавказа пришел к правильному выводу об участии в этом процессе обоих типов рассеянной органики. Этот вывод был подтвержден в 1927 г. А. Д. Архангельским на том же, а также на черноморском материале по современным осадкам. Важным событием явилось обнаружение углеводородов в современных осадках (Смит, 1954). Отсюда был сделан вывод об образовании нефти уже в процессе диагенеза осадков, причем в водоемах самого различного типа — от пресноводных до океанских (Вебер, 1956). В дальнейшем, однако, выяснилось, что главная фаза нефтеобразования наступает много позже, при погружении осадков на значительную глубину, не менее 2 км, и достижении ими температуры порядка 100° (Вассоевич, 1967). Была разработана тройная схема вертикальной зональности нефтегазообразования осадочных бассейнах, увязанная с преобразованием глинистых — основных нефтематеринских пород в процессе диагенеза и катагенеза, но это произошло уже в 60-е годы, на следующем этапе развития геологических наук. Но тем временем углубленное изучение состава нефтей на молекулярном, а затем и изотопном уровне принесло новые бесспорные доказательства их биогенного происхождения.

В геологии угольных месторождений следует отметить прежде всего появление уже в начале века в Германии капитального труда Г. Потонье «Происхождение каменного угля и других каустобиолитов» с выделением различных типов углей в зависимости от характера исходного растительного вещества и детальным рассмотрением биохимических процессов его углефикации. Дальнейшие успехи в классификации углей в зависимости не только от их происхождения, но и от степени преобразования связаны с началом углепетрографических исследований, пионерами которых были М. Стопс в Англии (1919) и М. Д. Залесский (1877—1946), а затем Ю. А. Жемчужников (1885—1957) в России. Определенная полемика возникла в связи с вопросом о причинах метаморфизма углей: динамометаморфизм, как считали американец Д. Уайт (1915) и его русские и западноевропейские единомышленники, или метаморфизм погружения, как обосновал на материале Донецкого бассейна Е. О. Погребинский (1939). Очевидно, в угленосных бассейнах проявляются различные типы метаморфизма, но главную роль играет региональный тип.

В 30-е годы внимание русских геологов-угольщиков стали привлекать закономерности распределения месторождений углей по площади и возрасту. Были выделены угленосные бассейны, пояса и узлы угленакопления (П. И. Степанов, 1880—1947). Стала разрабатываться, преимущественно на тектонической основе, классификация угленосных бассейнов и формаций (Г. А. Иванов, Ю. А. Жемчужников, Г. Ф. Крашенинников, 1909—1992).

Геология рудных месторождений подошла к рубежу веков как уже достаточно сформировавшаяся отрасль знаний, о чем свиде-

тельствует выход в свет крупных руководств как в Западной Европе, так и в России (К. И. Богданович). Теория образования рудных месторождений гидротермального происхождения была разработана американскими геологами В. Линдгреном и В. Эммонсом, причем в качестве ее исходного пункта, в отличие от взглядов сторонников гидротермальной теории конца XIX — начала XX в., источником рудного вещества считались не глубинные оболочки Земли, а магматические породы, обнажающиеся в рудных районах. Эмпирические закономерности распределения рудных месторождений вокруг интрузивных массивов, прежде всего батолитов, и теоретические рассуждения о дифференциации рудных растворов в связи с понижением температуры и давления по мере уменьшения глубины привели к концепции зонального распределения металлов в зависимости от глубины и температуры (Д. Спёрр, В. Эммонс, 1924—1936). С альтернативными представлениями о пульсационной зональности, связанной с прерывистым поступлением гидротермальных растворов, выступил затем русский геолог С. С. Смирнов, но фактически речь могла идти лишь об усложнении первичной зональности, о многоfazном батолито- и рудообразовании.

В дальнейшем в работах Д. Спёрра и некоторых других американских металлогенистов произошел возврат к идее подкорового происхождения рудного вещества, об особой рудной магме, а в качестве каналов, по которым рудное вещество поступает в верхние горизонты коры, принимаются крупные разломы. Такое представление о роли разломов созвучно с высказываниями советских геологов 40—50-х и последующих годов в связи с появлением у нас учения о глубинных разломах (В. И. Смирнов, Е. А. Радкевич и др.). В России стали развиваться представления о заимствовании гранитами металлов из осадочных пород, в частности при их предполагаемой гранитизации. Такая же роль приписывается некоторыми учеными (американский геолог Салливан) и вулканическим образованиям. Немецкий исследователь Г. Шнейдерхён (1887—1962) высказал идею о регенерированных месторождениях, образовавшихся за счет переотложения металлов; он считал все месторождения альпийской эпохи регенерированными герцинскими. Эти взгляды подверглись серьезной критике.

По мере накопления сведений о рудных месторождениях становилось все более очевидным, что генетические типы этих месторождений не ограничиваются гидротермальными в понимании В. Линдгрена, и это нашло отражение в классификации месторождений. Их, в частности, дополнило выделение класса пневматолитовых месторождений (П. Ниггли, А. Е. Ферсман). Важную роль в понимании генезиса скарновых месторождений сыграли работы Д. С. Коржинского по метасоматозу (1945, 1953), а месторождений колчеданного типа — В. И. Смирнова (1910—1988) и Г. А. Твалчрелидзе, доказывавших их вулканогенно-осадочное происхождение, что подтвердилось в дальнейшем. В 30-е годы в русской литературе началось выделение рудных формаций.

В 40-е годы все более активный характер приобретает обсуждение общих вопросов металлогении, а классификации месторождений увязываются с господствующими тектоническими возмущениями (швейцарский ученый П. Ниггли и Г. Шнейдерхён). Общей в их построениях была идея о закономерной смене типов рудных месторождений в зависимости от смены стадий развития геосинклиналей. Эта же идея, но в несколько ином преломлении, легла в основу классификации Ю. А. Билибина (1901—1952), завоевавшей широкую популярность в СССР. Во всех этих классификациях различались месторождения, образованные на ранних, средних и поздних стадиях развития геосинклиналей.

Наряду с такими общими построениями получает развитие региональная металлогения. Прежде всего обращается внимание на различия Тихоокеанского и Средиземноморского подвижных поясов, на поперечную зональность (внешняя и внутренняя зоны) самого Тихоокеанского пояса (С. С. Смирнов, 1895—1947). Поперечная и продольная зональность таких поясов дала повод Е. А. Радкевич (1959) выделить металлогенические зоны фемического и сиалического типов.

В области *гидрогеологии* развитие шло по нескольким направлениям. Одним из них являлось совершенствование представлений о динамике подземных вод, выразившееся в разработке методики прогнозирования их ресурсов и изменения режима при гидротехническом строительстве, ирригации и др. Другое направление — дальнейшая разработка и практическое приложение учения о зональности грунтовых вод, основы которого были заложены В. В. Докучаевым в самом конце XIX в. В этих исследованиях, проводившихся в СССР, активную роль играли П. В. Отоцкий, В. С. Ильин (1883—1930), О. К. Ланге (1883—1975), Н. И. Толстихин. В 30-е годы обозначилось еще одно важное направление — проблема вертикальной гидрохимической и гидродинамической зональности, ставшая предметом острой дискуссии. В 30-е и 40-е годы на первый план выдвинулось изучение артезианских бассейнов.

Происхождение подземных вод и их генетическая классификация оставались и на рассматриваемом этапе по-прежнему дискуссионными. Но в то время как на предыдущем этапе почти всецело господствовала концепция инфильтрационного их происхождения, в третьем десятилетии XX в. получила признание конденсационная теория русского ученого А. Ф. Лебедева (1882—1936), впервые выдвинутая им еще в 1913 г. В эти же годы сформировалось высказанное также в начале века представление о погребенных морских водах и водах, освобождающихся при выжимании их из осадков под массой вышележащих отложений. Уже в первые годы XX в. Э. Зюсс выступил с предположением о существовании ювенильных вод, преимущественно термальных, выделяющихся из глубоких недр Земли и впервые появляющихся на поверхности. Однако это предположение остается и по сей день недоказанным.

*Инженерная геология* развивалась в первой половине XX в. по двум существенно различным направлениям, заложенным уже в самом ее названии, — в геологическом и геотехническом. Бесспорным лидером второго направления был американский ученый К. Терцаги, а в России его развивали Н. Н. Маслов, Н. А. Цытович, в то время как первое направление разрабатывалось, в основном в России, трудами Ф. П. Саваренского (1881—1946), автора первого отечественного руководства по инженерной геологии (1937), В. А. Приклонского (1899—1959), И. В. Попова (1889—1974), позднее Е. М. Сергеева. В связи с большим объемом гидротехнического строительства и ирригационных работ в Советском Союзе появилась необходимость в составлении специальных инженерно-геологических карт обширных территорий и была выработана методика такого картирования.

В 1925—1930 гг. от инженерной геологии отпочковалась новая наука — *мерзлотоведение*, или *геокриология*. Произошло это не случайно в нашей стране, так как на ее долю приходится половина общей площади распространения вечной мерзлоты в Северном полушарии. Остальная площадь принадлежит Канаде и США (Аляска). Необходимость постановки научных исследований в этом направлении вытекала из нужд строительства в зоне вечной мерзлоты городов и различных сооружений, с каждым годом приобретавшего все больший размах.

Основоположником геокриологии был М. И. Сумгин (1873—1942), поддержанный В. А. Обручевым. В 1927 г. он выпустил книгу «Вечная мерзлота почвы в пределах СССР», а в 1940 г. под его руководством был издан первый учебник по новой дисциплине «Общее мерзлотоведение». В Московском университете была открыта кафедра геокриологии и начата подготовка специалистов в этой области. В США и Канаде исследования вечной мерзлоты по-настоящему развернулись лишь в послевоенный период.

Создание основы для рациональной организации строительства на вечномерзлых грунтах потребовало постановки региональных исследований, с одной стороны, и лабораторного изучения физико-химических свойств промерзающих и мерзлых пород — с другой.

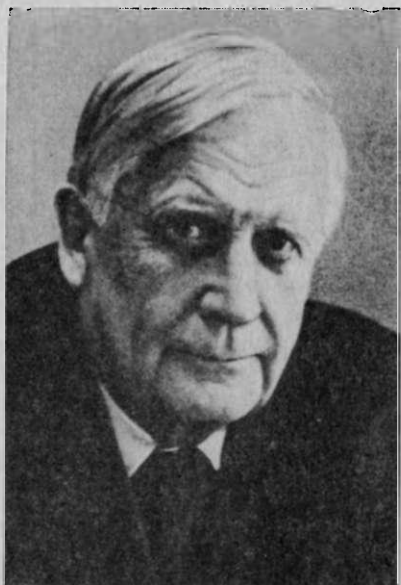
Из изложенного в этой главе можно было видеть, что название, которое мы дали рассмотренному в ней периоду, — критический — является весьма условным, и поэтому мы взяли его в кавычки. Критическим он был лишь в том смысле, что в этот период геология на время лишилась единой, дающей общее объяснение всем геологическим процессам парадигмы. Однако в это же время были посеяны зерна новых представлений — дрейф континентов, подкоровые конвективные течения, глубинная дифференциация вещества Земли, которым суждено было дать мощные всходы на следующем этапе развития геологических наук. Существенно окрепла геофизика, завершившая разработку модели оболочечного строения Земли. Геохимия делала быстрые успехи, правомерно заняв место «третьей сестры» в науках о Земле, ря-

м с геологией и геофизикой. Такое успешное развитие геофизики и геохимии было непосредственно связано с великими открытиями в физике и химии, как и «второе рождение» минералогии, этой древнейшей из наук о Земле. Возникли новые науки — литология, палеогеография, геокриология, а в других науках геологического цикла обозначались новые перспективные направления.

## Глава 7. НОВЕЙШИЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК (60—90-е годы XX в.)

По общему признанию, геологические науки в 60-е годы нашего века пережили настоящую революцию. В процессе революции геология впервые превратилась в подлинно глобальную науку, а развитие Земли получило научное объяснение на уровне других областей естествознания. Тем самым геология покончила со статусом чисто описательной науки и приобрела свой современный, достаточно прогрессивный облик.

Эта научная революция началась в области геотектоники, довольно быстро распространившись на все другие области геологии и вообще наук о твердой Земле. Как можно было видеть из предыдущей главы, в середине века в геотектонике не существовало сколько-нибудь руководящей концепции, касающейся причин движений и деформаций земной коры и эволюции ее структуры, хотя в общем преобладали фиксистские представления, особенно в нашей стране. В России наиболее разработанной была концепция, предложенная В. В. Белоусовым, на западе — во многом схожая гипотеза голландского ученого Р. В. ван Беммелена, построенная им на материале Индонезии, тогда голландской колонии. Обе эти гипотезы, как указывалось в предыдущей главе, исходили из признания ведущей роли вертикальных движений земной коры, считая горизонтальные движения, в том числе вызывающие складко- и надвигообразование, производными от вертикальных. Этот последний тип движений считается обусловленным процессом продолжающейся дифференциации земных недр, при котором более легкие продукты этой дифференциации всплывают вверх, вызывая поднятия.



Владимир Владимирович Белоусов  
(1907—1990)

Некоторой популярностью пользовалась пульсационная гипотеза, развивавшаяся в США У. Бухером, а в России М. А. Усовым и В. А. Обручевым. В то же время идеи мобилизма, т. е. взгляды А. Вегенера и его последователей, в 40—50-е годы практически уже почти не имели сторонников, и «дрейф материков» стал рассматриваться как некий зигзаг в истории геологической науки, в сторону от магистрального пути ее развития.

Коренной перелом наступил в 60-е годы, но ему предшествовал этап интенсивного накопления новой информации в течение предыдущего десятилетия. Эта информация имела в основном геофизический характер и касалась двух областей — строения ложа океанов, которое до этого времени оставалось практически неизученным, и внутреннего строения Земли, ее верхних оболочек. В основе достижений в обеих этих областях лежало применение новой аппаратуры, в значительной мере разработанной первоначально в военных целях, в период второй мировой и последовавшей за ней «холодной» войны. Так, на вооружение морских геофизиков поступил эхолот, позволявший производить непрерывный и достаточно точный промер глубин по всему ходу судна; сейсмическая аппаратура, дающая возможность определить мощность океанской коры и ее осадочного слоя; приборы для изучения магнитного поля океанов и теплового потока в их пределах. Полученные в результате применения этой аппаратуры знания существенно приблизили уровень изученности океанов к таковому континентов, хотя многое еще оставалось сделать в последующие годы.

В области глобальной геофизики большое принципиальное значение имело подтверждение существования в верхах мантии слоя повышенной пластичности — астеносферы, установление крайне неравномерного, сосредоточенного в определенных зонах размещения очагов землетрясений, разработка методики определения характера смещений в этих очагах, открытие явления палеомагнетизма, а также инверсий магнитного поля в истории Земли. Все полученные этими новыми методами данные начали складываться в общую картину уже в начале 60-х годов и в течение этого десятилетия стали стремительно пополняться новыми фактами. При этом новый смысл, согласующийся с рождающейся концепцией, получили и многие наблюдения, сделанные ранее, а также идеи, высказанные в предшествующие годы, но не получившие тогда должного отклика и тем более признания. В итоге уже к концу 60-х годов стали достаточно определенно вырисовываться контуры новой научной теории — тектоники литосферных плит, которой было суждено стать господствующей парадигмой теоретической геологии следующих десятилетий.

## 7.1. СТАНОВЛЕНИЕ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ

Первотолчком к появлению тектоники плит было, очевидно, открытие мировой системы срединно-океанских хребтов и осложняющих их строение осевых рифтов, о чем впервые было громко

явлено в 1957 г. одним из пионеров американской и мировой геологии океана Б. Хейзенем и опубликовано в совместной с М. Юингом и Т. Торп статье в 1958 г. в период Международного геофизического года. Существенное значение имело описание глубоководных желобов на периферии Тихого океана (Р. Ревелл, Р. Фишер). Уже эти данные позволили профессору Принстонского университета в США Г. Хессу выдвинуть в 1960 г. концепцию расширения океанов за счет их разрастания от осей срединных хребтов — процесса, вскоре получившего от развивавшего эту концепцию геофизика Р. Дитца название спрединга ложа океанов (sea floor spreading). Естественным дополнением к спредингу, создающему новую океанскую кору, являлось ее поглощение в глубоководных желобах, позже получившее название субдукции.

Следует отметить, что первоначально новая информация о строении ложа океанов в срединных хребтах и осложняющих их рифтах была истолкована Б. Хейзенем в духе гипотезы расширяющейся Земли, активным пропагандистом которой выступил австралийский геолог У. Кэри. В 1956 г. он созвал в г. Хобарте, столице штата Тасмания, симпозиум, труды которого были опубликованы в 1958 г. У. Кэри продолжал отстаивать гипотезу расширяющейся Земли на протяжении всей своей последующей деятельности; его книга на эту тему была относительно недавно переведена и издана в России, где эта гипотеза нашла своих сторонников.

Гипотеза спрединга еще в большей мере, чем гипотеза расширяющейся Земли, фактически возрождала похороненный было мобилизм. Но уже с самого начала она принципиально отличалась от гипотезы Вегенера, ибо обходилась без плавания континентов по океанской коре. Взамен этого предполагалось раздвижение континентов с новообразованием океанской коры между ними и их перемещение вместе с последней по поверхности астеносферы под действием конвективных течений в мантии. Надо сказать, что отдельные элементы концепции Г. Хесса и Р. Дитца и даже вся она в целом, хотя и в более примитивном виде, были предвосхищены в работах более ранних исследователей, не получивших признания вследствие недостаточной фактической основы. Первым из таких ученых был англичанин О. Фишер, опубликовавший еще в 1881—1891 гг. книгу «Физика земной коры», в которой раскритиковал контракционную гипотезу и привлек для объяснения движений земной коры и дрейфа материков конвективные течения в недрах Земли. Он допускал, однако, что в истории Земли был лишь один эпизод такого дрейфа, связанный с отрывом Луны, согласно гипотезе Дж. Дарвина. Фишера в свою очередь раскритиковал такой авторитет, как физик лорд Кельвин, и его идеи были надолго забыты.

В 1931 г. известный британский геолог А. Холмс в своей «Физической геологии» еще ближе подошел к концепции перемещения континентов под действием конвективных течений в мантии, хотя сам же оговаривался, что его гипотезе не хватает фактического

обоснования. Между тем представление о конвективных течениях в мантии было обосновано голландским геофизиком Ф. Венинг-Мейнесом, открывшим гравитационные аномалии, связанные с глубоководными желобами, в результате его пионерских исследований силы тяжести в океанах с подводных лодок. А еще раньше о «подкорковых течениях» заговорил австрийский геолог О. Амппер (1907); о них же писали немцы Р. Швиннер и Э. Краус.

Все это несколько не умаляет, однако, исторической заслуги Хесса и Дитца, которые в отличие от своих предшественников уже смогли опереться на конкретные факты. Более того, почти немедленно их представления, которые сам же Хесс (вслед за Холмсом) скромно назвал «опытом геопозин», начали получать убедительные подтверждения. Из них наибольшее значение имело истолкование замечательных полосовых аномалий магнитного поля океанов, предложенное английским ученым — аспирантом Кембриджского университета Ф. Вайном и его научным руководителем Д. Мэтьюзом. Полигоном, данные по которому были интерпретированы Вайном и Мэтьюзом, был хр. Карлсберг в Индийском океане, но еще раньше подобные аномалии были закартированы американцами А. Раффом и Р. Мейсоном в северо-восточной части Тихого океана (данные были опубликованы в 1961 г.)<sup>1</sup>. Вайн и Мэтьюз в работе, обнародованной в 1963 г., объяснили образование «полосового» магнитного поля океанов наложением двух процессов — спрединга ложа океанов и периодических инверсий магнитного поля Земли.

Независимо от них аналогичная гипотеза была предложена, но опубликована годом позже, канадцами Л. Морли и А. Лароше-лем (их статья сначала была отвергнута редакцией журнала). Первоначально эта гипотеза была встречена американскими морскими геофизиками, проводившими интенсивные исследования океанов, с некоторым недоверием, но после того, как подобное магнитное поле было закартировано в Атлантическом океане, в хр. Рейкьянес к югу от Исландии, и в юго-восточной части Тихого океана, всякие сомнения отпали. Уже в 1965—1966 гг. группа геофизиков из Ламонтской обсерватории под Нью-Йорком (Дж. Хейртцлер, У. Питмен, Кс. Ле Пишон, М. Тальвани) предложила первую хронологическую шкалу магнитных инверсий и аномалий, охватывавшую весь кайнозой и часть позднего мела (она так и стала известна под названием Ламонтской шкалы). К тому времени инверсии уже были установлены для последних 4,5 млн лет истории Земли на материале изучения вулканических лав на суше (впервые открыты в 1909 г. на Французском Центральном массиве Б. Брюньесом) и колонок морских осадков. Основопологающая работа этого направления принадлежала американским геофизикам А. Коксу, Б. Дальримплу и Р. Доэллу (1963—

<sup>1</sup> Существуют сведения, что одновременно с американцами подобное магнитное поле было обнаружено советскими экспедициями в северо-западной части Тихого океана, однако эти данные были засекречены. Но, кстати, и американцы не сразу получили разрешение на публикацию своих материалов.

1964 г.), но ламонтская группа продлила их шкалу до 85 млн лет. Значительно позднее, в 1972 г., эта шкала была продлена уже до 150 млн лет Р. Ларсоном и У. Питменом, причем выяснилось, что интервал 85—115 млн лет был периодом спокойного магнитного поля, без инверсий. Но еще раньше, в 1968 г., хронологическая шкала магнитных аномалий получила убедительное подтверждение в первых же профилях глубоководного бурения через Южную и Северную Атлантику. А позднее справедливость магнитостратиграфической шкалы была показана уже на материале наземных исследований фаунистически хорошо датированных меловых и палеогеновых отложений Северной Италии (У. Альварес и др.); понадобились лишь небольшие уточнения.

В течение 60-х годов были получены и другие, также важные доказательства правильности гипотезы спрединга. Это прежде всего данные палеомагнетизма — определения остаточного магнетизма континентальных пород. Соответствующие исследования были начаты еще в середине 50-х годов известным английским геофизиком П. Блэкетом и продолжены его учеником К. Ранкорном. Довольно скоро было обнаружено, что ориентировка магнитного поля прошлых геологических эпох отличается от современной, причем тем больше, чем древнее эпоха. Попытку объяснить эту картину смещением самих полюсов пришлось отвергнуть после того, как выяснилось, что по разным континентам получаются несовпадающие кривые, а их совпадение оказывается возможным при совмещении контуров самих материков. Эти результаты побудили Британское Королевское общество (гомолог академий наук других стран) созвать в 1964 г. специальную сессию, на которой выступили как сторонники, так и противники мобилизма; среди последних были и достаточно авторитетные американские ученые. Однако на той же сессии английский геофизик Э. Буллард, уже известный своим объяснением магнетизма Земли (одновременно с американским геофизиком В. Эльзассером) и разработкой методики изучения теплового потока в океанах (вместе с американцами Р. Ревеллом и А. Максвеллом), доложил о результатах проведенного с сотрудниками компьютерного совмещения контуров материков, ныне разделенных Атлантикой. Совмещение это оказалось вполне успешным, подтвердив представления Вегенера и совпав также с полученным по кривым «кажущегося блуждания» магнитных полюсов, как они стали называться (так как на самом деле «блуждали» не полюса, а материки).

Другим доказательством спрединга, обнародованным в 1965 г. канадским геофизиком Дж. Т. Вилсоном, в дальнейшем сыгравшим очень большую роль в утверждении концепции тектоники плит, явилось закономерное удревнение возраста океанских островов по мере удаления в обе стороны от оси срединных хребтов. О том же свидетельствовал и обнаруженный еще раньше, в 1963 г., по сейсмическим данным братьями М. и Дж. Юингами факт утонения осадочного чехла Атлантического океана к оси срединного хребта. К тому же среди осадков, поднятых со дна океана колонками,

не оказалось отложений древнее мезозойских, в то время как ранее предполагалось, что здесь сохранился чуть ли не весь разрез фанерозойских, если не более древних образований. А в 1965 г. Дж. Вилсон показал, что крупные разломы, пересекающие средние хребты, в том числе Восточно-Тихоокеанское поднятие, и сдвигающие оси этих хребтов и магнитные аномалии на их флангах, представляют особый класс сдвиговых разломов, поскольку противоположно направленные смещения вдоль них наблюдаются только на участках между пересечениями. Этот теоретический вывод был подтвержден в 1967 г. американским сейсмологом Л. Сайксом, показавшим, что подобные разломы, названные Вилсоном трансформными, сейсмичны лишь на таких участках, а смещения в очагах землетрясений здесь также совпадают с предсказанными Вилсоном. Сами трансформные разломы, амплитуда которых может превосходить 1000 км, были впервые открыты еще в 50-е годы американским океанологом Г. Менардом, а смещения магнитных аномалий по ним были отмечены Р. Дитцем в 1968 г.

К 1967 г. благодаря созданию мировой сети сейсмических станций (она была создана американцами в целях обнаружения советских ядерных взрывов) окончательно проявилась картина распределения сейсмической активности Земли, впервые намеченная Ж. Ротэ еще в 1953 г. Очаги землетрясений оказались локализованными в узких зонах, приуроченных к рифтовым и вообще осевым зонам срединно-океанских хребтов, к глубоководным желобам и к Альпийско-Гималайскому поясу активного горообразования. Полученные к тому же времени данные о механизмах смещений в очагах землетрясений свидетельствовали, что в рифтовых зонах землетрясения связаны с горизонтальным растяжением, в Альпийско-Гималайском поясе — с горизонтальным сжатием, в глубоководных желобах — также со сжатием, но направленным вдоль наклонной в сторону островной дуги или континента поверхности. Последнее подтвердило высказанные ранее японцем Вадати, голландцем Виссером (1937), русским петрологом А. Н. Заварицким (1946), американцем Г. Беньофом (1948) представления о таких сейсмофокальных зонах, как зонах поддвига океанской коры под островодужную или континентальную (Г. Штилле рассматривал их как зоны надвигания коры периферии океана на ложе самого океана, а А. Н. Заварицкий допускал оба варианта). После работы Беньофа эти зоны стали широко известны под его именем, хотя, как мы только что видели, данные о них появились в литературе значительно раньше. Однако только после появления концепции тектоники плит стало очевидным их подлинное значение. То же относится и к установленному японским петрологом Х. Куно еще в 1959 г. факту закономерного увеличения содержания калия в продуктах островодужного вулканизма с удалением от глубоководных желобов — открытие, получившее дальнейшее развитие в работе американцев У. Диккинсона и Т. Хазертонна в 1967 г. уже в свете новых представлений.

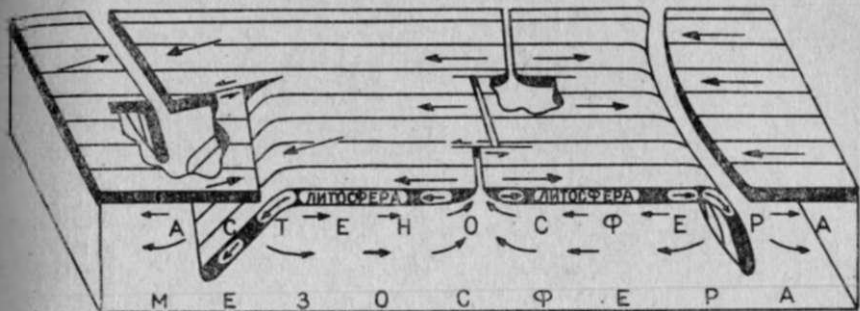


Рис. 25. Блок-диаграмма, на которой схематически показаны конфигурация и роль литосферы, астеносферы и мезосферы в том варианте глобальной тектоники, где ключевую роль играет жесткая литосфера (по Б. Изаксу, Дж. Оливеру, Л. Сайксу, 1968)

Таким образом, всего за 5—6 лет после опубликования пионерских работ Хесса и Дитца последовала буквально лавина открытий, не только подтвердивших справедливость высказанных в них взглядов, но и подготовивших почву для более широкого обобщения, которое и получило название сначала новой глобальной тектоники, а затем тектоники плит (точнее, тектоники литосферных плит). Такое обобщение вылилось в серию докладов на сессии Американского геофизического общества в 1967 г.<sup>1</sup>, а затем статей в ведущем американском журнале «Journal of Geophysical Research» в 1967—1968 гг. Русский перевод этих основополагающих статей был издан в 1973 г. под названием «Новая глобальная тектоника». Это название повторяет заглавие статьи сейсмологов Б. Изакса, Дж. Оливера и Л. Сайкса, в которой была дана вошедшая затем во все учебники схема перемещения литосферных плит под влиянием конвективных течений в астеносфере от осей срединных хребтов к глубоководным желобам (рис. 25). В ней же была приведена карта сейсмичности Земли с показом векторами направлений смещений в очагах землетрясений. Основным элементом новой теории — разделение литосферы на плиты — был обоснован в статье Дж. Моргана, где плиты еще называются блоками, и Кс. Ле Пишона, французского геофизика, стажировавшегося в Ламонте.

В статье Ле Пишона приведена первая схема подразделения литосферы на шесть главных (потом их стало семь) и несколько малых плит с указанием скоростей их смещений (рис. 26) и реконструкциями положения плит в прошлые геологические эпохи (до времени 200 млн лет назад). Термин «плиты» был применен

<sup>1</sup> 25-летие этой сессии торжественно отмечалось на весенней сессии 1992 г. Американского геофизического союза в Монреале, где с докладами выступили почти все авторы основополагающих статей. Но до этого серебряный юбилей тектоники плит праздновался в США и во Франции.

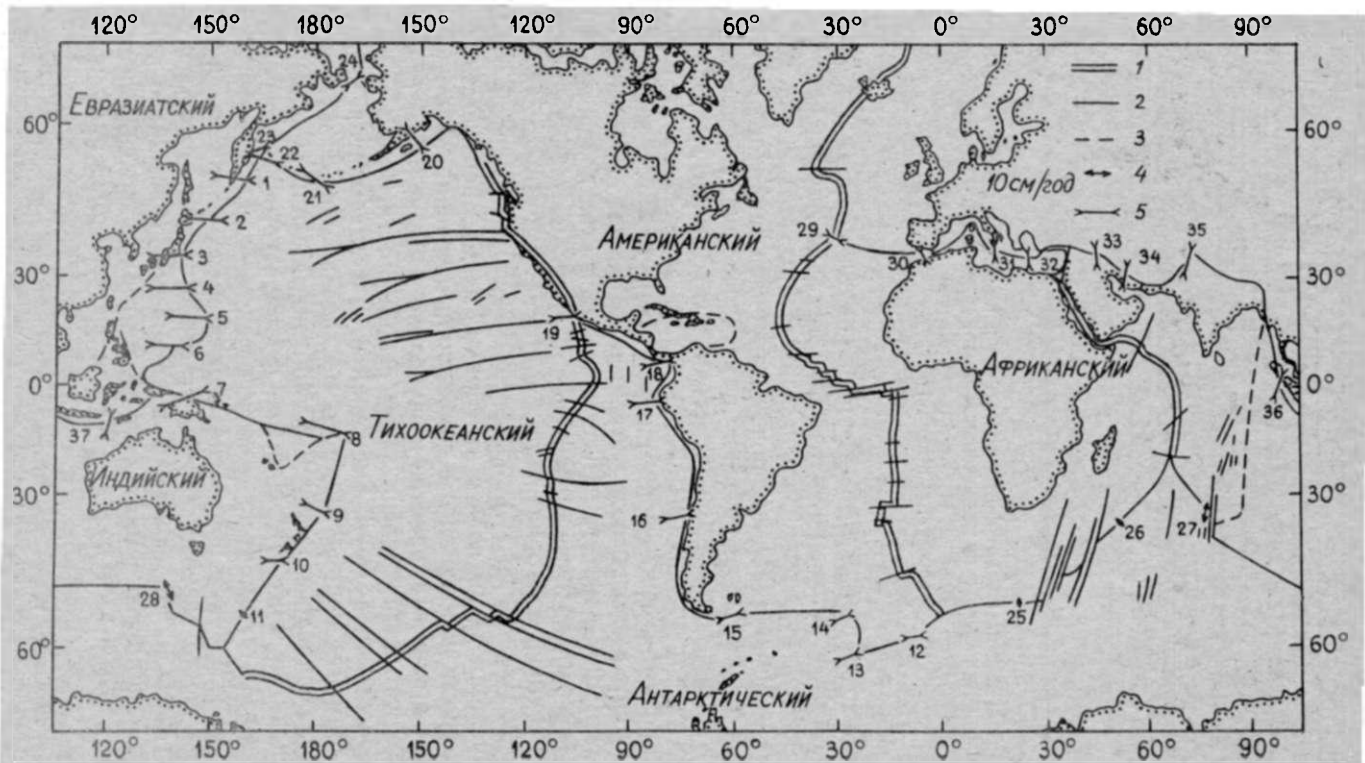


Рис. 26. Положение границ шести блоков относительно друг друга (по Кс. Ле Пишону, 1968).

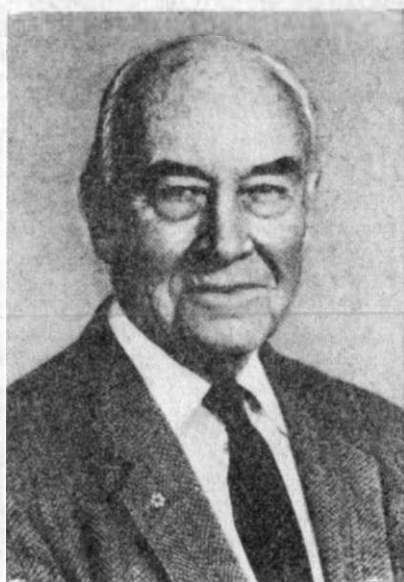
Цифры рядом с векторами дифференциальных движений соответствуют номерам точек расчета. 1 — границы блоков с известной скоростью раскрытия; 2 — границы блоков с вычисленным результирующим движением; 3 — границы других возможных блоков, не рассмотренных в расчетах. Результирующее движение (4, 5): 4 — растяжение; 5 — сжатие

первые англичанином Д. Мак-  
нзи; вместе с Морганом в  
1969 г. он опубликовал статью о  
тектонических сочленениях плит.

В этой серии статей были  
формулированы основные поло-  
жения, говоря современным язы-  
ком, новой геодинамической мо-  
дели, а именно разделение лито-  
сферы на плиты, смещающиеся  
относительно друг друга по по-  
верхности астеносферы с разд-  
вигом, поддвигом, или скольже-  
нием по трансформным разло-  
мам по законам сферической гео-  
метрии (теорема Эйлера) под  
действием конвективных течений  
в мантии.

Эти события дали основание  
Дж. Т. Вилсону (1908—1993)  
уже в 1967 г. констатировать, что  
в геологии произошла настоящая  
научная революция. Это было от-  
мечено и в заключительном от-  
чете Международного проекта верхней мантии, осуществленного  
в 1960—1970 гг. по предложению В. В. Белоусова, который, од-  
нако, сам выступил со статьей, опровергающей утверждения Вил-  
сона. Между тем последующее развитие событий принесло полное  
подтверждение всего сказанного Вилсоном.

Приходится сказать, однако, что в нашей стране идеи текто-  
ники плит вначале встретили довольно сильное сопротивление,  
прежде всего со стороны руководящей научной элиты, состоящей  
из ученых старшего возраста. Основные причины этого можно ус-  
матривать в совокупности некоторых как объективных, так и субъ-  
ективных обстоятельств. Во-первых, преобладающая часть терри-  
тории нашей страны занята платформами, древними и молодыми,  
в пределах которых проявление вертикальных движений совер-  
шенно очевидно — они контролируют все распределение фаций и  
мощностей осадков и могут объяснить образование основных струк-  
тур, в то время как горизонтальные движения проявлены значи-  
тельно слабее и не слишком заметны. Во-вторых, к моменту появ-  
ления тектоники плит у нас практически общим признанием поль-  
зовалась геотектоническая концепция В. В. Белоусова, которая  
достаточно удачно истолковывала регионально-геологические ма-  
териалы, по крайней мере до появления новых данных по океа-  
нам, офиолитам, шарьяжам и сдвигам, в то время как за рубежом  
подобного консенсуса не существовало и скорее наблюдался ва-  
куум в этой области. И наконец, как это не грустно констатиро-  
вать, определенную роль играло стремление считать именно нашу



Джон Тузо Вилсон (1908—1993)



Лев Павлович Зоненшайн (1929—1992)

науку самой передовой и поэтому настороженно воспринимать как нечто чуждое все идущее с запада. Последним обстоятельством следует в значительной мере объяснить и тот факт, что и в настоящее время ряд русских ученых не признает за тектоникой плит положительного значения и ищет ей замену в альтернативных построениях, типа гипотез расширяющейся и пульсирующей Земли, кстати тоже западного происхождения (!), или в других вариантах мобилизма.

Между тем число не только сторонников, но и исследователей, активно развивающих теорию тектоники литосферных плит, у нас в России непрерывно растет, и их работы составляют все более весомый вклад в дальнейший прогресс этой теории.

Здесь следует особо отметить выдающуюся роль недавно ушедшего из жизни Л. П. Зоненшайна, которому (с соавторами) принадлежат и первые отечественные руководства по мобилистской геодинамике, и первое обобщение по тектонической истории территории бывшего Советского Союза с позиций тектоники плит, и первые отечественные глобальные плитотектонические реконструкции, и организация всесоюзных и международных совещаний по плитной тектонике.

## 7.2. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ И РАСШИРЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ

Гипотезе спрединга и ее расширенной версии — тектонике плит — повезло, очевидно, больше, чем любой другой научной гипотезе — она практически немедленно подверглась проверке, причем с положительным результатом. Речь идет о глубоководном бурении, начатом в том же 1968 г., когда печатались основополагающие статьи на тему тектоники плит.

Предыстория проекта глубоководного бурения, осуществление которого началось в 1968 г., любопытна. Этому проекту предшествовал более амбициозный американский проект Мохол (Mohole: от поверхности Мохо — Moho, границы кора/мантия, и hole — дыра, скважина), целью которого было вскрытие мантии и определение характера ее границы с корой. Реализация проекта началась с бурения пробной морской скважины в районе о. Гваделупа в Тихом океане, против побережья Калифорнии. Эта скважина в 1961 г.



Рис. 27. Буровое судно «Гломар Челленджер»

вскрыла базальты второго слоя океанской коры, что само по себе было тогда достижением, но затем возникли серьезные сомнения в целесообразности продолжения этих работ до достижения конечной цели — вскрытия мантии. Эти сомнения основывались, во-первых, на значительно большей, чем первоначально предполагалось, стоимости работ и, во-вторых, на том, что вскрытие мантии в одном лишь пункте не может характеризовать ее в достаточной степени, учитывая вероятную латеральную неоднородность. В результате Конгресс США отказался финансировать дальнейшие работы и проект Мохол был сдан в архив.

Между тем возник более реалистичный проект морского бурения, основанный на опыте нефтяных компаний и предусматривавший изучение лишь осадочного слоя океанской коры. Пять научных организаций США создали консорциум JOIDES (Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling), который и приступил к осуществлению этого проекта путем оборудования специального бурового судна, названного «Гломар Челленджер» (Glomar — сокращенное от Global marine — названия судостроительной компании и Challenger — в память о британском судне, с которого в 70-х годах предыдущего столетия были впервые проведены крупномасштабные исследования ложа океанов и их осадочного чехла; рис. 27). После пробного бурения в Мексиканском заливе, давшего интересные результаты — подтверждение существования в глубоководной части залива соляных куполов, — были проведены пересечения Южной, а затем и Северной Атлантики, которые, как отмечалось выше, доказали их срединное происхождение. Действительно, они показали, что возраст

кровли базальтового слоя коры и непосредственно перекрывающих ее осадков закономерно возрастает от оси срединного хребта к периферии океана, а конкретный возраст базальтов соответствует предсказанному по хронологической шкале магнитных аномалий.

Так началась беспрецедентная в истории не только геологических наук эпопея исследования ложа Мирового океана, успешно продолжающаяся и в настоящее время. Проект глубоководного бурения из чисто американского вскоре стал международным, в него включились европейские страны, в том числе Советский Союз, и Япония, принявшие участие в финансировании проекта. К великому сожалению, участие нашей страны дважды прерывалось по не зависящим от ученых обстоятельствам: первый раз по указанию президента Рейгана в разгар холодной войны и второй раз в 1992 г. по вполне прозаической причине — неуплате взноса в проект.

В 1983 г. на смену «Гломар Челленджеру», в связи с расширением программы бурения для охвата не только осадочного слоя, но и более глубоких слоев океанской коры, пришло более крупное и совершенное судно «Джойдес Резолюшн», которое и эксплуатируется в настоящее время.

За 25 лет, с 1968 г., по программе глубоководного бурения было пробурено 952 скважины (данные на ноябрь 1994 г.). Эти скважины осветили почти всю площадь Мирового океана, кроме его арктических вод, круглогодично покрытых ледовым панцирем. Самые северные скважины были пробурены в Беринговом море и в районе Шпицбергена, самые южные — в морях Росса и Уэдделла на подступах к Антарктиде. Результаты бурения имеют огромное значение для познания эволюции коры, причем не только в пределах самого океана.

Прежде всего важно то, что в океанах не было обнаружено осадков и базальтов древнее среднеюрских; это означает, что кора современных океанов начала формироваться лишь в юре, не более 180 млн лет назад. Данные бурения в сочетании с картированием магнитных аномалий позволили составить карту возраста ложа океанов, его консолидированной коры. Она подлежит уточнению на некоторых участках, особенно в Амеразийском бассейне Северного Ледовитого океана, но принципиальная картина уже вполне ясна. Разрезы осадочного слоя начинаются обычно с металлоносных осадков, которые, несомненно, образовались на осях спрединга в процессе гидротермальной деятельности. Вышележащая последовательность осадков свидетельствует о прогрессивном углублении дна по мере удаления от этих же осей. О. Г. Сорохтиным в России и Дж. Слейтером в США был установлен закон, который определяет темп и масштаб этого углубления — оно происходит пропорционально квадратному корню из возраста коры, сначала быстро, а затем все более медленно. Причина погружения дна — охлаждение литосферы и залечивание трещин в коре вследствие выпадения минеральных соединений. Поскольку путем совмещения одноименных аномалий, расположенных по разные сторо-

оси спрединга, можно определить ширину океана в каждый данный момент начиная со 180 млн лет, по формуле Сорохтина—Слейтера — его глубину на тот же момент, а зная конфигурацию бассейна и общие законы циркуляции вод — рассчитать течения в его пределах, открывается возможность реконструкций, составляющих содержание новой научной дисциплины — палеоокеанологии.

Данные бурения вместе с данными сейсмоки подтвердили также общее увеличение мощности осадков в направлении от осей срединных хребтов к континентальным подножиям, увеличение мощности литосферы с возрастанием сейсмических скоростей, ослаблением интенсивности магнитных аномалий и уменьшением величины теплового потока. Все эти закономерные изменения в совокупности могут быть удовлетворительно объяснены лишь с позиций спрединга и никак иначе.

Важные дополнительные доказательства спрединга дали наблюдения с подводных спускаемых и обитаемых аппаратов, начатые в 1977 г. франко-американской экспедицией в Центральной Атлантике по проекту Fatous и продолженные американцами, французами и японцами (франко-японский проект КАИКО), а также советскими экспедициями на НИС «Академик М. Келдыш» с использованием аппаратов «Мир», способных погружаться на глубину до 6 км (рис. 28). Эти наблюдения наглядно подтвердили раздвиговой характер рифтовых долин срединных хребтов с зияющими трещинами типа известных до того в Исландии и Афаре, а также реальность трансформных разломов с характером смещений, предсказанным еще Вилсоном. Сенсационным яви-

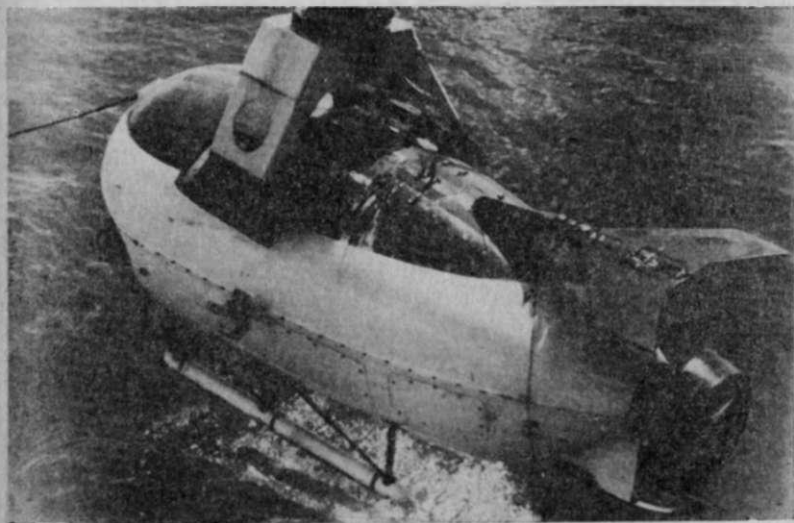


Рис. 28. Подводный аппарат «Мир»

лось открытие мощных подводных гидротерм — черных (сульфидных) и белых (сульфатных) «курильщиков», отлагающих целые залежи ценных металлов и сопровождающихся богатой и совершенно своеобразной, во многом ранее неизвестной науке органической жизнью. Это открытие значительно увеличивает потенциальные ресурсы многих металлических полезных ископаемых. Дальнейшие подводные исследования охватили, помимо рифтов срединных хребтов, и глубоководные желоба.

Более точному картированию рельефа дна океанов, достаточно хорошо отражающему его тектоническое строение, способствовало применение сонаров бокового обзора, позволяющих картировать этот рельеф в пределах достаточно широких поясов, в отличие от обычного эхолота, измеряющего его лишь вдоль линейных профилей. Ряд новых, притом крупных, черт рельефа океанского ложа был обнаружен путем альтиметрической съемки поверхности океана с американского спутника «Сисэт», поскольку неровности этой поверхности непосредственно коррелируют с неровностями дна.

В 80-е годы начались исследования, направленные на прямое измерение современных движений литосферных плит. Эти исследования ведутся двумя главными методами: длинноволновая интерферометрия — регистрация сигналов от дальних радиозвезд — и прием отражений от лазеров, установленных на Луне или искусственных спутниках Земли. Оба метода за несколько лет наблюдений дали результаты, согласующиеся как между собой, так и с определениями направления и скорости смещения плит, полученными по новейшим полосовым магнитным аномалиям. Таким образом, идеи мобилистов получили неопровержимое доказательство — плиты действительно перемещаются относительно друг друга.

С увеличением точности измерений оказалось возможным выявить деформации, происходящие и внутри плит, в частности на западе США, в Кордильерах. Кроме того, различными методами были получены данные, свидетельствующие о том, что внутренние части плит испытывают горизонтальные (тангенциальные) напряжения, обусловленные либо импульсами сжатия в их коре, связанными со спредингом в срединных хребтах, либо коллизией в орогенах, типа Альп или Гималаев, или с растяжением, господствующим в рифтовых зонах континентов. Под руководством американского профессора Мэри Лу Зобак международным коллективом была составлена и опубликована в 1992 г. первая мировая карта напряженного состояния литосферы.

В 80-е годы были начаты исследования глубоких недр Земли методом сейсмической томографии, заключающимся в обработке на сверхмощных компьютерах огромного массива информации, заключенного в десятках тысяч записей землетрясений, с целью обнаружить изменения скорости распространения сейсмических волн на различных уровнях в мантии Земли. Такие исследования, начатые американскими (А. Дзевонски, У. Вудхауз и др.) и продолженные японскими (И. Фукао) и голландскими (В. Спакман) учеными, выявили существование подобных изменений, хотя и в

пределах до нескольких процентов. Они свидетельствуют об изменениях плотности, а следовательно, и температуры вещества мантии на разных ее глубинах не только по вертикали, но и по латерали. Поскольку более разогретое вещество стремится подняться, а более холодное — погрузиться, это доказывает существование в мантии конвективных течений. А обнаружение в сейсмофокальных зонах погружающихся в глубины, до границы верхней и нижней мантии (670 км) и даже глубже, местами до 1200 км, холодных пластин океанской литосферы доказывает реальность процесса субдукции, подвергавшегося сомнению не только фикситами, но и сторонниками гипотезы расширяющейся Земли. Большое значение имеет тот факт, что распределение относительно горячих и относительно холодных областей в мантии лишь до глубины 150—200 км соответствует наблюдаемому в литосфере, а глубже оказывается существенно отличным. Этот факт в настоящее время подвергается интенсивному обсуждению.

Итак, ряд независимых доказательств, полученных различными методами, позволяет утверждать, что тектоника плит из смелой гипотезы — «опыта геопоззии», по выражению Хесса, — превратилась в прошедшую экспериментальную проверку научную теорию, первую в истории геологии, точнее геотектоники. Статус тектоники плит как теории подтверждается и тем, что кинематика плит в ней описывается математически; это дало возможность рассчитывать на компьютере положение плит в различные моменты геологического времени. Таким образом, Вилсон имел полное основание заявлять, что в геологии произошла научная революция.

Однако одно из возражений Белоусова против тектоники плит, выдвинутое им в полемике 1967 г., было на то время достаточно справедливым — тектоника плит в своей первоначальной форме описывала процессы, почти исключительно свойственные океанам и лишь в течение последних 180 млн лет, и практически игнорировала геологию континентов, история которых насчитывает 4 млрд лет. Но уже в конце 60-х — начале 70-х годов был подобран ключ к континентальной геологии. Этим ключом оказались офиолиты. Приуроченность серпентинизированных гипербазитов к осевым зонам складчатых систем была отмечена еще Э. Зюссом на рубеже XIX и XX вв., а их закономерная ассоциация с габбро, базальтами и радиоляритами позволила в 1906 г. швейцарскому геологу Г. Штейнманну выделить их в особый офиолитовый комплекс. Однако генетическая природа этого комплекса долго истолковывалась неверно и, в частности, гипербазиты и габбро рассматривались обычно как интрузивные образования, более молодые, чем базальты и глубоководные осадки и даже другие дорогенные образования складчатых систем. Но получение уже первых сведений о строении ложа океанов привело некоторых исследователей — голландца О. де Рёвера, француза Я. Брюна — к выводу о сходстве офиолитов с корой срединно-океанских хребтов. Более определенно вывод об их тождестве был сделан в 1967 г. на примере изучения офиолитов хр. Троодос на Кипре англий-

ским геологом И. Гассом и в 1970—1971 гг. Ф. Вайном и Дж. Мэтьюзом. В 1969 г. в России была опубликована статья А. В. Пейве «Океаническая кора геологического прошлого», в которой уже с полной определенностью утверждалось, что складчатые горные системы рождаются в пределах океанских бассейнов, реликтом коры которых являются офиолиты.

Тот факт, что офиолиты известны не только из кайнозоя и позднего мезозоя, но и из раннего мезозоя, палеозоя и позднего протерозоя, а в последнее время были обнаружены и в раннем протерозое, служит указанием на существование океанских бассейнов, или во всяком случае бассейнов с океанской корой, уже начиная с протерозоя. Об этом же свидетельствуют палеомагнитные данные, показывающие, что такие бассейны могли иметь ширину в несколько тысяч километров, т. е. вполне сравнимую с шириной современных океанов. Развитие, притом не только в раннем фанерозое и протерозое, но и в архее, по крайней мере позднем, вулканических комплексов, типичных для островных дуг, явно свидетельствует о проявлении процесса субдукции. О том же говорит распространение метаморфических пород высокого давления — низкой температуры, известных начиная с протерозоя. Как впервые показал японский ученый А. Миясиро, зоны распространения таких метаморфитов приурочены к висячим крыльям сейсмофокальных зон — «зон Беньофа»; параллельно им, совпадая с вулканическими дугами, протягиваются пояса метаморфитов высокой температуры — низкого и среднего давления; это и есть парные пояса Миясиро.

Таким образом, целый комплекс характерных признаков убедительно показывает, что тектоника плит «работала» в течение всего фанерозоя и протерозоя. Спорным остается лишь вопрос о проявлении ее в архее, но ныне большинство исследователей склоняются к положительному решению этого вопроса, распространяя действие принципа актуализма и даже униформизма почти на всю историю Земли, но отмечая одновременно некоторую специфику архейской тектоники плит.

На «доплитнотектоническом» этапе истории геологии, во всяком случае в XX в., ведущая роль в истолковании конкретного развития земной коры принадлежала учению о геосинклиналях. О чем подробнее говорилось в предыдущей главе. Это учение представляло эмпирическое обобщение известных фактов, касающееся развития складчатых горных систем, интерпретировавшихся в соответствии с различными тектоническими гипотезами — изостатической, контракционной, дрейфа континентов; в последнем случае имеются в виду работы Э. Аргана и А. Штауба по Альпам. Однако в 40—50-е годы возобладала чисто фиксистская трактовка развития геосинклиналей в духе гипотез Беммелена и Белоусова. Развитие это рассматривалось как следствие проявления первично вертикальных движений — сначала погружений, затем поднятий, обусловленных процессами в мантии в основании геосинклиналей. Оставался открытым вопрос, существуют ли современные

алогии геосинклиналей, и если существуют, то где их искать. По поводу последнего выдвигались различные толкования — окраины континентов атлантического типа, активные окраины западнотихоокеанского типа, открытые океаны; выбор между этими версиями не мог быть сделан до получения конкретных данных о строении осадочного чехла океанов и их окраин. Поэтому и предложенные классификации структурных элементов геосинклиналей, основанные на распределении фаций и мощностей осадков и вулканитов, не могли быть сопоставлены с реальными структурно-геоморфологическими элементами ложа океанов и их окраин.

Естественно, что положение коренным образом изменилось с началом интенсивных исследований океанов и особенно с появлением концепции спрединга, а затем и тектоники плит. Первая попытка использования новых данных была предпринята в 1969 г. М. Офисером и Ч. Дрейком, сопоставившими разрез пассивной североамериканской окраины Атлантики с разрезом Дж. М. Кэя через палеозойскую Аппалачскую геосинклиналь. Заметим, что и дальнейшие опыты такого рода были предприняты также на материале Аппалачей, тех самых, которые явились колыбелью и для всего учения о геосинклиналях (см. гл. 5). В сопоставлении Офисера—Дрейка вполне удачным было лишь сравнение внешней, многогеосинклинальной, по Штилле — Кэю, зоны Аппалачей, с прогибом под шельфом атлантической окраины. Напротив, сравнение внутренней, эвгеосинклинальной, зоны Аппалачей с прогибом под континентальным склоном и подножием современной атлантической окраины было не вполне правомерным, поскольку в разрезе последней практически отсутствуют проявления магматической деятельности, столь характерные для внутренней зоны Аппалачей и эвгеосинклиналей вообще. Между тем уже в 1967 г. Р. Дитц приступил к пересмотру учения о геосинклиналях в свете своей и Г. Хесса новой концепции и принципа актуализма; его статья так и называлась «Актуалистическая концепция геосинклиналей и горообразования». Более полно та же проблема была рассмотрена им в работах 1966 и 1972 гг. В первой из них, написанной совместно с Дж. Холденом, предлагается заменить термин «многогеосинклиналь» на «мигеокиналиаль», учитывая, что с океанской стороны в этих зонах не наблюдается обратного наклона слоев. Большое значение для разработки нового понимания строения и развития геосинклиналей имели работы Дж. Дьюи и Дж. Берда 1969—1970 гг., также на примере Аппалачско-Каледонского орогена. Обобщающая работа Дьюи и Берда называлась «Тектоника плит и геосинклинали». Вся эта ревизия учения о геосинклиналях в свете тектоники плит была несомненно своевременной и полезной и по существу логически завершала распространение тектоники плит на континентальную геологию.

Основными отличиями новой интерпретации развития геосинклиналей от старой, особенно фиксистской, трактовки были следующие. Прежде всего это актуалистический подход, позволивший отказаться от специальной геосинклинальной терминологии — гео-

антиклинали, срединные массивы, даже мио- и эвгеосинклинали: эти термины могли быть теперь успешно заменены такими более конкретными понятиями, как островные дуги, микроконтиненты, пассивные, активные континентальные окраины и т. д. Далее, представление о том, что развитие геосинклиналей определяется процессами, происходящими лишь непосредственно в их основании, было отвергнуто и заменено представлением, что развитие это связано с взаимодействием литосферных плит, ограничивающих эти подвижные зоны. Взаимодействие же плит выражается в их дивергенции, конвергенции и сдвиговых перемещениях, т. е. существенно горизонтальных движениях, производными от которых являются вертикальные — погружения и поднятия. И наконец, стало совершенно очевидным, что главным результатом геосинклинального процесса наряду с образованием складчато-покровных горных сооружений является становление континентальной коры за счет океанской.

В последнее десятилетие реформирование учения о геосинклиналях перестало удовлетворять многих сторонников тектоники плит, которые считают это учение безнадежно устарелым, а само понятие «геосинклиналь» подлежащим замене на «подвижный пояс» или «ороген». Однако орогены бывают разными; не все они возникают в результате эволюции глубоководных бассейнов с океанской корой и, кроме того, нужен термин для тектонического обозначения последних. Термин «подвижные пояса» также представляется недостаточно определенным, ибо существуют подвижные пояса разного типа. По этим соображениям другие исследователи полагают, что понятия «геосинклинальные пояса и системы» должны быть сохранены, хотя их содержание необходимо привести в соответствие с теорией тектоники плит.

Независимо от решения данного вопроса, можно констатировать, что современная тектоника плит уже не ограничивается в своем применении позднемезозойско-кайнозойской историей океанов, а распространяется и на континенты и практически на всю историю Земли.

### **7.3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕОРИИ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ НА ДРУГИЕ ОБЛАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК. РОЖДЕНИЕ ГЕОДИНАМИКИ**

Довольно скоро после своего оформления тектоника плит стала превращаться в основу других наук о твердой Земле. Собственно, с самого начала она была, несмотря на название, не только тектонической, но и геофизической и даже больше геофизической теорией, тем более что подавляющее большинство ее авторов были геофизиками (это не относится лишь к «отцу» теории Г. Хессу). Она объясняла факты, относящиеся к сейсмологии и сейсмометрии, магнитометрии, геотермике и другим областям геофизики. Очень большое взаимовлияние довольно скоро обнаружилось между геотектоникой и геофизикой, с одной стороны, и петрологией и геохимией — с другой. Синтез этих наук уже к началу 70-х годов

Дил новую, комплексную науку — *геодинамику*, изучающую совокупность глубинных, эндогенных процессов, изменяющих осферу и определяющих эволюцию ее структуры. Это нашло отражение в том, что в 70-е годы на смену проекту верхней мантии, незаконорожденным дитятей которого явилась сама тектоника плит, пришел новый Международный геодинамический проект. Связи тектоники плит с петрологией и геохимией выразились в том, что состав магматических пород, особенно вулканических, стал с успехом использоваться для реконструкции геодинамических, плитотектонических обстановок геологического прошлого. Выше уже отмечалось значение петрохимической полярности для восстановления положения, направления и наклона сейсмофокальных зон, зон субдукции. Весьма полезными для той же цели оказались данные о расположении парных метаморфических поясов. Выяснилось, что определенные магматические ассоциации тесно коррелируются с геодинамическими обстановками: толеитовые базальты — со срединно-океанскими хребтами и осями спрединга окраинных морей, щелочные базальтоиды — с океанскими островами, бимодальные ассоциации — с континентальными рифтами, известково-щелочные — с вулканическими островными дугами. Петро- и геохимические исследования геодинамического направления основываются на все более тонких аналитических данных — по редким элементам, редким землям в частности. Очень большое значение приобрели данные по изотопии стронция, неодима для определения мантийного или корового происхождения магмы. Содержание легкого изотопа бериллия оказалось показателем наличия субдукционного осадочного материала в родоначальной магме вулканов островных дуг. Минералы метаморфических пород, их состав служат геотермометрами и геобарометрами, позволяющими установить термодинамические параметры становления этих пород. В результате всех этих достижений в настоящее время ни одна серьезная тектоническая работа не обходится без петрохимических и геохимических, включая изотопно-геохимических, данных.

Литологические ассоциации, обычно называемые формациями, уже давно, до появления тектоники плит, использовались в целях палеотектонического анализа. Они не только сохранились, но и усилили это значение в «плитотектоническую эпоху». Их связь с геодинамическими обстановками оказалась еще более тесной; поэтому появилось предложение именовать выделяемые в этом смысле комплексы уже не формациями, а литогеодинамическими комплексами. При этом классификация таких комплексов распространяется не только на осадочные, но и на магматические и даже, с определенными оговорками, метаморфические образования.

На основе тектоники плит впервые было найдено рациональное объяснение эвстатических колебаний уровня океана, не связанных с возникновением и таянием ледниковых щитов. Такое объяснение, по Дж. Хейсу и У. Питмену (1973), заключается в изменении объема океанских впадин вследствие возрастания или убывания вы-

соты и ширины срединно-океанских хребтов, которое в свою очередь зависит от увеличения или уменьшения скорости спрединга.

История перемещения литосферных плит, раскрытия и замыкания океанских бассейнов, становления и распада суперконтинентов — Пангей — послужила также основой для объяснения явлений обособления (эндемизма) или, напротив, смещения фаун и флор, описываемых палеобиогеографией. Эти данные в свою очередь помогают интерпретации данных палеомагнетизма и вместе с литологическими и минералогическими индикаторами климата составляют независимый контроль построений магнитологов.

По-новому, в свете тектоники плит, стали выглядеть и основные закономерности размещения отдельных видов полезных ископаемых, что, несомненно, способствует их более целенаправленным поискам. На базе тектоники плит была разработана принципиально новая классификация нефтегазоносных бассейнов, позволяющая лучше определять степень их перспективности и вероятный потенциал запасов углеводородов в их недрах. С позиций тектоники плит получила более убедительную трактовку зональность рудных месторождений в складчатых областях, в частности в древних вулканических дугах и окраинно-континентальных вулканоплутонических поясах, приуроченных к зонам субдукции. Эпохальным достижением явилось открытие крупных рудных залежей, связанных с гидротермами на осях спрединга срединно-океанских хребтов. Определилась и специфика рудных месторождений, формирующихся в зонах континентального рифтогенеза.

Пространственное распределение землетрясений явилось в свое время главным основанием для выделения литосферных плит. Теперь же взаимодействие литосферных плит помогает объяснить сейсмическую активность и определить степень сейсмической опасности в тех или иных регионах. Учет плитнотектонических процессов необходим и для безопасного строительства атомных и гидроэлектростанций.

Плитнотектоническая «перестройка» не могла не затронуть и геоморфологию. В области океанов это произошло по существу автоматически, поскольку морфологические и структурные элементы их ложа практически совпадают, и эти элементы уже с начала 60-х годов стали получать плитнотектоническую трактовку. При этом наименее ясным было и отчасти остается и теперь происхождение асейсмичных хребтов, т. е. внутриплитных поднятий (см. 7.4).

#### **7.4. ДРУГИЕ УСПЕХИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX СТОЛЕТИЯ**

Появлением тектоники плит и превращением ее в теоретическую основу дальнейшего развития наук о твердой Земле отнюдь не ограничиваются достижения этих наук в эпоху новейшей научно-технической революции. Создание целого ряда новых инструментов научных исследований, основанных на современных разра-

тках в области электроники, лазерной техники, вычислительной математики и кибернетики и в других передовых отраслях техники, не могло не способствовать прогрессу в ряде научных направлений, из которых здесь можно упомянуть лишь главные.

В области геофизики наиболее впечатляющи успехи сейсмометрии. Они затронули весь разрез Земли, от границы ядро/мантия до ее поверхности. Выше уже упоминалось о сейсмотомографии, которая впервые выявила распределение разогретого вещества в пределах мантии Земли. Большое значение имело и применение сейсмики отраженных волн для изучения тонкой структуры всей земной коры, в отличие от метода, основанного на использовании распространения преломленных волн, который позволил лишь установить основные границы раздела — подошву коры (границу Мохо), подошву осадочного слоя и иногда 1—2 границы внутри коры. Новая методика дала возможность расшифровать строение коры в пределах покровно-складчатых горных сооружений; впервые примененная к Аппалачам, она была распространена затем на подобные сооружения Европы — Альпы, Апеннины, на складчатый фундамент молодых и кристаллический фундамент древних платформ Европы, а теперь и на Урал. Результатом этих исследований явилось не только подтверждение существования крупных горизонтальных перемещений по шарьяжам, но и обнаружение их гораздо большей, чем ранее предполагалось, амплитуды, измеряемой сотнями километров, и более широкого их распространения, в том числе в древнейших толщах Балтийского щита. Не менее, если не более, ярким достижением является развитие сейсмостратиграфии, выражающейся в составлении исключительно детальных и наглядных профилей через осадочные бассейны с помощью многоканальной сейсмики отраженных волн. На таких профилях отчетливо видны соотношения различных литостратиграфических подразделений, проявления перерывов и несогласий, фациальные изменения, условия залегания слоев и образующие ими структурные формы. По существу, это уже не только сейсмостратиграфия, а сейсмогеология.

С началом применения мощных компьютеров появилась возможность резкого ускорения и уточнения получаемой геофизической информации, ее регистрации, обработки и интерпретации с применением цифрового кодирования. В геофизике произошла, как стало принято выражаться, цифровая революция, во много раз повысившая эффективность применения геофизических методов исследования земной коры и более глубоких недр.

Выше уже говорилось о значении глубоководного бурения для познания строения океанской коры, но большое значение имеет и начало сверхглубокого континентального бурения для выяснения строения и состава континентальной коры не только в пределах осадочных бассейнов, что достигается нефтяным бурением и сейсмостратиграфией, но и в областях щитов древних платформ и складчатых систем. Всемирное признание получило достижение к 1984 г. более чем 12-километровой глубины Кольской сверхглу-



боккой скважиной (рис. 29), принесшее новые научные результаты (поведение горных пород на глубине, присутствие в них флюидов и др.). По этому примеру в ряде других стран либо уже начато (Германия, Франция), либо намечено (Япония, США) приступить к глубокому континентальному бурению; эта проблема активно обсуждается на международных форумах.

Для познания состава и состояния вещества в глубоких недрах Земли большое значение приобрели данные экспериментальной минералогии, после того как с помощью алмазных наковален удалось добиться получения давлений, отвечающих предполагаемым, на различных глубинах в мантии, вплоть до ее границы с ядром. В результате этих экспериментов исследователи пришли к выводу о перовскит-магнезиовюститовом составе нижней мантии и о вероятности некоторых отличий в ее химическом составе (повышенное содержание железа) по сравнению с верхней мантией, что важно для понимания глубинной геодинамики.

Применение микрозонда в огромной степени углубило возможности анализа химического состава горных пород и отдельных минералов, вплоть до их мелких зерен. Это позволило включить в орбиту исследований практически все элементы периодической системы, вплоть до редких земель, а не только главные породобразующие компоненты. Стало возможным использовать вариации состава некоторых семейств минералов в качестве геотермометров геобарометров.

Все более совершенные масс-спектрометры создали основу для быстрого развития геохимии изотопов и применения полученных данных как в геохронометрии, так и для решения разнообразных генетических вопросов, касающихся кардинальных сторон истории земной коры, океанов, атмосферы, органического вещества (изотопия стронция, неодима, серы, кислорода, углерода и др.).

Рис. 29. Разрез Кольской сверхглубокой скважины (по В. С. Ланеву, М. С. Русанову, Ю. П. Смирнову, упрощенно): 1 — авгитовые диабазы с прослоями пироксеновых и пикритовых порфиритов; 2 — туфы и туффиты основного состава; 3 — филлиты, алевролиты с прослоями туфов; 4 — ритмично-слоистые песчаники с подчиненными алевролитами и филлитами; 5 — актинолитизированные диабазы; 6 — доломиты, аркозовые песчаники; 7 — серицитовые сланцы; 8 — метадиабазы; 9 — доломиты, полимиктовые песчаники; 10 — диабазовые порфириты и сланцы по ним; 11 — полимиктовые конгломераты, гравелиты; 12 — биотит-плагноклазовые гнейсы; 13 — мигматизированные и гранитизированные биотит-плагноклазовые гнейсы; 14 — магнетит-амфиболовые сланцы; 15—17 — интрузивные образования (15 — андезитовые порфириты, 16 — верлиты, 17 — габбро-диабазы); 18 — тектонические нарушения. Толщи: I, III, V, VII — мусковит-биотит-плагноклазовых гнейсов (андалузит, ставролит, силлиманит, гранат) с телами амфиболитов; II, IV, VI — биотит-плагноклазовых гнейсов, биотит-амфибол-плагноклазовых гнейсов и амфиболитов

Исключительно быстрыми темпами развивается радиогеохронометрия, используя все новые и новые изотопные соотношения, повышая достоверность и точность получаемых датировок, а с помощью комбинации данных различных методов не только устанавливая возраст, но и раскрывая историю формирования и преобразования изучаемых объектов. Идет успешная «охота за древнейшими породами и минералами. Уже обнаружены цирконы на Земле, на Луне и в метеоритах с возрастом, превышающим 4,0 млрд лет и приближающимся к возрасту формирования Солнечной системы, а породы с возрастом 3,5—4,0 млрд лет обнаружены почти на всех континентах. Точность определения возраста даже древнейших пород достигла первых миллионов лет. Трудно переоценить значение всех этих результатов для восстановления истории нашей планеты с начала ее становления.

Одна из основополагающих и старейших ветвей геологических знаний — стратиграфия — переживает существенное обновление. Благодаря систематическому применению радиометрических методов относительная геохронология заменяется все более точной абсолютной. Важную вспомогательную роль играет магнитостратиграфия, в особенности для континентальных отложений. Применение сейсмостратиграфии выявило выдержанность перерывов и несогласий и обусловило переход к «событийной» стратиграфии. Распространение биостратиграфических исследований на осадочный чехол океанов, ставшее возможным благодаря глубоководному бурению, подтвердило глобальное значение традиционных биостратиграфических подразделений и, вопреки высказывавшимся ранее сомнениям, «естественность» разработанной на основе палеонтологического метода международной стратиграфической шкалы.

Нельзя не сказать о достижениях в области литологии. К самому началу рассматриваемого периода (1960—1961 гг.) относится появление фундаментального труда Н. М. Страхова по теории литогенеза, но этот труд скорее подвел итог всему предшествующему развитию литологической науки. В нем Н. М. Страхов отвел определяющую роль в литогенезе влиянию климатических условий, подробно охарактеризовав особенности осадков аридной, гумидной, ледовой зон. Но Страхов еще не располагал сколько-нибудь представительным материалом по осадочному чехлу океанов. Анализ этого материала был произведен А. П. Лисицыным, который показал, что и в океанах сказывается климатическая зональность, намеченная Страховым для континентальных и мелководных осадков. А. П. Лисицын обосновал также выдающуюся роль подводного вулканизма в океанской седиментации. Тем самым литология впервые стала глобальной наукой, как и другие отрасли геологии.

Привлечение океанских данных привело к существенному пересмотру и дополнению общих представлений не только о составе осадков, но и об условиях их накопления, отраженных в распределении фаций, текстурных особенностях и пр. Наряду с литологией, изучающей прежде всего осадочные породы, возникла седи-

палеонтология — учение о физико-географических обстановках осадконакопления, основывающееся на актуалистическом подходе. Это направление наиболее интенсивно разрабатывается в англо-американской литературе.

Начало эры космических исследований стимулировало появление новой геологической дисциплины — космической геологии. Съёмки поверхности Земли из космоса выявили новые черты структуры земной коры и прежде всего ее крупные линейные неоднородности — линейаменты (термин был предложен еще в 1911 г. американцем У. Хоббсом), а также кольцевые структуры разного масштаба и происхождения, подтвердили существование закономерно ориентированной относительно оси вращения Земли системы разломов и трещин. Картирование из космоса и с самолетов (радарная съёмка) позволило обнаружить черты рельефа, свидетельствующие о былом распространении крупных речных систем в современных пустынях (Сахара), проследить динамику изменения очертаний ледниковых покровов, оценить последствия вулканических извержений и т. д. Таким образом, «дистанционные методы» стали важным дополнением к стандартным методам геологического картирования и геофизического изучения земной поверхности и недр.

Наступление «космической эры» имело еще одно очень важное следствие для развития геологических наук. До этого некоторые геологи — у нас А. П. Павлов, а затем А. В. Хабаков, Г. Н. Каттерфельд — проявили интерес к строению Луны и других планет Солнечной системы, справедливо полагая, что их изучение может способствовать лучшему пониманию строения и истории нашей планеты. Появился даже термин «астрогеология». Однако принципиально новые и достаточно точные данные, доставленные экспедициями на Луне и дистанционными исследованиями Венеры, Марса, других планет и их спутников, уже не могли не привлечь серьезного внимания геологов. Они требовали объяснения в свете опыта геологического изучения Земли, также применения к расшифровке ранних этапов ее истории, поскольку стала выясняться большая древность структуры и рельефа Луны и планет земной группы по сравнению с возрастом нашей планеты. Так на основе геологии возникла более широкая наука — сравнительная планетология. В ее становлении в нашей стране велика заслуга А. Н. Виноградова и его преемника В. Л. Барсукова.

Принципиальные изменения произошли и в области прикладных (не очень точное название) наук. Для развития геологии нефти и газа большое значение имело появление органической геохимии, подтвердившей на молекулярном уровне органическое происхождение нефти, и углубление учения о нефтегазовых осадочных бассейнах. В учении о рудных месторождениях, как отмечалось в предыдущем параграфе, весьма значимым стало применение принципов тектоники плит к металлогеническому анализу, а открытие подводных металлоносных гидротерм пролило свет на условия образования колчеданных месторождений в древних толщах кон-

тинентов. Отметим, кроме того, выделение типов месторождений, связанных с тектонической активизацией (А. Д. Шеглов и др.) и рифтогенезом.

Резко повышается удельный вес исследований инженерно-геологического цикла в связи с обострившимся интересом к проблеме экологии. Во многих развитых странах Европы, где возможность открытия новых залежей полезных ископаемых практически исчерпана, основной задачей геологов ныне является крупномасштабное картирование геологической среды обитания человека. Это, несомненно, становится актуальным и для наиболее обжитых районов нашей страны. Тем самым обозначилось новое научное направление — геоэкология, которая опирается на данные не только инженерной геологии, но и гидрогеологии, геохимии, неотектоники, сеймотектоники и некоторых других геологических дисциплин.

## 7.5. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Несмотря на все успехи тектоники плит в объяснении многих черт строения и развития твердой Земли и ее превращение в руководящую парадигму в науках о Земле, нельзя считать, что данная теория решила все вопросы, стоящие перед этими науками. В настоящее время основное внимание исследователей приковывает обсуждение двух проблем. Одна из них — глубинная геодинамика, а именно процессы, протекающие в переходной зоне от верхней к нижней мантии, на их границе, а также на границе мантии и ядра и даже внешнего и внутреннего ядра. Соответствующие исследования направлены на решение вопроса, является ли конвекция в мантии общемантийной или протекает раздельно в верхней и нижней мантии, или, наконец, один тип конвекции периодически сменяет другой во времени.

Второй, сопряженный с первым вопрос заключается в подлинной роли мантийных струй — плюмов — и положении их корней. Надо напомнить, что концепция мантийных струй и горячих точек была предложена Дж. Т. Вилсоном в 1963—1965 гг. и Дж. В. Морганом в 1971 г. Эта концепция была выдвинута для объяснения явлений внутриплитного магматизма и получила широкое распространение. В основе ее лежит идея о том, что мантийные струи — плюмы (plumes), — зарождающиеся глубоко в мантии, как бы «прожигают» движущиеся на более высоком уровне литосферные плиты, создавая линейные цепи вулканов (в океане — вулканических островов, при погружении превращающихся в гайоты) с закономерным удреиванием их возраста в направлении движения плиты. Эта гипотеза была обоснована на примере Гавайского архипелага и продолжающего его к северо-западу подводного Императорского хребта в Тихом океане и нашла подтверждение на ряде других примеров, однако далеко не всех. Если признать ее справедливость, горячие точки становятся репером, по которому можно определить уже не относительные, а аб-

солютные движения плит по сфере земной поверхности. По мнению многих исследователей, мантийные плюмы, дающие начало горячим точкам, возникают на границе мантии и ядра, в тонком поверхностном слое *D* между ними. Существует и другое мнение — об их зарождении на границе нижней и верхней мантии или даже в верхней мантии. Представляется возможным также, что имеются и более глубокие и менее глубокие плюмы. Остается далеко не ясным, как соотносится мантийная конвекция с адвекцией мантийных струй, чем определяется локализация последних, хотя очевидно, что без допущения определенной роли таких струй — плюмов — внутриплитный магматизм объяснить трудно, если не невозможно.

Вторая из главных проблем современной геологии касается ранней истории Земли. Исходным моментом здесь служит само становление Земли как планеты 4,6 млрд лет назад. В последние годы взгляды специалистов в области планетной космогонии претерпели коренные изменения. Новые факты заставили их вернуться к давно оставленным представлениям об изначально горячей, по мнению некоторых даже полностью расплавленной Земле. Во всяком случае, весьма популярной стала идея о существовании на самой ранней стадии развития Земли у ее поверхности или на небольшой глубине «магматического океана». Все больше данных свидетельствуют и об очень ранней дифференциации Земли на оболочку с выделением ядра, разделением мантии на обедненную и обогащенную так называемыми некогерентными элементами. Приходится допустить и раннее появление на Земле коры, включая кору, близкую к континентальной, — «серогнейсовую». Но вопрос о способе образования этой коры и существовании более древней и более мафической коры нельзя считать вполне решенным. Также нельзя считать до конца решенным и вопрос о начале действия в истории Земли настоящей, т. е. подобной современной, тектоники плит.

Доказанным можно полагать, что такой стиль тектонического развития был характерным уже для позднего архея, т. е. начиная с 3,0 млрд лет. С этого времени известны как офиолиты, так и островодужные магматические комплексы. Что касается среднего (3,0—3,5 млрд лет) и особенно раннего (3,5—4,0 млрд лет) архея, то наряду с большим сходством образований этого возраста, в том числе древнейшего комплекса западной Гренландии, с более молодыми образованиями, формирующимися на активных окраинах океанов, наблюдаются и определенные отличия — отсутствие «настоящих» офиолитов, бимодальность вулканитов зеленокаменных поясов и их нелинейная структура. Все это позволяет полагать, что в это время происходил переход от преобладания плюм-тектоники, характерного для Венеры, к плейт-тектонике, элементы которой, кстати, уже присутствуют и на Венере и которая стала господствовать на Земле не позднее 3,5—3,0 млрд лет. При этом даже сторонники того, что тектоника плит «работала» уже с самого начала архея, т. е. 4 млрд лет назад, признают определен-

ные отличия в ее проявлении от современного. Такие отличия, обусловленные прежде всего более высоким тепловым потоком, который даже в позднем архее еще в три раза превышал современный, наблюдаются и в отношении раннего протерозоя. И только с позднего протерозоя тектоносфера стала развиваться по сценарию, практически не отличимому от современного.

Наряду с этими двумя главными проблемами — глубинная геодинамика и ранняя история Земли — в теоретической геологии наших дней существует значительное число и других достаточно важных и не вполне решенных проблем. Одной из них является время образования пра-Тихого океана — Панталассы — и возникновения фундаментальной диссимметрии Земли, ее разделения на океанское и преимущественно континентальное полушария. Достоверно известно лишь, что гидросфера появилась в начале архея, что уже в архее и тем более протерозое существовали глубоководные бассейны (все это доказывается по текстуре осадков соответствующего времени) и что Тихий океан должен был возникнуть не позднее конца протерозоя. Признаки почти всеобщего осушения площади современных континентов в конце раннего протерозоя, около 1,7 млрд лет назад, подсказывают как будто, что с этого времени, когда в одном полушарии Земли образовался суперконтинент — ранняя Пангея, на другом полушарии должна была обособиться Панталасса — Мировой океан.

Однако в последнее время ряд исследователей, основываясь на сходстве разрезов позднего протерозоя востока Австралии и Антарктиды, с одной стороны, и запада Северной Америки — с другой, пришли к выводу, что еще в начале позднего протерозоя они представляли единый континентальный массив, затем начали разъединяться с образованием континентальной же рифтовой системы и лишь в начале палеозоя между ними открылся океан — прообраз современной Пацифики. Это не означает, конечно, что такого океана не было раньше к западу от Индии, Австралии и Антарктиды, т. е. между Западной и Восточной Гондваной, но этот океан не мог быть непосредственным предшественником Тихого. Данная гипотеза любопытна, но далеко не бесспорна, а ее выдвижение показывает, что проблема нуждается в дальнейшем обсуждении. Тем более это касается причин диссимметрии Земли. Одни считают ее изначальной, ссылаясь на то, что подобная диссимметрия свойственна Луне и другим планетам земной группы, но это маловероятно в свете современных представлений об интенсивном синаккреционном разогреве Земли, ее частичном или даже полном плавлении. Другие связывают эту диссимметрию с процессом образования Луны, третьи усматривают ее причину в глубинных процессах. Многое зависит от решения первого вопроса — о времени возникновения подобной диссимметрии.

Еще одна проблема, продолжающая волновать исследователей, — это причина периодического проявления на Земле великих покровных оледенений — от позднеархейского — раннепротерозойского до позднекайнозойского. Чередование в пределах этих

периодов ледниковых и межледниковых эпох получило, по общему признанию, удовлетворительное объяснение в давно предложенной гипотезе (теперь, уже очевидно, теории) сербского ученого М. Миланковича, связавшего это чередование с изменениями инсоляции, вызываемыми в свою очередь изменениями параметров осевого вращения Земли (прецессии, нутации, изменения наклона земной оси по отношению к плоскости эклиптики). Однако само появление крупных ледниковых щитов требует другого объяснения. Особенно трудно объяснить крупнейшее оледенение конца протерозоя, охватившее, судя по палеомагнитным и литологическим данным, не только высокие, но и достаточно низкие широты.

Ряд очень серьезных проблем связан с возникновением и развитием жизни на Земле. Из них проблема возникновения жизни на Земле относится к числу главных во всем естествознании и имеет огромное мировоззренческое значение. Несмотря на все новейшие успехи молекулярной биологии, она еще далека от своего решения. На долю геологии выпадает определение условий, при которых могла появиться жизнь и которые исчезли позднее, что дало основание провозгласить тезис «все живое рождается только из живого». Огромный интерес вызывает и загадочная вспышка органической жизни на рубеже докембрия и палеозоя, протекавшая в две стадии — появление мягкотелой, но уже разнообразной эднакарской фауны в позднем венде (отдельные формы могли появиться раньше) и скелетной фауны беспозвоночных в раннем кембрии. По этому поводу кембриджский профессор С. К. Моррис недавно констатировал: «...Связное объяснение причины и масштаба ранней радиации метазоа до сих пор отсутствует». Геологами активно обсуждаются условия проявления этой революции, степень ее обусловленности изменениями геологической среды.

Особую проблему представляет проблема великих вымираний и обновлений органического мира, прежде всего на границе мела и палеогена. Смелая гипотеза Л. и У. Альваресов о связи этого события со столкновением с Землей астероида или кометы породила целый поток исследований, которые в конце концов привели к ее подтверждению, но не закончили с альтернативными предположениями и не закрыли ее обсуждение в литературе. Высказываются предположения и о том, что описанный в Библии Всемирный потоп также мог быть вызван событием подобного рода (австрийские ученые А. Толльман и Э. Кристан-Толльман).

Вообще в современной геологической науке понятие катастрофических событий более не представляется реакционным, как то было еще сравнительно недавно. Катастрофы разного рода и масштаба — от бурь, ураганов и наводнений до вулканических извержений типа Кракатау или Пинатубо, крупных землетрясений — несомненно, пронизывали всю историю Земли, и эта история складывалась как из медленных, постоянных изменений, так и из кратковременных и бурных событий, в течение которых структура, рельеф и состав земной коры претерпевали большие изменения, чем за длительные интервалы медленной эволюции. В стратигра-

фии возникло даже новое направление — событийная стратиграфия, основанная на том, что такие события служат естественными стратиграфическими реперами. Но в тектонике все еще продолжается полемика между сторонниками и противниками выделения орогенических фаз и эпох.

Не только объяснение великих вымираний потребовало прибегнуть к вмешательству космического фактора, но и периодичность проявления многих геологических процессов, отраженная, в частности, в цикличности осадконакопления, начиная с сезонной ленточной слоистости и продолжая более крупными циклами. Многие исследователи обратили внимание на совпадение крупных тектонических циклов с временем обращения Солнечной системы по галактической орбите — галактическим годом. Привлекательной представляется мысль о резонансе между изменениями в положении и условиях перемещения Земли в Космосе и эндогенной активности Земли.

Проблема цикличности в истории Земли была поднята на самый высокий уровень установлением крупнейших циклов в истории Земли длительностью 500—600 млн лет, выражающихся в становлении и распаде суперконтинентов — Пангей, из которых первая образовалась еще в конце архея (некоторые предполагают существование еще более раннего суперконтинента).

Цикличность в истории Земли не предполагает отсутствия определенной направленности в развитии ее структуры. Напротив, направленность, поступательная эволюция представляется более важной, чем цикличность, которая лишь осложняет эту направленность, обусловленную двумя факторами — истощением внутренней энергии Земли, запаса флюидов в ее недрах, и возрастанием роли органического мира, ее населяющего. Тем самым роль эндогенных процессов снижается, а экзогенных — увеличивается.

Нерешенные проблемы существуют не только в теоретической, но и в практической геологии. Одна из важнейших — прогноз времени землетрясений, в разработке которого, несмотря на большие усилия ученых и затраченные средства, еще не достигнуто решающего прорыва. Важен и мониторинг других природных катастроф — вулканических извержений, крупных оползней и обвалов. Актуальной задачей остается и разработка прямых методов поисков залежей нефти, и повышение отдачи нефтяных пластов. При участии геологов должны быть найдены рациональные методы добычи рудных залежей на дне океанов. Важной задачей геологов, вместе с другими специалистами, является изыскание способов надежного и безопасного захоронения радиоактивных отходов.

В общем роль экогеологии стремительно возрастает и переходит от контроля за состоянием окружающей среды к мониторингу, т. е. отслеживанию хода ее изменений, и прогнозированию таких изменений и, наконец, к планированию рационального использования этой среды в различных целях — добыча полезных ископаемых, водоснабжение, строительство, отдых и др. — с максималь-

рым сохранением природных условий. Это уже ноогеология, т. е. геология разумная.

Таковы важнейшие, на взгляд авторов книги, проблемы современной геологии, вернее геологических наук в целом. Несомненно, что в ближайшие годы можно ожидать определенных успехов в их разработке. Но крупный прорыв возможен лишь в случае появления новых научных инструментов. Напомним, какое значение для астрономии имело появление телескопа, для биологии и геологии (петрологии) — микроскопа, рентгеноструктурного анализа — для кристаллографии и минералогии, микрозонда — для петрологии, а в наши дни новое поколение компьютеров открыло путь сейсмотомографии — наиболее революционному направлению в современной глобальной геофизике. Большое значение имеют и успехи экспериментальной минералогии, добившейся воспроизведения термодинамических условий, характерных для максимальных мантийных глубин. Развитие компьютерной техники обеспечивает все большие возможности моделирования мантийной конвекции. Накопление сравнительно-планетологических данных повышает возможности расшифровки ранних событий в истории Земли. Таким образом, ростки новых перспективных направлений в развитии наших наук появляются и на наших глазах. Важно еще раз подчеркнуть полезность комплексирования исследований разных направлений для наступления на некоторые решающие рубежи, в частности сейсмологии, геохимии, экспериментальной минералогии, петрологии для изучения процессов, происходящих в пограничных слоях между верхней (средней) и нижней мантией, мантией и ядром, причем в последнем случае большое значение имеют и данные магнитологии — изучения механизма инверсий магнитного поля Земли.

Сейчас, в последние годы второго тысячелетия, появляются основания говорить о наступлении новой революции в геологических науках. Происходит переход от гипотезы тектоники плит, удовлетворительно объяснявшей лишь кинематику самых верхних оболочек Земли и только на протяжении последнего миллиарда лет ее истории и не вскрывшей динамику процессов, к глобальной геодинамике, рассматривающей эволюцию Земли в целом, в течение всей ее истории и в связи с эволюцией Солнечной системы или, по крайней мере, ее внутренних, «каменных» планет. Ростки этой новой концепции, новой парадигмы можно видеть в работах ученых ряда стран, в том числе русских ученых, но наиболее определенно она обрисована в серии статей японских геологов и геофизиков (С. Маруяма, М. Кумазава и др.), совсем недавно опубликованных в первом номере сотого, юбилейного тома журнала Японского геологического общества. Основные положения концепции глобальной геодинамики, сформулированной в этих работах, могут быть сведены к следующему:

1) тектоника плит господствует в коре и верхней мантии; в нижней мантии основным процессом является плюм-тектоника, в

ядре — процесс роста внутреннего ядра за счет внешнего — «тектоника роста»;

2) все эти процессы взаимосвязаны; исходным является погружение холодной литосферы до границы ядра в процессе субдукции, стимулирующее рост внутреннего ядра и подъем горячих плюмов с границы мантия/ядро; в свою очередь этот подъем провоцирует тектонику плит в верхней мантии и коре;

3) в ходе развития Земли тектоника роста сменилась господством плюм-тектоники, а последняя начиная с архея стала вытесняться тектоникой плит;

4) аналогичная эволюция была свойственна и другим планетам земной группы; все они прошли через тектонику роста; Венера в основном переживает плюм-тектонику с элементами плейт-тектоники, Земля — сочетание плюм- и плейт-тектоники, Марс и Меркурий перешли в следующую стадию — тектонику общего сжатия, а Луна и спутники больших планет — завершающую стадию почти полной потери эндогенной активности.

Несомненно, что эта только что предложенная концепция станет в ближайшие годы предметом оживленного обсуждения, но очевидно также, что перед нами первая попытка создания подлинно глобальной геодинамической модели.

## 7.6. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО УЧЕНЫХ-ГЕОЛОГОВ

Началом международного сотрудничества ученых-геологов надо считать Всемирную выставку в Филадельфии (США) в 1876 г., когда сравнение выставленных на ней геологических карт различных стран Европы и Северной Америки наглядно показало необходимость согласования принципов их составления и условных обозначений на основе международно принятой стратиграфической шкалы. Главным образом с этой целью в 1878 г. в Париже была созвана первая сессия Международного геологического конгресса. Начатая работа была продолжена на следующей сессии в Бонне в 1883 г., при активном участии русских ученых. С того времени сессии конгресса стали созываться регулярно, раз в четыре года, за исключением перерывов, связанных с мировыми войнами 1914—1918 и 1939—1945 гг. Столетие созыва конгрессов было отмечено на 26-й сессии в Париже в 1980 г., а в 1996 г. в Пекине намечено провести уже 30-ю сессию.

Три сессии конгресса состоялись в нашей стране: 7-я в 1897 г. в Санкт-Петербурге, 17-я в 1937 г. и 27-я в 1984 г. в Москве. Все эти сессии прошли с большим успехом. Как правило, сессии конгресса собирают в последние годы до 4—5 тысяч делегатов из многих десятков стран мира (см. таблицу).

Традиционно одной из главных задач конгресса является организация работы по созданию геологических карт, для чего была сформирована Комиссия по геологической карте Европы, затем Мира. Этой комиссией было предпринято полнотное издание карты Европы в масштабе 1:500 000, выпущен Геологический ат-

## Международные геологические конгрессы

Сессия	Год	Страна-организатор	Место проведения	Число представленных стран
1	1878	Франция	Париж	23
2	1881	Италия	Болонья	22
3	1885	Германия	Берлин	22
4	1888	Великобритания	Лондон	25
5	1891	США	Вашингтон	26
6	1894	Швейцария	Цюрих	20
7	1897	Россия	Петербург	27
8	1900	Франция	Париж	30
9	1903	Австрия	Вена	31
10	1906	Мексика	Мехико	34
11	1910	Швеция	Стокгольм	36
12	1913	Канада	Торонто	49
13	1922	Бельгия	Брюссель	38
14	1926	Испания	Мадрид	52
15	1929	Южно-Африканский Союз	Претория	50
16	1933	США	Вашингтон	54
17	1937	СССР	Москва	50
18	1948	Великобритания	Лондон	84
19	1952	Алжир	Алжир	82
20	1956	Мексика	Мехико	105
21	1960	Дания	Копенгаген	101
22	1964	Индия	Нью-Дели	109
23	1968	Чехословакия	Прага	103
24	1972	Канада	Монреаль	110
25	1976	Австралия	Сидней	85
26	1980	Франция	Париж	116
27	1984	СССР	Москва	110
28	1989	США	Вашингтон	110
29	1992	Япония	Киото	85
30	1996	Китай	Пекин	

ас Мира в масштабе 1:10 000 000, настенная Геологическая карта Мира того же масштаба. В 1956 г. по инициативе русских ученых при этой комиссии была образована подкомиссия по тектоническим картам, работающая в Москве под руководством русских ученых. Ею опубликованы два издания Международной тектонической карты Европы в масштабе 1:2 500 000, готовится 3-е издание. Международная тектоническая карта Мира в масштабе 1:15 000 000, ведется работа над тектонической картой Азии. Вышли в свет подобные карты Северной и Южной Америки, Африки, Австралии.

Успешно работают при конгрессе комиссии по отдельным стратиграфическим системам, занятые определением их границ и ярусного деления, по структурной геологии и др.

Однако периодическое проведение сессий МГК не полностью обеспечивало постоянство контактов между геологами разных

стран и специальностей. С этой целью в 1960 г. был создан Международный союз геологических наук, одним из вице-президентов которого традиционно является представитель России (ранее — Советского Союза). Аналогичный Союз ученых в области геофизики и геодезии был образован в 1965 г., после успешного проведения в 1957—1958 гг. Международного геофизического года. Этот союз также регулярно проводит свои съезды, именуемые ассамблеями; последняя состоялась в Боулдере (США) в 1995 г.

Международный геофизический год дал старт серии крупных международных научных проектов, разрабатываемых совместными усилиями обоих научных союзов, работающих в области наук о Земле (оба они входят в состав Международного союза научных союзов). Первым таким проектом явился Проект верхней мантии; инициатором его был русский ученый В. В. Белоусов, активный участник Международного геофизического года и первый председатель Межведомственного Геофизического комитета при Академии наук СССР. Этот проект разрабатывался в 60-е годы; ему на смену пришел Геодинамический проект, разработка которого заняла следующее десятилетие. С начала 80-х годов исследования проводятся по международной программе «Литосфера», включающей несколько научных направлений. Все эти направления, как и работы по предыдущим проектам, объединяют усилия специалистов разных научных дисциплин — геологов, геофизиков и геохимиков.

Более определенную геологическую направленность имеют исследования по Международной программе геологической корреляции (МПК), начатые в 1972 г. и продолжающиеся при поддержке ЮНЕСКО. К настоящему времени закончены или продолжаются работы по более чем тремстам проектам МПК; ряд из них был выдвинут и возглавляется русскими учеными.

Необходимость прогнозирования изменений климата и оценки их возможного влияния на человечество недавно вызвала к жизни еще одну научную программу, в которой задействованы геологи — «Глобальные изменения» (Global Change).

В последние десятилетия успешно функционируют, наряду с международными, региональные объединения ученых континентального масштаба — европейские и североамериканские. Европейские геологи периодически собираются на съезды европейских геологических обществ (первый съезд состоялся в 1975 г. в английском городе Рединге), а также на съезды европейских геологов в Страсбурге, где они проводятся каждые два года начиная с 1982 г.

В рамках программы «Литосфера» и при поддержке Европейского фонда научных исследований, при активном участии русских геологов и геофизиков осуществляется программа «Европроба», предусматривающая комплексное изучение глубинного строения Европейского континента. С программой «Литосфера» связана также работа по составлению глубинных профилей — трансектов

через континенты; некоторые из них перескажут территорию Рос-

Три мощных объединения специалистов в области наук о Земле действуют в Северной Америке — в США, Канаде и Мексике. Это Американское геологическое общество, отметившее в 1988 г. свой столетний юбилей, Американский геофизический союз, 75 лет которому исполнилось в 1994 г., и Американская ассоциация геологов-нефтяников. Они проводят по две научные сессии в год, собирающие по несколько тысяч участников. В последнее время некоторые из этих сессий проводятся и на других континентах — в Европе, Азии.

Выше уже говорилось о Программе глубоководного бурения, в которой принимают участие специалисты США, Канады, европейских стран и Японии.

Своеобразным международным полигоном стала Антарктида, в геолого-геофизическом исследовании которой интенсивно участвуют Россия, США, Великобритания, Япония, Австралия, Новая Зеландия и некоторые другие страны. Концентрируют свои усилия в изучении Арктики Россия, США, Канада и скандинавские страны.

Некоторые проекты объединяют страны не всего континента, а отдельных его крупных регионов, например Карпатско-Балканская геологическая ассоциация в Центральной и Восточной Европе. В свое время Украина и бывшие социалистические страны Восточной Европы успешно совместно провели крупные исследования по глубинному сейсмическому зондированию земной коры.

Все более широкое распространение получает практика двух- и трехсторонних совместных геолого-геофизических проектов, например франко-американское и франко-индийское сотрудничество и др.

Совершенно очевидно, что нарастающее международное сотрудничество ученых-геологов в огромной степени способствует прогрессу наук о Земле. Дело не только в обмене свежей информацией и идеями на различных научных форумах, но еще более важна возможность ознакомиться непосредственно в поле с различными геологическими объектами, позволяющая судить о них не понаслышке, а по собственным впечатлениям. Немаловажное значение имеет установление личных контактов между учеными, работающими над одинаковыми или сходными темами. Часто плодом таких контактов позже являются совместные публикации в международных журналах, число которых все возрастает.

Политические изменения последних лет, произошедшие в нашей стране, значительно способствовали интеграции русских геологов в мировое сообщество ученых в области наук о Земле и уже положительно сказываются в повышении общего уровня проводимых у нас исследований.

## Раздел II. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

### Глава 8. ОСОБЕННОСТИ НАУКИ

#### 8.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «НАУКА», ОБЪЕКТ, ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Уже не одно столетие слово «наука» прочно ассоциируется со словом «цивилизация». Общественный прогресс привычно понимается как процесс научно-технической революции. Наука уже несколько веков, по крайней мере в европейской цивилизации, претендует на то самое место, которое должна занимать высшая человеческая мудрость. Предпосылкой и условием возникновения научного мышления послужило общественное разделение труда. На базе духовного труда была создана наука, на основе достижений которой стало бурно развиваться материальное производство, вся многообразная жизнь людей.

Наука представляет собой сферу человеческой деятельности, функцией которой являются выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности. *В широком смысле слова — это одна из форм общественного сознания, представляющая собой исторически сложившуюся и непрерывно развивающуюся на основе практики систему знаний о природе, обществе и мышлении, об объективных законах их развития.*

По способу изучения научные исследования подразделяются на *теоретические и эмпирические*. Теоретические исследования направлены на создание теоретических моделей объектов или явлений, которые в логической форме отображают объективные связи объективно существующего мира. Эмпирические исследования включают в себя все формы познавательной деятельности, осуществляемой с помощью экспериментов и наблюдений, в целях получения новой научной информации об изучаемом объекте. Теоретические и эмпирические исследования тесно связаны между собой, поскольку, с одной стороны, без теоретического обобщения невозможен целенаправленный эксперимент, с другой стороны, теоретические обобщения нуждаются в экспериментальной проверке.

По области использования результатов научные исследования делятся на *фундаментальные и прикладные*.

Фундаментальные исследования в свою очередь подразделяются на собственно фундаментальные, цель которых — открытие основополагающих новых законов природы, и целенаправленные фундаментальные исследования, ориентированные на конкретные изыскания и разработки новых способов и средств познания процессов или явлений. Собственно фундаментальные исследования, как правило, составляют небольшой процент от общего объема научных исследований. Новые фундаментальные открытия чрезвычайно трудно предвидеть даже в самых общих чертах. Открытие может обладать значительной фундаментальностью, но не иметь в данный исторический момент никакого практического приложения, вследствие чего в науке планируется не открытие, а направление ведения поиска. Результаты целенаправленных фундаментальных исследований, как правило, могут быть непосредственно использованы при проведении работ прикладного характера. По оценкам специалистов, вероятность получения практически применимых результатов составляет 50—70%. По мнению Ю. Б. Татарина (1986), научная значимость (фундаментальность) конечного продукта исследований — это его место в иерархическом ряду существующей системы знаний, определяющей общую картину мира. Научная ценность определяется внутри самой науки.

Прикладные научные исследования направлены на непосредственное создание новых технических средств, технологий, предметов потребления, имеющих конкретное практическое применение в различных отраслях науки и техники. Прикладные исследования базируются на результатах фундаментальных исследований, т. е. на уже известных законах.

При проведении научного исследования необходимо наметить объект, способ его изучения и целевое назначение изысканий. Любой материальный объект обладает бесконечным числом переменных характеристик и представляет собой интегральную систему, в которой взаимодействуют составляющие его компоненты. Например, объектом изучения геологии является Земля в целом, любые ее неоднородности (оболочки, слои, горные породы, минералы, кристаллы), представляющие собой сложные интегральные системы, взаимодействующие между собой. Предметом исследования являются отдельные характеристики объекта, т. е. любой геологический предмет исследования представлен в виде научной идеализации (модели), позволяющей изучать определенные свойства объекта.

Научное исследование должно быть целенаправленным. Исследователь должен знать, что именно нужно изучать, какую решать проблему, сформулировать задачу и наметить пути и средства, необходимые для ее решения в рамках существующей проблемы. Проблемная ситуация в науке возникает в том случае, когда объяснение того или иного явления невозможно на основе старого знания.

Важной особенностью научного поиска является метод познания. Метод представляет собой способ исследования явлений, который включает в себя различные теоретические и технические средства познания, ведущие к получению новой информации. Выделяют общие и частные (специальные) методы исследования.

Совокупность методов, направленных на проведение какого-либо исследования, называется *методикой* (например, методика геологического картирования и т. д.).

Важную роль в развитии науки играет *методология* — учение о приемах и методах любого научного исследования, принципах построения, формах и способах познавательной деятельности. Методология определяет логическую систему (структуру) познания действительности, адекватное отражение ее в сознании в виде понятий, суждений, гипотез, теорий. Методология абстрагируется от специальных методов, специальных познавательных задач, от изучения особенностей объекта исследований, от индивидуальных качеств исследователя. Она устанавливает и формирует общие черты научной деятельности и является составной частью интеллектуальной культуры специалиста. Если ученый предпринимает специальные усилия, чтобы поставить новую задачу, или ищет новый метод ее решения, если он дает новую формулировку предмета науки или определяет новое правило для некоторой исследовательской работы, создает новые исследовательские программы, он занимается методологической деятельностью.

## 8.2. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ НАУКИ, ПОНЯТИЕ О НАУЧНЫХ РЕВОЛЮЦИЯХ

Естествоиспытателями и историками науки к настоящему времени написано много работ по истории становления отдельных проблем, направлений и отраслей естественных наук. Одной из острых и дискуссионных является проблема научного знания и определяющих факторов развития науки. Она обсуждалась в работах В. И. Вернадского, Дж. Сартона, А. Койре, Дж. Берналла, Б. М. Кедрова, Т. Куна, К. Поппера, С. Р. Микулинского и многих других исследователей. Существуют различные взгляды на развитие науки вообще и геологии в частности.

Одна из точек зрения базируется на представлении о линейном развитии науки. При этом подразумевается, что научные знания строятся путем накопления фактического материала по принципу кирпичной кладки. Нарастивание знаний создает фундамент становления научной теории. Но сам по себе фактический материал не представляет никакой научной ценности, если он не несет в себе теоретической нагрузки. Любая наука вступает в фазу зрелости с того момента, когда осознается необходимость причинного объяснения фактических данных. При этом наращивание, аккумуляция фактического материала, согласующегося с выбранной моделью, не приводят к развитию научных знаний, а лишь делают правдоподобной существующую точку зрения.

Модель нелинейного, скачкообразного принципа развития науки предполагает, что главным стимулом развития науки является не простое накопление фактического материала, а получение фактов, не укладывающихся в рамки существующей концепции. По мнению Т. Куна, «нормальная наука», на развитие которой вынуждено тратить все свое время большинство исследователей, основывается на допущении, что научное сообщество знает, каков окружающий нас мир, т. е. руководствуется идеей (парадигмой), признаваемой большинством, которая в течение определенного времени дает модель постановки проблемы и ее решение. Если исследователь не может объяснить то или иное явление в рамках существующей парадигмы, возникает аномалия, которую не удастся объяснить в рамках профессионального образования. Преодоление аномалий заставляет искать новые пути исследования, которые приводят к новому базису научного познания. Происходит скачок, переход к изучению явления с новых теоретических позиций на базе новой парадигмы. Смена парадигмы в развитии науки отвечает научной революции.

Создание новой парадигмы — это не простое приращение знаний, это прежде всего перестройка мировоззрения, часто связанная с трагедией отдельных научных сообществ или личностей. Т. Кун показал, что аномалия появляется только на фоне парадигмы. Чем более точна и развита парадигма, тем более чувствительным индикатором она выступает для обнаружения аномалий, преодоление которых в свою очередь приводит к смене парадигмы. При этом надо иметь в виду, что парадигма включает в себя и определенное заблуждение.

О переломных моментах в развитии науки еще в 1926 г. писал В. И. Вернадский. Он отмечал, что на фоне спокойного развития науки отмечаются периоды лавинообразного открытия новых явлений, возникновения новых идей, позволяющих дать совершенно необычную интерпретацию фактического материала. Революционный переворот в науке происходит не мгновенно, требуется определенное время, чтобы сказалась созидательная сила новых идей. Новые идеи разрушают привычное миропонимание ученых, поэтому чаще всего они находят понимание и поддержку у нового поколения.

Известно, что работы И. Ньютона не признавались в течение нескольких десятилетий. Ч. Дарвин после доклада, содержащего основные положения своей теории происхождения видов, писал: «... Хотя я убежден в истинности своих воззрений, я никоим образом не надеюсь убедить опытных натуралистов, умы которых переполнены множеством фактов, рассматриваемых ими в течение долгих лет с точки, противоположной моей... Но я смотрю с доверием на будущее молодое поколение натуралистов, которое будет в состоянии беспристрастно взвесить обе стороны вопроса». М. Планк в своей научной биографии с грустью отмечал, что «новая научная истина прокладывает дорогу к триумфу не посредством убеждения оппонентов и принуждения их видеть мир в новом

свете, но скорее потому, что оппоненты рано или поздно умирают, вырастает новое поколение, которое привыкло к ней». История геологии подтверждает эти высказывания.

В связи с этим возникает вопрос о преемственности научных знаний. Новая парадигма не отрицает завоеваний прежних научных концепций. Она использует весь багаж знаний, добытый предшественниками, но критически переосмысливает его, исходя из постулатов новой концепции. Устаревшие теории нельзя считать ненаучными только на том основании, что они были отброшены, поскольку научное развитие нельзя рассматривать как простое приращение знаний. И. Ньютон, оценивая свой вклад в науку, говорил, что смог сделать столь много и видеть столь далеко потому, что стоял на плечах гигантов. В связи с этим надо рассматривать значимость научных идей И. Ньютона не только по отношению к современным научным достижениям, но и прежде всего по соотношению его идей с идеями научного сообщества, развивавшимися ранее. В связи с этим, по мнению В. И. Вернадского, эпохи интенсивного развития новых знаний имеют созидательный характер. Старые знания не разрушаются, им придается новое понимание.

Как правило, научные революции, новые парадигмы определяют более совершенные методы исследования. Более высокий уровень данных, полученный с приходом этих методов исследования, часто служит в свою очередь отправной точкой появления новой парадигмы. В этом проявляется закон обратной связи.

Влияние методов исследования на развитие теории науки можно проследить на истории геологии и других наук. Например, появление поляризационного микроскопа, изобретенного Г. Сорби, дало в руки геологов универсальный метод исследования горных пород, по результативности и эффективности равного которому не было за всю предыдущую историю геологий. Геологи получили возможность детально изучить минеральный состав горных пород, выявить условия их образования, проследить характер их изменения под действием эндогенных и экзогенных процессов.

Появление микронзонда на современном этапе развития создало принципиально новые возможности изучения эволюции вещества во времени и в пространстве. Исследования, проводимые на уровне фрагментов отдельных зерен, позволили установить локальные закономерности, условия и последовательность их формирования. Подобных примеров можно привести множество.

Все это указывает на то, что логическая линия развития науки определяется многими факторами. Эволюционно-революционный нелинейный характер развития науки обуславливается как логикой развития самого научного познания, так и внешними факторами.

Происходили ли научные революции в геологии? Насколько во многом базирующиеся на экспериментальных данных достижения

геологии отвечают критериям научности, другими словами — является ли геология подлинной наукой и на каком этапе своего развития она находится? Эти и многие другие вопросы служат предметом острой дискуссии среди геологов. Ответы на эти вопросы можно получить путем анализа истории геологии на фоне общих закономерностей развития естествознания в целом. Поэтому мы к ним вернемся в конце данной книги.

### 8.3. ВЗАИМОСВЯЗЬ НАУК. НАУКИ — ЛИДЕРЫ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Одной из особенностей развития современной науки является ее интегральный характер. Он обусловлен тем, что отдельные объекты исследования изучаются целым комплексом научных дисциплин, каждая из которых дает частную модель какого-либо объекта. В ходе обсуждения отдельных моделей выявляются общие точки соприкосновения, позволяющие объединить данные различных наук, первоначально, казалось бы, мало связанных между собой, и создать более совершенную и полную модель изучаемого объекта. Таким образом, взаимосвязь наук, их взаимное проникновение являются ведущей тенденцией развития науки. Поэтому история развития естествознания рассматривается не как сумма знаний отдельных ее отраслей, а как закономерно изменяющаяся во времени целостная система знаний, генетическая сторона развития которой определяется взаимодействием отдельных ее отраслей.

Б. М. Кедров, рассматривая закономерности развития естествознания, показал, что движение вперед научного познания происходило не сплошным ровным фронтом, а путем выдвигания вперед в качестве лидирующей попеременно то одной, то другой области знаний. Лидирующая наука на данном отрезке времени определяет развитие остальных наук. Достижения в этой области дают толчок развития всему естествознанию в целом. В итоге одиночный лидер сменяется групповым. Однако через определенный промежуток времени на фоне группового лидера начинает выделяться новый одиночный лидер научного прогресса. Через некоторое время ситуация повторяется на более высоком уровне развития науки.

Смена лидера определяет резкий скачок в развитии науки и зарождение этого развития. В связи с этим темпы смены лидера ускоряются во времени. Выдвижение одиночного лидера по отношению ко всем остальным отраслям естественных наук детерминруется социальным уровнем развития общества и внутренней логикой развития самого научного познания (Кедров, 1985).

На первых порах развития естествознания в XVII и XVIII вв. основные достижения науки были связаны с механикой. Это определялось уровнем развития техники и производственной необхо-

димостью, когда открытые законы механического движения широко использовались в практике (механика облегчала ручной труд, давала возможность изучать реальные природные процессы на новом техническом уровне). Многие достижения в медицине, химии и других науках основывались на знании законов механики.

К началу XIX в. механика утратила роль лидера естествознания, которое изменило свой первоначально механистический характер. Успешно начали развиваться физика и химия, электрохимия, органическая химия, биология, геология и другие отрасли естествознания. До конца века химия, физика, биология определяли развитие науки и являлись своеобразным групповым лидером естествознания.

В конце XIX — начале XX в. благодаря успехам физики микромира произошла научная революция. Физика в течение первой половины XX в. стала единоличным лидером естествознания, определяющим развитие химии, астрономии, биологии, геологии и других наук.

В середине XX в. на смену единоличному лидеру естествознания — физике — пришел групповой лидер, в качестве которого выступили кибернетика, биология, космонавтика, физика. Развитие этих областей знания стало поворотным моментом в развитии естествознания и привело к новой научно-технической революции.

Если взять за основу темпы развития естествознания, связанные с продолжительностью господства одиночного и группового лидеров, выявленные Б. М. Кедровым, то в настоящее время в преддверии XXI в. мы находимся на этапе смены группового лидера одиночным, поскольку смена лидеров в науке каждый раз происходила в два раза быстрее по отношению к предыдущему этапу.

Действительно, признаки научной революции в естествознании угадываются при анализе современного состояния науки. Они проявляются в сближении гуманитарного и естественного комплексов наук, базирующихся на представлении о принципиальной нелинейности реальных процессов, среди которых имеется узкий спектр явлений линейной природы, считавшихся ранее общераспространенным.

В настоящее время уже недостаточно открыть новые законы и понять, как работает система в принципе. Более важным становится выяснение того, каким способом эти принципы проявляют себя в реальности, поскольку самые точные фундаментальные законы действуют в реально существующем мире. Любой нелинейный процесс приводит к бифуркации, при которой система может выбрать ту или иную ветвь. Предсказать этот выбор невозможно, поскольку самая малая, казалось бы незначительная, неточность в начальных условиях может повлиять на последующее ее поведение. Сегодня ученые достаточно определенно знают траекторию планет и искусственных спутников, но рано или поздно начальные

численные параметры движения этих объектов изменяются и становятся непредсказуемыми. Другими словами, система выходит под контроля и ведет себя хаотично. Это означает, что применение линейных законов теперь недостаточно, и появляется необходимость выяснить поведение системы, опираясь на законы нелинейной динамики. Подобные задачи были хорошо известны математикам и физикам, но лишь в середине 70-х годов нашего столетия появилась надежда, что нелинейные процессы не лежат за пределами систематизации и научной классификации. Решение было предложено американским математиком Б. Мандельбротом, который при изучении геометрических фигур произвольной сложности и неупорядоченности выделил закономерно повторяющиеся геометрические формы, вид которых не претерпевает существенных изменений при разных масштабах наблюдения. Эти самоподобные структуры были названы им в 1975 г. *фракталами*. В отличие от традиционных геометрических фигур целой размерности (например, одномерных линий или двумерных поверхностей), фракталы имеют дробную делимость. Понятие «фрактал» стало особенно популярным после публикации в 1983 г. монографии Б. Мандельброта «Фрактальная геометрия природы».

Оказалось, что инвариантность по отношению к масштабу имеет примечательную параллель в современной теории хаоса. Хаотические явления, такие, как турбулентность атмосферы, динамика океана и другие природные процессы, подобно фракталам проявляют сходные структурные закономерности в различных пространственных масштабах. Таким образом, язык фракталов позволил наметить пути от хаоса к детерминированному хаосу, когда с определенной степенью вероятности удается понять механизм развития нелинейных процессов.

На современном этапе неравновесная термодинамика И. Р. Пригожина положена в основу новой парадигмы естествознания, опирающейся на процессы самоорганизации вещества, фрактальности изучаемых объектов, которая является основой новой науки *синергетики*. Термин «синергетика» в переводе с греческого языка означает согласованное действие. Один из создателей синергетики Г. Хакен писал: «Я назвал новую дисциплину «синергетикой» не только потому, что в ней исследуются совместные действия многих элементов систем, но и потому, что для общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин».

В этих согласованных действиях (синергетических знаниях) особое место будет принадлежать геологии как науке, охватывающей понятие глобальные аспекты развития нашей планеты, опирающейся на изучение процессов самоорганизации вещества Земли в целом и ее отдельных оболочек; науке, которой во многом предстоит определить экономическое процветание и экологическую безопасность нашей цивилизации.

## Глава 9. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 9.1. СТРАТЕГИЯ НАУЧНОГО ПОИСКА: ФИКСАЦИЯ ПРЕДМЕТА ПОИСКА, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одной из главных задач методологии является определение логики построения научного исследования. При этом надо иметь в виду, что сама методология ни в коем случае не может подменить собой научный поиск. И. Р. Пригожин писал, что ученые выражали изумление по поводу того, что при правильной постановке вопроса им удается разгадать любую головоломку. Но какую работу можно назвать научной? Если следовать принципам Т. Куна, то большинство исследователей в ходе развития «нормальной науки» занимаются сбором материала в рамках существующей парадигмы, направляя весь свой творческий потенциал на преодоление известных и вновь появляющихся аномалий, не вмещающихся в прокрустово ложе руководящей идеи. Путь преодоления аномалий приводит к укреплению и совершенствованию парадигмы или (обычно позднее) полному отказу от нее, т.е. научный поиск направлен на добывание новых знаний, которые приводят к развитию существующей или становлению новой модели. Проведение исследований в рамках существующей модели по определенной методике представляет собой типичную производственную работу; проведение же научной работы без исходной модели непрофессионально.

Любое научное исследование начинается со стратегии поиска, которая включает определение предмета поиска, постановку проблемы или выбор задачи в рамках существующей проблемы, направление (алгоритм) поиска и его организацию. Результат поиска может быть как положительным, так и отрицательным. При правильно проведенном исследовании последний может иметь не меньшую ценность для науки.

Научная работа всегда начинается с постановки задачи, которая своим результатом выводит нас на решение проблемы. Без точной формулировки задачи научное исследование осуществить невозможно.

Проблемой называется осознанное противоречие между имеющимся знанием, существующей моделью явления или процесса и непознанной ее частью, аномалией, на преодоление которой направлена деятельность ученого. Для решения проблемы необходимо получить новое знание, которое либо совершенствует имеющуюся модель, либо меняет наши научные представления. Просто незнание не может являться проблемой, поскольку, если исследователь не знает, что он должен искать, то он не может оценить результаты своего поиска.

Например, «проблема офiolитов», существующая в настоящее время в геотектонике, несет в себе смысловую нагрузку, понятную

специалистам-геологам, и включает многие нерешенные задачи петрологии, тектоники, геодинамики и других разделов геологии. Исследователи, зная масштабы и спорные вопросы этой проблемы, принимая ту или иную трактовку, например геодинамической обстановки формирования офиолитов и их положения в современной структуре складчатых поясов, ставят конкретные задачи, решение которых в той или иной степени может дать ответ на спорные вопросы.

Сформулировать задачу в рамках проблемы — значит определить цель, средства и методы исследования. Разумеется, задачи исследования и сама реализация их должны быть обоснованы и оправданы в зависимости от наличия средств. Решение задачи, как правило, предполагает конкретный ответ. Если не разработаны методы, то усилия направляются на их разработку. При этом работа носит методический характер, поскольку ставятся методические задачи.

Методологические задачи предусматривают выработку правил создания самих методов и средств изучения предмета и определяют требования к ним.

Теоретический тип задач предполагает составление теоретических моделей и последующую их апробацию на реальном материале. Упомянутые типы задач часто взаимодействуют между собой и решаются параллельно, хотя содержание и назначение их различно. Например, в структурной геологии существует большое число методов обработки проявлений деформаций горных пород (трещиноватости, зеркал скольжения, разломов и других структур). Выяснение возможности и области применения этих методов или разработка новых на конкретных объектах представляет собой методическую компоненту исследования. Выявление на фоне массива данных того класса деформаций, которые несут максимально полезную информацию о структурах соответствующего ранга в сложноструктурированной среде, т. е. определение границ применения тех или иных методов и выявление условий их применения, представляет собой методологическую компоненту исследования. Обоснование рангового подхода, составление модели среды и прогнозирование процессов в ней отвечают теоретической задаче.

Ясно, что без решения всех типов перечисленных частных задач невозможно получить корректное общее решение проблемы структурного парагенеза. Вместе с тем практика показывает, что в разные периоды времени интерес к исследованию тех или иных задач может повышаться или ослабевать. На первых порах в выявлении условий образования структур различного типа преобладали методические разработки М. В. Гзовского, Г. Рамберга и их последователей. Ими были предложены разнообразные методы изучения структурного рисунка и кинематических условий его формирования в исходной однородной среде. На следующем этапе возник вопрос о принципиальной возможности применения традиционных методов к условиям сложноструктурированных

сред. Методологические разработки этого направления вышли тем самым на передний план. В работах М. А. Садовского и его последователей были исследованы свойства реальных геологических сред и показано, что их однородность является результатом грубого осреднения или может рассматриваться как частный случай.

В настоящее время возник вопрос о разработке модели структурообразования в сложноструктурированной среде, основанной на процессах самоорганизации вещества и фрактальной (дробной) делимости литосферы, т. е. на первый план теперь выходит решение чисто теоретической задачи. Опыт составления подобных моделей в теоретической механике показал, что изучение процессов самоорганизации вещества в неоднородных средах требует разработки новых методов исследования, новой методологической базы.

Подобных примеров в геологии можно привести множество. Ясно, что проблема структурообразования включает решение различных типов задач и успех научного поиска зависит от их комплексного разрешения.

## 9.2. ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОСНОВЫ ЕЕ ПОСТРОЕНИЯ

Решение научной проблемы начинается с разработки гипотетической модели, т. е. делается предположение о ходе процесса, явления или их результатах, которые необъяснимы на основе прежнего знания. Поскольку любой объект обладает бесчисленным множеством характеристик, модель строится как идеализация реальных объектов, которые лишь по каким-либо признакам, параметрам подобны исходным. Один из основоположников кибернетики Н. Винер писал, что лучшая материальная модель кошки была бы сама кошка, но пользы от такой модели было бы немного. Следовательно, гипотеза представляет собой предположительно новое знание о некоторых свойствах объекта, истинность или ложность которых еще нужно доказать. Характерно, что для решения или толкования одного и того же вопроса может быть выдвинуто несколько конкурирующих гипотез. Например, в геотектонике существует большое количество гипотетических моделей развития литосферы. Одна группа моделей опирается на преимущественное развитие вертикальных тектонических движений, другая — отдаст предпочтение горизонтальной компоненте тектонических движений. Выбор между конкурирующими гипотезами обычно обосновывается фактическим материалом. Как правило, каждая из гипотез имеет в своем потенциале достаточный набор убедительных аргументов, но никакое количество опытных подтверждений не гарантирует истинности гипотезы, а делает ее только более правдоподобной.

Любая гипотетическая модель, выдвинутая с учетом всех оптимальных характеристик явления или процесса, имеет пределы своего применения. Доверительность гипотетической модели определяется рангом изучаемого объекта и временным диапазоном ее реализации. Например, процессы, протекающие в кристалле, ми-

Герале, горной породе, блоках и оболочках земной коры, происходят по-разному, и результаты зависят от величины неоднородности. Если на основе многолетних наблюдений сделан вывод о связи сейсмичности с определенной зоной разлома, то мы можем лишь утверждать, что в рассмотренный промежуток времени все гипоцентры расположены вдоль этой зоны разлома и наша модель действует только в выбранном нами временном диапазоне. На более протяженном участке этого разлома и за другой промежуток времени процессы сейсмичности могут иметь совершенно отличную динамику. Процесс обоснования гипотезы, связь тезиса с аргументами должны подчиняться правилам логики.

Перспективность выдвинутой гипотетической модели, ее развития определяется и теоретической и практической проверкой. Практическая проверка гипотетической модели предусматривает проведение эксперимента, положительные или отрицательные результаты которого указывают на применимость гипотезы или ее ложность в конкретных условиях. Теоретическая проверка основывается на создании новых гипотетических моделей, учитывающих различные свойства идеальной модели изучаемого явления или процесса. Взаимодействие этих моделей позволяет предсказать свойства, еще не реализованные в эксперименте. Предсказательная функция гипотетической модели лежит в основе возникновения теории. В ходе развития гипотезы она может расширять область своего действия, исключать ложные посылки, включать новые гипотетические модели.

### **9.3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОСНОВЫ ЕЕ ПОСТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ**

Логическим развитием гипотетической модели является ее переход в категорию теоретической. Однако не каждая гипотеза обязательно становится теорией. Теоретическая модель должна обладать экспликативной (объяснительной) и предсказательной функциями.

Последнее свойство теоретической модели основано на том, что теоретические исследования возникают на базе внутренней логики развития гипотетической модели и выходят далеко за пределы области установленных эмпирических данных. Предсказательная функция теоретической модели позволяет предвидеть неизвестные ранее явления и их свойства. Например, постулаты теории тектоники литосферных плит позволили предсказать возраст океанского дна по линейным магнитным аномалиям и закономерности его изменения с увеличением расстояния от оси срединно-океанского хребта.

Теоретическая модель предполагает также открытие новых понятий и явлений, которые не могут быть объяснены на базе существующей системы знаний и противоречат им. Объяснение подобных явлений требует развития существующей модели или создания новой теоретической модели. Так, в геодинамике модель

двухъярусной тектоники плит, предложенная Л. И. Лобковским, позволила снять противоречия ранее существовавшей в рамках классической теории тектоники плит модели областей коллизионной тектоники при региональных исследованиях.

Теоретическая модель представляет собой достаточно полную, внутренне непротиворечивую систему новых логически истинных идей. Теория должна объективно отражать действительность, отвечать требованиям полноты, непротиворечивости, новизны, доказательности, фактоустойчивости, возможно большей простоты и эффективности. Это достоверное развивающееся научное знание о некоторой совокупности объектов, представляющее собой систему взаимосвязанных утверждений и доказательств, которая позволяет предсказать или объяснить явления данной предметной области.

Для создания теоретической модели необходимо: сформулировать проблему, для решения которой создается теория; выдвинуть гипотезу; определить законы, на основании которых можно объяснить аномальные явления; сформулировать новую проблему как перспективу развития предлагаемой модели.

Любая теоретическая модель направлена на изучение идеализированного объекта, который является абстракцией, поэтому необходимо установить предел данной модели, на каком этапе она может исчерпать свои возможности. Если аксиомы (постулаты), положенные в основу теоретической модели, верны, то модель и прогнозируемые теоретические следствия не нуждаются в проверке. В случае, когда какой-либо из постулатов подвергается сомнению, то изменяется и сама теоретическая модель. На смену существовавшей приходит более общая теория, базирующаяся на новых постулатах. Следовательно, опровергнуть теоретическую модель или изменить области ее применения возможно разработкой новой модели или модификацией старой модели путем введения новых критериев ее реализации.

Наличие руководящей теоретической модели оказывает решающее влияние на экспериментальные и теоретические исследования. Экспериментальные исследования направлены на изучение явлений, наиболее показательных для раскрытия сути теоретической модели. При этом, по мнению Т. Куна, ученые вкладывают весь свой творческий потенциал и часто завоевывают себе известность не за новизну, а за точность, надежность метода. Например, использование палеомагнитных данных, полученных в сложно-построенных складчатых поясах, потребовало разработки новых методических приемов, которые сами по себе являются достижениями. Применяя их, удалось уточнить положение отдельных структурных элементов земной коры в ретроспективном плане на палинпастической основе. Экспериментальные исследования проводятся также в целях решения неясных проблем. В этом случае успех, как правило, зависит от технического уровня проведенной работы и методики интерпретации. В рамках принятой моде-

осуществляется комплекс производственных работ, направленных на получение фактического материала. При теоретических следованиях уточняется сама теоретическая модель, устраняются ее противоречия, проверяются ее предсказательные свойства.

Геология, как и все естественные науки, работает с моделями, в той или иной степени отражающими свойства реального объекта. Все геологические явления и процессы подчиняются строгим законам механики, физики, химии и других «точных наук», но сами по себе геологические объекты сложны, многофакторны, имеют интерференционную природу и несут в себе разнокачественные характеристики. Создание теоретической модели интегрального объекта всегда вызывает большие трудности и требует высокой зрелости самой научной дисциплины.

Успехи геологии на протяжении долгого времени базировались в основном на добычании и обработке фактического материала, поэтому геологические гипотезы и теории имели чисто индуктивную природу. Путь построения теории непосредственно на базе фактического материала известен в науке как эмпирический. Индуктивная модель расширяет наши знания об объекте, но это знание не достоверное, а характерно только для исходных объектов и для конкретных условий. А. Эйнштейн писал: «Собрание эмпирических фактов, как бы обширно оно ни было, не может привести к установлению сложных уравнений. На опыте можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории».

В этом плане многие теоретические разработки в геологии не могут, строго говоря, считаться теориями. Например, учение о геосинклиналях — это в основе эмпирическая концепция.

Вместе с тем в геологии имеется ряд теоретических положений, которые можно считать вполне зрелыми теориями; это, например, теория литогенеза Н. М. Страхова, теория рудообразования Д. С. Коржинского, теория тектоники литосферных плит и др.

Следовательно, в современной геологии эмпирические и теоретические модели сплошь и рядом взаимодействуют между собой, но они нуждаются в проверке на фактическом материале. Развитие геологических знаний в этих случаях происходит на основе разрешения противоречия между тенденцией к завершенности и логической непротиворечивостью теории и необходимостью выхода за ее рамки вследствие возникновения или обнаружения противоречащих ей экспериментальных данных.

#### **9.4. ФАКТЫ, ИХ МЕСТО И ЗНАЧЕНИЕ В НАУЧНОМ ПОИСКЕ**

Проблема соотношения и диалектического взаимодействия эмпирических и теоретических знаний постоянно находится в центре внимания исследователей. На разных стадиях развития науки характер взаимоотношения этих способов познания меняется. Существует распространенное мнение, что научное исследование на-

правлено на добывание фактов. Однако возникает вопрос, что считать научным фактом?

Понятие «факт» включает объективно существующее и зафиксированное наблюдение либо экспериментально установленное явление или процесс. Факт становится научным, если он получен или зафиксирован в результате специально организованной деятельности, с применением научного метода и с позиции определенных теоретических представлений. Как только появляется принцип отбора фактов, мы можем говорить о научном поиске, поскольку научный факт существует в рамках определенной теоретической конструкции и является теоретически обоснованным.

Большинство геологов, доказывая справедливость той или иной точки зрения, в качестве аргументов приводят фактический материал. Часто одни и те же факты интерпретируются по-разному и используются оппонентами в ходе дискуссии. Сколько же нужно фактов для подтверждения или опровержения гипотезы или теории? Например, противники теории тектоники литосферных плит утверждали, что она не может считаться достаточно убедительной, поскольку базировалась только на данных по геологии океана. Масштаб же данных по континентальной геологии несравним по объему и детальности и охватывает неизмеримо больший интервал геологической истории. В связи с этим они считали, что лишь когда степень изученности океанов будет такой же, как континентов, станет возможным строить корректные теоретические концепции о строении литосферы в целом и динамике ее развития. Однако количество фактов не определяет само по себе истинность гипотезы, а лишь делает ее более правдоподобной. Научные исследования строятся главным образом не по принципу накопления фактов, а по принципу объяснения аномальных явлений, фактов, противоречащих гипотетической или теоретической модели. Поэтому научные факты важны на стадии проверки предсказательной функции данной модели, а также для выявления пределов ее функционирования и создания более общей теоретической модели.

Канадский геофизик Дж. Вилсон, один из создателей теории тектоники литосферных плит, во время вручения ему Пенроузской медали Геологического общества Америки в 1968 г. сказал, что «тектоника плит не подтверждена ни единым фактом. В будущем, возможно, удастся опытным путем доказать, что материки движутся, но доказать экспериментально, что такое движение происходило в прежние времена, невозможно. Это вопрос мировоззрения». Действительно, Дж. Вилсон оказался прав, поскольку в настоящее время с помощью лазерных отражателей, а также данных интерферометрии доказаны современные движения литосферных плит, и теория тектоники литосферных плит создала теоретическую основу, которая позволяет объединить усилия геологов, геофизиков, геохимиков в рамках общего мировоззрения при создании теоретической модели глобального тектогенеза.

## Глава 10. НЕКОТОРЫЕ ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ

### Ю.1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФОРМА РАЗВИТИЯ МАТЕРИИ

Среди естественных наук в качестве фундаментальных обычно выделяются механика, физика, химия, биология и геология, к ним следует добавить астрономию. Каждая из них представляет совокупность взаимосвязанных научных дисциплин, изучающих отдельные стороны объекта исследования. Например, когда говорят о геологии, то подразумевают развивающуюся систему знаний о Земле, которая объединяет различные геологические дисциплины, дающие представление об отдельных специфических характеристиках нашей планеты, ее вещественном составе и структуре, изменяющихся во времени и в пространстве.

Выделение фундаментальных наук, сам принцип фундаментальности предполагают наличие самостоятельной формы развития материи. Изучение различных форм развития материи является главным объектом естествознания.

Б. М. Кедров выделил пять видов развития (движения) материи — механическую, физическую, химическую, биологическую и геологическую; добавим к ним шестую — астрономическую (космическую). Геологическая форма развития материи представляет собой процессы самоорганизации вещества различных оболочек Земли и планеты в целом, рассмотренные в эволюционно-историческом аспекте. Выделение самостоятельной геологической формы развития материи предполагает синтез более простых форм движения: химической, физической, механической, поскольку геологические процессы подчиняются общим законам естествознания, а геологическое развитие включает механические, химические, физические и биологические процессы, которые ведут к изменению и образованию геологических тел. Но образование геологических объектов — это результат не простого синтеза вышеперечисленных процессов, а их системного взаимодействия, которое проявляется в становлении структуры, морфологии, состава Земли и отдельных ее компонент.

На различных уровнях изучения земного вещества можно проследить проявление «отбора» в геологических процессах развития материи. Весьма показателен в этом отношении процесс образования магматических горных пород. А. Н. Заварицкий писал, что «в непрерывной смене состояний физико-химических систем, из которых возникают горные породы, в последовательном восстановлении нарушающегося равновесия, последовательном «приспособлении» систем к новым условиям можно до известной степени видеть аналогию с выживанием наиболее приспособленных в органическом виде. Как там, так и в мире неорганическом, в частности в жизни горных пород, направление эволюции в конечном счете определяется взаимодействием возникающих видов с внешней средой. В мире неорганическом и в мире органическом меха-

низм «отбора приспособленных», конечно, различен, но принцип «отбора» сохраняет свое значение».

Подобные закономерности проявляются на всех уровнях самоорганизации вещества Земли как космического тела, поскольку все процессы взаимосвязаны. События в мантии ответственны за события в земной коре, а процессы, протекающие на поверхности, отражаются на глубинных уровнях, вплоть до ядра Земли.

Таким образом, геологическая форма развития материи рассматривается как специфическая ступень развития материального мира и представляет собой самостоятельный объект исследования в естествознании, который характеризуется внутренними противоречиями, специфическими законами развития, взаимодействием с другими космическими объектами. Геологическая форма развития материи связана с другими формами ее развития: механической, физической, химической, биологической, что проявляется во взаимодействии этих наук (физика—геофизика—геология; химия—геохимия—геология; биология—палеонтология, биогеохимия, почвоведение—геология).

Внутренние противоречия включают процессы притяжения (гравитация) и отталкивания (тепловая энергия), взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов, формирующих лик Земли.

Основные источники энергии геологических процессов включают внутреннюю тепловую энергию, унаследованную от ранних этапов развития Земли (образование газопылевого облака и аккреция планетезималей, дифференциация на ядро и мантию), приливные движения в оболочках Земли, связанные с влиянием Луны, Солнца и других космических тел, дальнейшая глубинная дифференциация вещества, экзотермические реакции, протекающие в глубинных оболочках, распад радиоактивных элементов. На разных этапах развития Земли энергетический вклад этих источников был различным. Взаимодействие гравитации и тепловой энергии определяет процессы самоорганизации вещества нашей планеты. Если бы действовала только тепловая энергия, то произошло бы расширение и разрушение Земли, а если бы только гравитация, Земля быстро превратилась бы в мертвую планету вроде Меркурия.

Специфика развития в геологии характеризуется необратимостью, направленностью этого развития от простого к сложному, непрерывно-прерывистым, цикличным и неравномерным его характером.

В процессе практического и теоретического изучения геологической формы развития материи был выработан специальный понятийный аппарат, важнейшими критериями которого являются характеристики: *пространственно-временных соотношений* (эон — зонотема, эра — эратема, период — система, эпоха — отдел, век — ярус и т. д.), *структурно-генетических* (литосфера, литосферные плиты, земная кора, слой, фации, формации, литодинамические комплексы: горные породы и др.), *эндогенных и экзогенных* процессов (тектонические движения, складчатость, океанизация, ме-

таморфизм, денудация, седиментация, эрозия и др.), *практического освоения геологических объектов* (полезные ископаемые, рудные поля, нефтегазоносные бассейны, залежи и др.).

Существуют различные точки зрения на истолкование и выделение границ объекта и предмета геологических исследований. Одна из них — концепция естественности — подразумевает постулат об однозначно предопределенной, объективно существующей делимости природных геологических объектов (кристаллов, горных пород, фаций, формаций, геоблоков и др.). Задача геологического изучения сводится к познанию и правильной фиксации этого расчленения, выявлению реальных геологических тел, их естественных границ и детальному анализу свойств этих объектов. Естественность выделения геологических объектов тесно смыкается с уровнем организации геологического вещества. Земля однозначно расчленяется на химические элементы, кристаллические ячейки, кристаллы, минералы, горные породы, слои, блоки, оболочки, при этом каждый объект является областью изучения отдельной геологической дисциплины: кристаллические ячейки и кристаллы — кристаллография; кристаллы и минералы — минералогия; минералы и горные породы — петрография; земная кора — тектоника и т. д. Но надо иметь в виду, что геологи изучают модели этих объектов, а не сами объекты.

Модельно-целевой подход к изучению геологических объектов, отличие от концепции естественности природных объектов базируются на том, что любой объект обладает бесчисленным множеством переменных характеристик и является интегральной системой, все элементы которой взаимодействуют между собой. При этом геологический объект или предмет исследования представляет собой научную идеализацию (модель), дающую возможность изучать лишь избирательные его характеристики. Любая идеализация является той логической рамой, которая позволяет объединить наши представления об объекте в целом, при этом каждый объект или его отдельные стороны есть результат процесса самоорганизации вещества в ходе беспорядочных и случайных процессов. Американский математик Б. Мандельброт в 1975 г. предложил фрактальную (самоподобную) модель этих процессов. Модельно-целевой подход не отрицает реальность и естественность природных тел. Отрицается тождественность этих тел и их моделей. Именно цель, задача определяют выбор того или иного варианта выделения объекта исследования в соответствующих границах. Например, модель слоистой геологической среды района бурения Кольской сверхглубокой скважины, как оказалось, несла в себе информацию не о характере изменения вещественного состава горных пород с глубиной, а об их физических параметрах — смене напряженного состояния, которое и было зафиксировано на геофизических разрезах.

Интересно, что со временем происходят расширение и углубление понятия объекта геологических исследований. Это коррелируется, с одной стороны, с процессом дифференциации и интегра-

ции геологических наук, с другой стороны, с повышением общего уровня развития науки и техники. В первой половине XIX в. изучение моделей геологических объектов проводилось визуально на макроуровне, исследовался химический состав минералов и горных пород, во второй половине XIX столетия геологические исследования охватывали уже огромные регионы, создавалась их картографическая модель, вещество исследовалось с помощью поляризационного микроскопа и спектрального анализа. Первая половина XX в. характеризуется созданием геофизических моделей земной коры и более глубоких оболочек, составлением первых схем тектонического районирования, кристаллохимическим уровнем исследования вещества. Во второй половине XX столетия объект исследования геологии вновь значительно расширился. Это связано прежде всего с исследованием дна Мирового океана, с открывшимися возможностями изучения и расчленения древних комплексов, отвечающих ранним стадиям развития Земли, с созданием геофизической модели тектоносферы, переходом к исследованию вещества на уровне микроскопических фрагментов отдельных минеральных зерен с помощью данных микрозонда. Современный этап характеризуется созданием глобальной модели эволюции Земли в рамках сравнительной планетологии.

## 10.2. ЗАКОНЫ В ГЕОЛОГИИ

Развитие геологии происходит в направлении все более глубокого и полного познания нашей планеты, процессов самоорганизации вещества и создания разноранговых моделей геологической формы развития материи. Первоочередная задача теоретических исследований состоит в установлении законов. Законами называются общие, необходимые и существенные связи между предметами и явлениями, обуславливающие их упорядоченные изменения. Закрепление знаний законами — обязательная стадия их развития, поскольку позволяет построить объективную модель процесса или явления, определяющую их сущность. Любое знание, пусть доказанное, систематически организованное, но не выражающее закономерных отношений, нельзя считать научным. И. П. Шаратов, проводивший специальный анализ номологической базы геологии, отметил, что именно установление геологических законов позволяет рассматривать геологию как сформировавшуюся самостоятельную науку. Однако геологию часто и не без оснований упрекают в том, что она имеет мало сформулированных законов. Это объясняется прежде всего тем, что на протяжении долгого времени геология развивалась как чисто эмпирическая наука.

В. И. Вернадский, размышляя о роли эмпирического познания в естествознании, писал, что в науках о Земле можно выделить законы двух типов:

1. Законы, представляющие собой модификацию (т. е. приложение) законов физики, химии и других точных наук.

2. Законы-тенденции, которые связаны с историей развития Земли и отражают своеобразие и уникальность реализованных процессов во времени и в пространстве.

Общенаучные законы естествознания (физики, химии, термодинамики и др.) являются определяющими в реализации геологических процессов. Современная минералогия, петрология, геохимия активно используют их в изучении эволюции вещественного состава, при моделировании природных процессов.

Законы-тенденции имеют исключительно важное значение в геологии, поскольку отражают основные особенности развития Земли. В. Е. Ханн выделяет следующие тенденции в развитии нашей планеты: направленность (необратимость), цикличность, непрерывность, прерывистость, синхронность, асинхронность, неравномерность, преемственность и обновление.

Законо необратимого эволюционного развития организмов был сформулирован бельгийским палеонтологом Л. Долло в конце прошлого столетия. В настоящее время считается, что необратимые процессы играют решающую роль в естествознании. По мнению И. Р. Пригожина, необратимые процессы столь же реальные, как и обратимые, а не являются лишь следствием приближенного описания обратимых процессов. Они играют конструктивную роль в науке, поскольку определяют процессы самоорганизации в открытых системах.

Направленность развития Земли можно проследить в процессах первичной дифференциации вещества, возникновении ядра и различных оболочек Земли, в ходе реализации эндогенных и экзогенных процессов. Темпы эволюции геологических процессов, условия формирования структур отличались на разных этапах развития Земли. Так, стиль тектонических структур архея имеет свои особенности, раннепротерозойские образования уже позволяют проводить определенные аналогии с более поздними рифейско-фанерозойскими структурами, предлагать актуалистическую модель их формирования.

На фоне направленного развития наблюдается тенденция циклического развития. При этом выделяются циклы продолжительностью в сотни миллионов лет и более высокочастотная цикличность, определяющие формирование лика Земли, ее внутренней структуры и строение ее верхних оболочек.

Непрерывно-прерывистая тенденция развития характерна как для эндогенных процессов, так и для экзогенных. Магматизм, метаморфизм, тектонические деформации имеют непрерывно-прерывистый характер, при этом на фоне непрерывного процесса отмечаются эпохи усиления или ослабления эндогенной активности, качественные скачки в ее проявлении. Эволюция органического мира, проявление экзогенных процессов также имеют непрерывно-прерывистую тенденцию развития.

Неравномерность геологических процессов подтверждается широким диапазоном типов тектонических структур современной Земли, отвечающих разным геодинамическим обстановкам их фор-

мирования. На фоне тенденции неравномерного развития наблюдаются глобальная синхронность и асинхронность геологических процессов во времени и в пространстве. Синхронность подтверждается успешной корреляцией позднемезозойских и кайнозойских отложений Мирового океана, проведенной по микрофауне, по данным сейсмостратиграфии и палеомагнетизму, со стратиграфическими данными по континентам. Подобная универсальность позволила составить представление о глобальных изменениях уровня Мирового океана для фанерозоя и разработать зональную стратиграфическую шкалу.

Асинхронность развития подтверждается, например, данными по эволюции материков Лавразийской группы и Гондваны в позднем докембрии и раннем палеозое.

На фоне законов-тенденций в геологии сформулированы также более специальные законы, которые отражают характер проявления отдельных геологических процессов. Некоторые из этих законов были неоднократно выявлены в процессе становления геологической науки. Так, древнегреческий философ Аристотель еще в III в. до н. э. в своей книге «Метеорология» сформулировал закон о периодической смене суши и моря. Этот же закон был сформулирован через 300 лет Страбоном, изучавшим строение побережий Средиземного, Черного и Азовского морей. В начале XVI в. Леонардо да Винчи писал, что «любая часть Земли, которая обнажается при размыве, уже была поверхностью Земли, видимой Солнцу».

Во второй половине XVII в. Н. Стенон сформулировал универсальный закон суперпозиции слоев горных пород: «Слои образовались на других слоях, нижний из которых был твердым. Образующийся слой был ограничен сбоку твердым телом, либо покрывал всю Землю».

В литологии известен закон А. Гресли, который установил непосредственную зависимость состава фауны от особенностей среды обитания, закон Головкинского—Иностранцева—Вальтера о сопряженном характере миграции одновозрастных фаций по горизонтали и вертикали, законы литогенеза Н. М. Страхова и др.

В геотектонике известны: закон Н. Стенона о первично-горизонтальном залегании слоев горных пород; закон Г. Штилле об одновременности орогенических фаз; законы В. В. Белоусова и В. Бухера о развитии колебательных движений; закон А. П. Карпинского о сопряженности регрессий в геосинклиналях с трансгрессиями на платформах и наоборот.

Специальные законы характерны для многих научных направлений геологии, причем чем более совершенна теоретическая база геологической дисциплины, тем совершенней ее номологическая основа.

В заключение сказанного о «законах-тенденциях», по Вернадскому, следует подчеркнуть, что все они носят, в отличие от первой группы законов, вероятностный, статистический характер, т. е. не могут рассматриваться с детерминистских позиций. Эти законы

выявляются лишь при статистической обработке большого фактического материала именно в качестве господствующей тенденции и неизбежно содержат большое число отклонений и даже исключений. Обычно это является следствием наложения, интерференции разноранговых процессов. Например, на фоне общеглобальной трансгрессии на отдельных участках континентов может проявиться регрессия, связанная с локальным воздыманием этих участков и т. п.

Кроме того, в геологии мы имеем дело не с тождественными объектами, обладающими присущими только им свойствами и более или менее резко отличающимися от других объектов, но с многообразным объектом, не вполне тождественных и лишь частично сходных между собой (например, конкретными структурными элементами). Поэтому их выделение, классификация, а соответственно и установление свойственных им особенностей строения и развития, опирающиеся на те или иные идеализированные абстрактные модели, неизбежно является несколько условным, схематичным и не вполне адекватным. Это, в частности, по мнению Е. Е. Милановского, одна из главных причин хаоса в тектонической терминологии.

### 10.3. ВРЕМЯ В ГЕОЛОГИИ

Современный лик Земли представляет собой сложную интерференционную динамическую систему, сформированную под влиянием как экзогенных, так и эндогенных процессов, энергия которых определяется соотношением внутреннего тепла Земли, гравитации и влияния космических факторов, наиболее ярко проявляющихся в притоке солнечной энергии и лунно-солнечных приливах.

Современные геологические процессы происходят на наших глазах, масштабы их проявления впечатляющие, а результаты действия — всегда уже история, и хотя нас отделяет от них сколь угодно малое время, мы можем говорить о хронологии этих событий.

Хронология может быть выражена в виде непрерывного последовательного ряда единичных явлений или в форме последовательности определенных групп событий, рассматриваемых в определенном масштабе принятой шкалы летоисчисления (относительном или «абсолютном»).

Геология — наука историческая, стрела времени пронизывает все геологические исследования. Одной из главных задач геологии является восстановление истории образования и развития нашей планеты во времени и в пространстве, начиная от самых ранних этапов до становления ее современного облика и включая определение ближайшей перспективы этого развития. При этом время является той канвой, на которую накладывается узор конкретных исторических событий жизни нашей планеты.

Глубока и драматична история разработки представлений о возрасте Земли. Наиболее ранние представления о возрасте Земли связаны с мифологией и религиозно-окультурными воззрениями. Известные цифры, канонизированные в различных религиозных писаниях, традиционно предполагали полную или примерную одновременность создания и Земли и человека. Согласно Библии, мир был создан несколькими последовательными актами творения, каждый из которых совершался за один день. Сотворение мира заняло шесть дней, правда, продолжительность этого дня нигде не указана. По мнению жрецов Халдеи, Земля возникла из хаоса свыше двух миллионов лет назад, а древние брамины Индии считали время существования Земли бесконечным.

На протяжении многих веков библейские догматы о возрасте Земли определяли, точнее, тормозили развитие научной мысли. Попытки опровержения их жестоко подавлялись и часто стоили жизни «еретикам», однако великие творения Н. Коперника, Г. Галилея и Дж. Бруно подготовили почву для пересмотра возраста Земли.

Несмотря на ожесточенные нападки на еретические идеи в XVII и XVIII вв. возникли первые космогонические гипотезы Р. Декарта, Г. Лейбница, Ж. Бюффона, И. Канта и П. Лапласа, в соответствии с которыми время создания нашей планеты отвечало сложному естественно-историческому процессу, для реализации которого было явно недостаточно срока, определенного Библией. Ж. Бюффон на основании экспериментов со временем остывания чугунных шаров пришел к выводу, что Земля образовалась 74 800 лет назад.

Дж. Хаттон в труде «Теория Земли...», хотя и писал, что при познании Земли мы должны придерживаться порядка, достойного «божественной мудрости», утверждал, что формирование Земли подчиняется законам физики и химии, что все процессы на Земле вызваны силой тяжести и теплом и не видно «ни начала, ни конца» действию этих процессов на нашей планете.

Новая страница в истории представлений о возрасте Земли была открыта трудами крупнейших естествоиспытателей XIX в. — В. Смита, Ж. Кювье, Ч. Ляйеля и Ч. Дарвина. В распоряжении геологов оказалось практически неограниченное время. В своих работах они доказали, что для развития жизни на Земле понадобилось весьма длительное время, намного превышающее и несоизмеримое со временем появления и развития человеческой цивилизации. Сделанные в XIX в. оценки времени образования Земли в абсолютной хронологии давали большой разброс — от нескольких десятков миллионов лет (Кельвин) до (по крайней мере) многих сотен миллионов лет (Ч. Дарвин, Д. Гудчайлд). Установление В. Смитом в начале XIX в. приуроченности определенных форм ископаемых организмов к определенным слоям и возможности распознавания и прослеживания слоев по заключенным в них органическим остаткам положило начало созданию относительной геохронологической шкалы.

Разработка относительной геохронологической шкалы является к настоящему времени в части фанерозоя в принципе завершённым этапом. В основу принятой на второй сессии Международного геологического конгресса в Болонье в 1881 г. международной геохронологической шкалы был положен принцип, разработанный швейцарским геологом Э. Реневи, который составил таблицы осадочных формаций, образовавшихся на протяжении эпох, отвечающих фазам обновления органического мира (эры, периоды, эпохи, века). Хронологические подразделения этой шкалы отвечали стратиграфическим подразделениям соответствующих рангов (группы, системы, отделы, ярусы, слои). Последующая детализация этой шкалы для фанерозоя не внесла принципиальных изменений.

Методы относительной геохронологии, широко используемые в настоящее время, не позволяют, однако, проводить сравнительный анализ длительности процессов и явлений в масштабе астрономического времени, поскольку не было единого репера датировки их продолжительности. Такая возможность появилась лишь в начале XX в. в связи с развитием радиологических методов определения абсолютного возраста горных пород. В 1904 г. Э. Резерфорд предположил, что гелий, захваченный радиоактивными минералами, может служить средством определения геологического возраста. Первыми исследователями, применившими радиоактивные методы к определению возраста Земли, были Р. Стретт, Дж. Баррел и А. Холмс. Уже в 1917 г. Дж. Баррелом была разработана первая шкала абсолютного времени для фанерозоя, в целом достаточно близкая (ошибка не более 25—30%) к современной.

В настоящее время геохронологическая шкала абсолютного времени разработана для всей геологической истории Земли. Новые методы исследования позволили оценить возраст нашей планеты около  $4,6 \cdot 10^9$  лет. Появились определения абсолютного возраста самых древних на сегодняшний день горных пород Канадского щита и Гренландии, достигающие  $3,9$ — $3,8 \cdot 10^9$  лет, известны цифры  $4,3$ — $4,2 \cdot 10^9$  лет для отдельных зерен циркона из архейских кварцитов Западной Австралии.

Относительная и абсолютная геохронологические шкалы рассматриваются, как правило, совместно. На сегодняшний день относительная шкала практически неприменима к раннедокембрийскому этапу развития Земли, хотя органические остатки обнаружены в породах, возраст которых превышает  $3,2 \cdot 10^9$  лет. Следовательно, относительная геохронология может обеспечить детальную хронологию событий лишь для 1/6 геологической истории Земли. Данные абсолютного возраста, полученные для начала и конца формирования той или иной стратиграфической единицы, дают возможность говорить о времени ее формирования. По этому принципу шкалу абсолютной геохронологии совмещают со шкалой относительного летоисчисления, что дает возможность рассматри-

вать известные ранее временные таксоны относительной шкалы в миллионах лет.

По радиометрическим данным установлено неравенство в абсолютном исчислении отдельных подразделений относительной шкалы. Отдельные периоды, например, имеют продолжительность от 25 млн лет (неоген) до 70—80 млн лет (мел), эры также имеют разную продолжительность.

Особенностью геологического летоисчисления является то обстоятельство, что хронометром геологических событий служит в большинстве случаев физическое время, когда в качестве единицы измерения принимается скорость распада радиоактивных элементов, в соответствии с которой определяется абсолютный возраст минералов и горных пород, и биологическое время, рассчитанное в соответствии с эволюцией органического мира.

Являются ли выбранные критерии достаточными для создания единой универсальной геохронологической шкалы?

Биологическое время, вероятно, отличается по продолжительности от геологического. Корректное решение этого вопроса будет возможным при условии определения времени появления жизни на Земле. Кроме того, неполнота геологической летописи, составленной по палеонтологическим данным, предопределена, с одной стороны, ограниченностью применения биостратиграфического метода для ранних этапов развития Земли, с другой стороны, нередким отсутствием переходных форм организмов в геологических формациях.

Применяемые в качестве масштаба времени «атомные часы» используют в конечном счете астрономический год (период одного оборота Земли вокруг Солнца), но Земля является открытой системой, поэтому нет уверенности в том, что длительность астрономического года была постоянной в истории Земли, справедлив, скорее, обратный вывод. При этом решающим становится выяснение характера взаимодействия Земли с другими космическими телами.

Астрономы утверждают, что Солнечная система движется вокруг центра Галактики по законам относительного движения планет Солнечной системы. Орбита движения Солнца близка к эллиптической, хотя и не замкнута, ее вращение вокруг центра Галактики осуществляется в направлении, противоположном движению Солнца. Период обращения Солнца вокруг центра Галактики был назван галактическим годом.

Установлено, что Солнечная система движется по галактической орбите с периодически изменяющейся скоростью. При увеличении скорости вращения Солнечной системы скорость вращения Земли возрастает, при замедлении — уменьшается.

В настоящее время идут дискуссии относительно длительности галактического года, называются разные цифры: от 176 до 250 млн лет. Предполагается, что за 3,3 млрд лет истории Земли прошло 15—16 периодов галактического обращения длительностью 190—200 млн лет.

Н. А. Ясаманов, проанализировав взаимосвязь движений Солнечной системы с геологическими событиями, имевшими место на Земле, оценил продолжительность галактического года в 215 млн лет. Именно такой периодичностью характеризуются крупнейшие геологические события. По астрономическим данным, предполагается, что отсчет галактического года следует начинать с рубежа рифея и венда. Исходя из этого за фанерозойский эон на Земле должны были пройти три полных галактических года — вендско-силурийский (650—435 млн лет), силурийско-триасовый (435—220 млн лет), юрско-плиоценовый (220—5 млн лет). Начало и конец каждого галактического года характеризуются крупными геологическими событиями на Земле, изменением климата, гидродинамики Мирового океана.

Если интерпретация астрономических данных верна, то «галактическую» геохронологическую шкалу можно продолжить и на докембрийские этапы развития Земли. В этом случае мы получаем достаточно дробные реперы ранней истории нашей планеты, которые помогут увязать имеющиеся геологические данные и провести их необходимую корреляцию. Уточнение и детализация предложенной геохронологической шкалы «абсолютного» летоисчисления — дело ближайшего будущего.

#### 10.4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЛОГИИ

Геология как интегральная наука имеет в своем арсенале большое количество методов исследования, применение которых позволяет создать целостную модель изучаемого процесса или явления. В настоящее время существуют разнообразные классификации геологических методов исследования. Как правило, они включают общенаучные и специальные методы, направленные на получение научной информации, её обработку и отображение результатов исследования. Общенаучные методы универсальны для всех разделов геологии и естествознания в целом и включают индукцию, дедукцию, анализ, синтез, аналогию, моделирование, статистические методы, метод системного анализа, аксиоматический и др.

Специальные методы, характерные для отдельной научной дисциплины, представляют собой набор определенных приемов исследования для раскрытия специфических характеристик геологических объектов или явлений. Широкий набор методических приемов, используемых в конкретных областях геологии, объединяется в группы, что позволяет создать более представительные модели и сопоставлять результаты исследований, которые освещают, казалось бы, несопоставимые характеристики. Например, комплексное использование данных дистанционного зондирования, геохимических, геофизических и других характеристик геологического объекта позволяет избежать одностороннего подхода в оценке полученных результатов, увязать часто противоречивые результаты.

*Индуктивный и дедуктивный методы* познания представляют собой два пути объяснения изучаемых явлений. Индуктивный метод основан на анализе наблюдаемых фактов, их обобщении и последующем создании законов и теорий. Фактический материал классифицируется по характерным признакам, дополняется сериями новых наблюдений, проводится его обобщение и, как результат, строится модель объекта или явления, которая служит основой теоретической модели и формулировки теоретического закона.

Дедуктивный метод использует наблюдения как стартовую площадку для создания априорной модели. На основе гипотетической модели создается процедура ее проверки (верификации), которая включает проведение эксперимента и создание новых гипотетических моделей, позволяющих прогнозировать свойства, еще не реализованные в ходе эксперимента. Дальнейший путь развития гипотетической модели ведет к формированию теории и формулировке законов, позволяющих объяснить и предсказать ранее неизвестные явления.

Индуктивные модели носят вероятностный характер. Дедуктивные модели предпочтительнее, поскольку их действие выходит за рамки конкретного эксперимента. В геологии очень часто индуктивные и дедуктивные модели взаимно дополняют друг друга, что связано со сложным, интегральным характером геологических объектов, поэтому процесс верификации является обязательным шагом на пути развития геологической модели. Совершенствование дедуктивных моделей в геологии позволяет более обоснованно решать задачи ретроспективного плана, когда мы не имеем возможности непосредственно наблюдать процесс или явление и должны составлять прогноз на будущее.

*Методы анализа и синтеза* в геологии используются параллельно. Анализ предполагает детальное расчленение предмета исследования, изучение отдельных его характеристик, установление взаимодействия между компонентами анализа, их классификацию. Синтез объединяет различные элементы анализа и предполагает создание целостной модели геологического объекта. Например, тектоническая карта представляет собой модель геологической среды, в которой синтезированы различные структурные, стратиграфические, петрологические, литологические, геофизические и геохимические характеристики исследованного региона.

*Метод аналогий* является основой исторического подхода в геологических исследованиях, поскольку предоставляет возможность изучения прошлого Земли, протекавших на ней процессов, опираясь на знание современных процессов, формирующих лик нашей планеты (актуалистический подход), или сопоставлять и находить тождество в строении отдельных структур и проводить аналогии от известного к неизвестному. Несмотря на специфику каждой геологической эпохи в истории Земли, разные масштабы в проявлении эндогенных и экзогенных процессов и необратимое в целом развитие нашей планеты, актуалистический подход, прин-

пы которого были заложены в трудах Дж. Хаттона, Ч. Ляйеля, — единственный метод реконструкции прошлого. Он используется при историко-геологических исследованиях, палеотектонических реконструкциях, в палеогеографии, литологии, петрологии, геохимии и геофизике. Изучение современных процессов является своего рода экспериментальной базой, позволяющей углубиться в историю и прочесть древние страницы жизни нашей планеты.

В настоящее время среди геологов нет разногласий по поводу применения метода аналогий для расшифровки прошлого Земли. Основные споры идут по вопросу о возможности и степени ограничений применения этого метода при изучении разных этапов развития Земли, особенно глубокого докембрия. Актуалистический метод позволяет не только заглянуть в прошлое, но и проводить экстраполяцию в будущее, реализовать предсказательную функцию метода. Метод аналогий или актуалистический подход к разгадке тайн прошлого не надо путать с принципом униформизма, провозглашенным Ч. Ляйелем в 30-х годах прошлого столетия. Этот принцип не учитывал специфики геологических условий прошлого и часто заводил в тупик исследователей, строго его придерживавшихся.

Метод аналогий применяется в геологических науках и в другом аспекте — он позволяет предсказать характеристики слабоизученного объекта путем сравнения с лучше изученным объектом того же класса. Именно с помощью аналогий И. М. Губкинским была предсказана нефтеносность Волго-Уральской области (аналогия с Мидконтинентом США), а В. С. Соболевым — алмазосность Сибирской платформы (аналогия с Южной Африкой).

В отдельных геологических дисциплинах применяются специфические модификации метода аналогий — сравнительно-литологический, сравнительно-тектонический и т. п.

*Метод системного анализа*, широко используемый в современной науке, является философским осмыслением модельного подхода к изучению процессов и явлений. Системным называется такое исследование, в основу которого положена системная модель. Главные признаки последней заключаются в следующем.

1. Каждый объект характеризуется бесконечным числом дискретных характеристик, взаимодействующих между собой. Системная модель формируется самим исследователем, который имеет дело не с естественными объектами как таковыми, а с моделями, которые лишь по каким-либо параметрам соответствуют этому объекту. Например, геологические карты и разрезы представляют собой модель геологической среды, в которой с помощью определенной системы условных обозначений выделены наиболее важные, с точки зрения исследователя, характеристики, т. е. они представляют собой определенную научную идеализацию.

2. Все свойства изучаемого объекта равноценны, в связи с этим познавательная функция системной модели зависит от целевой установки исследования. Например, космический снимок Земли сам по себе представляет такую модель геологической среды

(геосистемы), в которой сконцентрированы многосторонние сведения о составе и структуре земной коры и особенностях земной поверхности. Специфика этой модели состоит в том, что в ее основе лежат не реальные физические тела, а их отображение на различных информационных носителях (фотослой, цифровой код и др.) электромагнитных характеристик природных геологических объектов. При формировании изображения Земли создается интерференционная система, т. е. система взаимодействия: разноглубинных, разновозрастных и генетически разнотипных образований и процессов. Это создает необходимость целенаправленно проводить анализ геометрических и спектральных фототоновых характеристик, изменять интенсивность фотоаномалий и их соотношений с соседними аномалиями, проводить осреднение фототона в целом или отдельных его частей на разных частотных уровнях и, таким образом, выделять разночастотные составляющие спектральных и геометрических характеристик геосистемы, относящиеся к структурам разного генезиса, ранга, возраста и глубинности и тем самым вычленять эти структуры.

3. Системная модель структурирована и состоит из совокупности элементов разного ранга, при этом процессы самоорганизации вещества, моделируемые на уровне зерна, горной породы, слоя, блока или оболочки Земли, взаимосвязаны между собой и представляют сложную интерференционную систему. Каждый последующий ее уровень включает предыдущий.

4. При изучении системной модели в качестве определяющего принципа выступает требование целостности. Целостные системы представляют собой динамические системы с обратными связями между элементами. Целостность системной модели проявляется в возникновении нового интегрального качества так называемых эмергентных (внезапно возникающих) свойств на каждом уровне организации вещества. Например, эмергентные свойства четко отражаются при изменении уровня генерализации космического изображения или при изменении масштаба картирования. При изменении масштаба космического изображения меняется его разрешающая способность. То, что при крупном масштабе изображения было целостным самостоятельным объектом с определенными характеристиками, в мелком масштабе становится деталью другого, более крупного объекта и наоборот. Ранговый подход к интерпретации космических изображений заключается в выделении в определенном масштабе генетически однородных целостных структур или их частей. При этом доверительный интервал системы дешифровочных признаков должен быть нацелен на выделение оптимальных характеристик целостных структурных форм, наиболее выраженных в данном масштабе.

К эмергентным свойствам космических изображений можно отнести также обзорность, которая тесно связана с уровнем естественной генерализации. Благодаря обзорности мы не только видим отдельный объект, но и наблюдаем его во взаимосвязи с другими

геологическими объектами в пространстве, что определяет новую характеристику модели геосистемы.

*Аксиоматический метод* широко применяется в геологии. Он основан на построении теоретической модели, исходя из некоторых аксиом (постулатов), из которых все остальные утверждения должны выводиться логическим путем посредством доказательств. Например, постулаты теории тектоники литосферных плит положены в основу палеотектонического анализа. Если какой-либо из постулатов опровергается или изменяются рамки его применимости, то изменяется и система доказательств, положенная в основу этой теоретической модели. То же можно сказать о принципе подобия, который положен в основу многих тектонофизических работ. Рамки применимости этого принципа в условиях неравновесных динамических систем определяют ценность тектонофизических моделей.

Несколько слов следует сказать и о специальных методах, хотя эти методы обычно подробно характеризуются в руководствах по соответствующим дисциплинам. Здесь же надо отметить, что среди них можно четко различить две группы. Одни из этих методов заимствуются из «точных» наук — физики и химии. Таковы рентгеноструктурный анализ, все методы химического анализа, от самых простых до микрозондового, методы изотопного анализа с помощью масс-спектрометров, дистанционные методы — космогеодезические, спутниковая альтиметрия, радарный и другие; их арсенал непрерывно пополняется, расширяя возможности решения геологических задач. Другая группа методов — специфические методы отдельных геологических дисциплин. Таковы структурный анализ и тектонофизический эксперимент в тектонике, биостратиграфический, магнитостратиграфический, сейсмостратиграфический, радиогеохронологический методы в стратиграфии, экспериментальные методы и изучение термодинамических равновесий в минералогии и петрологии, бурение скважин с научными и поисково-разведочными целями, в том числе в морях и океанах, и многие другие. Эти методы также опираются на достижения точных и технических наук, но уже в опосредованном виде.

## 10.5. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Небывалый подъем естествознания в течение XX в. связан с грандиозными успехами в физике, химии, термодинамике, биологии, кибернетике и математике. Он обусловлен также новым уровнем технических возможностей, позволившим раскрыть тайны микромира и установить глобальные закономерности развития материи. Этот процесс не оставил в стороне и геологию. Возникшая как самостоятельная ветвь естествознания в начале XIX в., геология прошла сложный путь развития. Постепенно расширялся круг объектов ее исследования, менялись и совершенствовались методы, цели и задачи, а тем самым и содержание геологии.

Возникает вопрос: какова внутренняя структура геологической науки и существует ли взаимосвязь ее отдельных элементов и, если существует, как она развивается во времени. Решение этого вопроса является ключевым для определения логики ее развития и установления взаимосвязей с другими науками.

Для донаучного этапа геологии характерно накопление исходного фактического материала, разработка элементарных приемов геологических наблюдений и их истолкование в рамках поверий и мифов, а также традиционных воззрений непутизма или плутонизма. Конечно, уже тогда пытливый ум естествоиспытателей не мог довольствоваться только этими узкими описательными рамками. Были высказаны идеи об изменении лика Земли (Аристотель, IV в. до н. э.; Страбон, 60-й год до н. э.), высказано предположение о морском происхождении ископаемых раковин (Ксенфан, V в. до н. э.), предложена гелиоцентрическая модель строения Солнечной системы (Аристарх Самосский, III в. до н. э.).

После некоторого перерыва, приходящегося на средние века, когда наука развивалась лишь на арабоязычном Востоке, ее поступательный ход возобновился в эпоху Возрождения.

В переходный период (вторая половина XVIII в.) геологические знания, базирующиеся на развитии горного дела, географических наблюдениях, приобретают более целенаправленный характер. Круг интересов геологов переместился в область изучения ископаемых остатков организмов и попыток построения стратиграфических разрезов. Но геогнозия (термин Г. Фюкселя) еще не стала настоящей исторической наукой и оставалась на описательной стадии.

Переход к научному этапу истории геологии (геронический период) ознаменовался появлением биостратиграфического метода, предложенного В. Смитом в начале XIX в. Несмотря на известную примитивность и несовершенство предложенного метода в его первоначальной форме, были разработаны первые научные принципы историко-геологических исследований. Геологи получили возможность с единых позиций рассмотреть имеющийся в их руках материал и начать воссоздание летописи геологической истории. В начале XIX в. была предложена и первая концепция образования горных сооружений — тектоническая гипотеза «кратеров поднятия», которую приняли к руководству и которой придерживались практически все исследователи горных стран первой половины XIX в. Этот рубеж был знаменательным и в области изучения вещества.

На смену описательной ориктогнозии (науке об ископаемых), в которой основная доля исследований была направлена на изучение внешних физических свойств минералов, пришли более тонкие, химические методы, позволившие разработать качественно новую классификацию минералов. В начале XIX в. начали создаваться первые национальные геологические общества, образование которых дало резкий толчок развитию геологии.

Уже в конце XVIII в. В. М. Севергин, анализируя состояние орнитогнозии, наметил тенденцию к дифференциации зарождавшейся науки, обусловленную спецификой объектов исследования. Он выделил описательную минералогию, минералогическую химию, топографическую минералогию, экономическую минералогию, геогнозию (науку о горах), историческую минералогию и геогению (учение о происхождении Земли). В первой половине XIX в. наметившаяся дифференциация геологии проявилась более четко; в качестве самостоятельных дисциплин выделились палеонтология, стратиграфия, геологическое картирование, структурная геология.

Переход ко второму (классическому) периоду истории геологии завершился в середине XIX в. Он ознаменовался победой эволюционных идей Ч. Ляйеля и Ч. Дарвина.

На смену гипотезе «кратеров поднятия» пришла гипотеза контракции, предложенная французским геологом Эли де Бомоном и подтвержденная фундаментальными региональными исследованиями австрийского геолога Э. Зюсса. Принцип униформизма, эволюционная палеонтология и гипотеза контракции, предполагавшая медленное, постепенное остывание Земли и коробление земной коры вследствие уменьшения ее радиуса, положили начало широкому внедрению в практику геологических работ актуалистического метода, с помощью которого стала вырисовываться история становления современного лика Земли. Правда, уровень фактических знаний ограничивал возможности исторической геологии главным образом восстановлением летописи событий, совершавшихся на поверхности земного шара, точнее континентов, в фанерозое.

Большое значение имело появление учения о геосинклиналях и платформах, означавшее проникновение эволюционных идей в тектонику.

Резкий качественный скачок в развитии геологии в ту же эпоху произошел с появлением поляризационного микроскопа, сконструированного еще в 1834 г. англичанином Ф. Галботом и впервые примененного для исследования горных пород и минералов английским геологом Г. Сорби в 1850 г. Микроскопическая петрография позволила надежно классифицировать горные породы по минералогическому составу и структуре и вместе с изучением их химического состава проложить путь к познанию их генезиса.

К концу XIX в. произошла еще большая дифференциация геологических наук. В качестве самостоятельных дисциплин выделялись историческая геология, тектоника, учение о полезных ископаемых, петрография, гидрогеология, были сделаны первые попытки использования данных гравиметрии, магнитометрии и сейсмологии для выяснения глубинного строения Земли. В это же время наметились первые признаки интеграции или синтеза наук о Земле. Благодаря исследованиям А. Гресли, И. Вальтера, Н. А. Головкинского, Т. Арльдта, в конце XIX в. в качестве самостоятельной научной дисциплины выделилась палеогеография.

В этот же период во всех ведущих странах мира возникли национальные геологические службы, систематически осуществлявшие геолого-съемочные работы. Успехи региональной геологии выдвинули на первый план необходимость международного сотрудничества геологов в целях унификации стратиграфической шкалы как основы геологического картирования и реализации крупных геологических проектов, что нашло отражение в организации международных геологических конгрессов.

Конец XIX — начало XX в. — время нового качественного перелома в развитии геологии. Новый период развития геологии, который продолжался до 60-х годов XX в., получил в литературе название «критического». В связи с открытием радиоактивности была подорвана физическая основа концепции контракции. Новые данные по строению складчатых сооружений, в частности открытие шарьяжей с большой амплитудой горизонтальных перемещений, также отвергали классический вариант теории контракции. Вместо ее появлялись все новые и новые тектонические гипотезы, в большинстве своем противоречащие друг другу. В поисках механизма тектогенеза ученые шли разными путями. Выдвигались гипотезы, в которых основная роль отводилась горизонтальным движениям (А. Вегенер, Ф. Тейлор, А. Холмс, Дж. Джели и др.). Другие гипотезы отстаивали примат вертикальных тектонических движений (Р. Беммелен, Б. и Р. Виллисы и др.). Швейцарский геолог Э. Арган (1879—1940), анализируя современные тектонические гипотезы, в 1924 г. сторонников первого направления назвал мобилистами, второго — фиксистами. В 30—50-е годы мобилистские концепции были почти полностью отвергнуты и мобилизм в целом потерпел временное поражение.

Ломка старых представлений началась в других областях геологии, например так называемый «кризис магмы» — острая дискуссия по вопросу происхождения магмы, в особенности образования гранитов, продолжалась несколько десятилетий и не вполне закончилась в наши дни. Эволюционное учение Ч. Дарвина также подвергалось ревизии, наметился определенный возврат к ламаркизму.

Между тем геология, как и естествознание в целом, стала развиваться более быстрыми темпами. Если на протяжении предшествующих периодов геологи довольствовались познанием внешней стороны геологических процессов и явлений, то теперь появилась возможность проникновения в их внутреннее содержание, определения физической и химической сущности этих процессов.

С одной стороны, увеличение разнообразия решаемых проблем и конкретных методов исследования усилило начавшийся ранее процесс дифференциации геологических наук. В составе геологии выделился ряд новых научных дисциплин, таких, как литология, геоморфология, инженерная геология, геокриология и др. С другой стороны, определяющим в процессе развития геологии на этом этапе стал процесс интеграции, взаимного проникновения геологии, физики, химии, биологии, а также взаимодействия отдельных

научных дисциплин внутри геологических наук. Кристаллохимический уровень изучения вещества дал резкий импульс развитию минералогии, геохимии. Широкое развитие геофизических методов исследования позволило изучить строение и состав внутренних геосфер и впервые создать модель оболочечного строения Земли. Измерения силы тяжести с подводных лодок позволили открыть зоны резких отрицательных гравнаомалий, связанных с глубоководными желобами, а данные сейсмологии — погружающиеся на большую глубину наклонные сейсмфокальные зоны, выходящие в эти желоба.

В 60-х годах XX в. геология пережила новую научную революцию. Она была связана прежде всего с началом широкого и многопланового исследования ложа Мирового океана. Геология по существу превратилась в глобальную науку, изучающую как континенты, так и океаны. Освоение космического пространства дало возможность не только непосредственно изучить земное и метеоритное вещество, но и получить образцы лунного грунта для наземных исследований, а также произвести спектральные анализы вещества планет Солнечной системы, составить тектонические карты планет и их спутников. Проникновение в геологию новых физических и химических методов исследования позволило создать модели строения глубинных оболочек Земли и протекающих там процессов. Изучение минерального вещества на уровне зерен и отдельных их фрагментов с помощью микронзонда позволило уточнить химический состав минералов и горных пород, восстановить термодинамические обстановки их формирования. Успехи радиогеологии впервые дали возможность расшифровать историю становления и внутреннюю структуру древних, докембрийских, комплексов. Тем самым историческая геология перестала быть геологией только фанерозоя, но распространила диапазон своих исследований почти на всю историю Земли, начиная с 4 млрд лет до н. э. Изучение отношений изотопов отдельных химических элементов проложило новый путь к выяснению происхождения горных пород и полезных ископаемых.

Главная особенность этого периода — возрождение идей мобилизма и появление новой тектонической концепции тектоники литосферных плит — первой подлинно научной теории в истории геологии.

В настоящее время геология насчитывает более 100 самостоятельных научных дисциплин, образовавшихся в процессе дифференциации и интеграции геологических наук. Наиболее отчетливо на данном этапе проявляется процесс интеграции наук как внутри самой геологии, так и естествознания в целом. Особое значение имеет появление геодинамики, объединившей усилия геологов, геофизиков и геохимиков. В преддверии XXI в. геология снова находится на переломном этапе своего развития. Специфика настоящего момента состоит в попытке создать глобальную модель развития нашей планеты. Земля — это единая, закономерно построенная, открытая система. Процессы, происходящие на уровне ядра,

мантии, земной коры и других оболочек, а также их составных элементов, взаимосвязаны, поэтому и назрел вопрос о создании глобальной геодинамической модели эволюции Земли и составления ближайшего прогноза ее развития. Безусловно, это потребует дальнейшего взаимопроникновения различных дисциплин естествознания, их взаимодействия с техническими и социальными науками.

Итак, в ходе развития геологии наблюдались процессы дифференциации и интеграции науки. Выполняя специфические, только им свойственные функции, отдельные научные дисциплины органически связаны между собой. На первых этапах научного развития геологии в XIX в. определяющим являлся процесс дифференциации. Для более поздних периодов и современного состояния геологии ведущей тенденцией является процесс интеграции. Осуществляя общую задачу расширения и углубления познания нашей планеты, дифференциация и интеграция науки выражают диалектическую противоречивость познавательного процесса. Дифференциация предполлагает расчленение целостной научной системы на отдельные отрасли знания, интеграция же координирует и подчиняет отдельные дисциплины единой системе. При этом, чем шире и глубже происходит процесс дифференциации, тем большая возникает потребность в интеграции знаний. Геологическое знание по своей сути системно, поскольку в основу его положена системная модель. Объективный мир, познаваемый геологическими науками, диалектически противоречив. Он целостен и вместе с тем расчленен на элементы, при этом каждый элемент и система в целом обладают бесчисленным количеством характеристик, которые, взаимодействуя между собой, создают новые системы. Поэтому геология как интегральная наука на каждом этапе своего развития имеет свои особенности, обусловленные изменением объекта исследования, техническим уровнем познания и стоящими перед ней задачами. Особенностью единой геологической науки будущего, которую В. В. Белоусов предлагал назвать «геономией», является интегральное, всеохватывающее знание, сохраняющее внутри себя подразделение на более или менее узкие специализации.

Анализ особенностей развития геологии, историкографическое описание основных периодов ее развития показывают, что становление современной науки шло отнюдь не прямолинейно. Оно представляло сложный процесс, полный противоречий, спадов и подъемов, возвращений к старым идеям, борьбы различных гипотез, великих геологических споров, продолжавшихся многие десятилетия, затем на новом уровне знаний вновь приобретающих значительную остроту. «Прошлое научной мысли рисуется нам каждый раз в совершенно иной и все новой перспективе. Каждое научное поколение открывает в прошлом новые черты... Случайное и неважное в глазах ученых одного десятилетия получает в глазах другого нередко крупное и глубокое значение» — эти слова

В. И. Вернадского позволяют нам выделить некоторые особенности развития геологии в общей системе знаний.

Особый интерес представляет специфика переломных моментов развития геологии, которые совпадают с тенденциями общего развития естествознания. Введенное Т. Куном понятие о научных революциях, по мнению В. Е. Хаина, явилось само по себе революцией в разработке истории наук и подвело научную основу под периодизацию этой истории. Происходили ли научные революции в геологии? Если рассматривать геологию как одну из фундаментальных дисциплин естествознания, то априори можно дать положительный ответ на этот вопрос, поскольку научные революции — это естественный, закономерный процесс в ходе развития науки, когда периоды спокойного, эволюционного развития сменяются всплеском научного творчества в рамках новой теоретической концепции. Но в литературе постоянно дискутируется вопрос о зрелости геологии как науки, принципах ее периодизации, о количестве научных революций.

Геологические знания развивались параллельно с развитием человеческой цивилизации. Но когда говорят о геологии как самостоятельной научной дисциплине, то обычно указывается дата ее появления в начале XIX столетия (с некоторым отклонением в ту или иную сторону). К тому времени естествознание при ведущей роли механики уже имело 200-летнюю историю. Научная революция XVII в. оказала огромное влияние на историю человечества, гелиоцентрическая модель Н. Коперника, новая картина мира, законы механики И. Ньютона стали принципами мышления ученых. Классическая схема развития науки — от теории к эксперименту и вновь к теории — до сих пор остается идеалом научного поиска.

Историческое запаздывание научного созревания геологии было обусловлено несколькими причинами. Одной из них являлось то, что геологический объект и геологическая реальность отличаются от механической, астрономической или физической реальностей. Геологический объект имеет интерференционную природу, поскольку складывается из множества разнокачественных субстанций, и создать строгую теоретическую модель такой реальности труднее, чем дать описание движения небесных тел. Поэтому теоретическая парадигма естествознания XVII—XVIII вв. оказалась более благоприятной для точных наук, которые находились в привилегированном положении ко всем прочим знаниям, в том числе и геологическим. Второй причиной явилось то, что теоретические концепции геологии, выдвигаемые в то время, носили частный характер и опирались, с одной стороны, на традиции непутизма и плутонизма, а с другой — еще продолжали испытывать влияние религиозных догматов (сотворение мира, Всемирный потоп).

Поэтому простые истины, установленные в конце XVIII — начале XIX в. английским землемером В. Смитом, очень быстро обернулись новой универсальной системой расчленения и сопос-

тавления геологических образований. Биостратиграфический метод В. Смита поднял геологические исследования на качественно новый уровень, позволив уже к 40-м годам XIX в. создать основы относительной геохронологии фанерозоя. В начале XIX в. появилась и первая тектоническая концепция «кратеров поднятия», разработанная Л. Бухом и А. Гумбольдтом. Эта первая основополагающая научная революция в геологии отвечала этапу общего перелома в развитии естествознания, когда оно утратило свой чисто «механистический» характер. Успехи химии позволили перейти на химический уровень исследования минералов и дать их первую научную классификацию.

Вторая научная революция в геологии относится к середине XIX в. и характеризуется торжеством эволюционного учения Ч. Ляйеля и Ч. Дарвина, появлением новой тектонической концепции — гипотезы контракции и изобретением поляризационного микроскопа.

Третья научная революция в геологии, произошедшая на рубеже XIX и XX вв., отвечает новому переломному этапу развития естествознания, когда лидирующее положение заняла физика. Кризис геологии начала XX столетия сказался в основном в тектонике, отчасти в петрологии и был обусловлен невозможностью адекватного истолкования быстро накапливающегося фактического материала. Новая парадигма в геологии восторжествовала в 30—50-е годы и имела четко фиксистский характер, базируясь на чисто эмпирическом учении о геосинклиналях. Между тем успехи физики и кристаллохимии послужили основой для внедрения в геологию геофизических и геохимических методов, что определило новый уровень исследования строения нашей планеты и слагающих ее горных пород и минералов.

Глубочайшую революционную перестройку испытала геология в 60-х годах XX в. Она выразилась прежде всего в смене фиксистской парадигмы мобилистской теорией тектоники литосферных плит. Широкомасштабное исследование геологии дна Мирового океана, исследование Земли и других планет Солнечной системы, успехи, достигнутые в сейсмологическом изучении Земли, в глубинном зондировании океанической и континентальной коры, в геохимических, изотопных исследованиях горных пород мантийного и корового происхождения, космогеодезические методы измерения движения литосферных плит, цифровая революция в геофизике открыли новые возможности для развития геологии.

В настоящее время угадываются признаки новой научной революции в естествознании, которые проявляются в сближении гуманитарного и естественного комплексов наук, базирующемся на представлении о принципиальной нелинейности реальных процессов.

Признаки новой научной революции все более заметны в настоящее время в геологии. Данные сейсмической томографии, сравнительный анализ геологии планет Солнечной системы, спутниковая альтиметрия, данные изотопной геохимии, математическое

моделирование, физический эксперимент при сверхвысоких давлениях дали ключ к пониманию глубинных процессов, идущих в нижней мантии и на границах ядро — мантия, внешнее — внутреннее ядро. Оказалось, что эти данные лежат за рамками применения современной парадигмы геологии — тектоники литосферных плит. Тектоника литосферных плит — это тектоника верхних оболочек Земли, вероятно, она применима в классическом варианте только для нашей планеты.

На повестку дня сегодня поставлена задача создания подлинно глобальной геодинамической модели Земли, изучения ее геодинамической эволюции, определения ее места в общем эволюционном ряду планет земной группы. Глобальная модель Земли должна учитывать и рассматривать геодинамические процессы разного ранга во взаимосвязи. Геологические объекты обладают признаками самоподобия и самоорганизации, находятся в неравновесном состоянии под нагрузкой в течение длительного времени, для них характерны различные флуктуации, вызывающие хаотичность протекающих в них процессов во времени и в пространстве. Следовательно, геологические объекты фрактальны. Как известно, Земля представляет собой открытую природную систему, исследованием изменчивости состояний подобных неравновесных макросистем занимается нелинейная термодинамика. В геологии, как и в других областях естествознания, нелинейные процессы проявляются в широком диапазоне. Ряд оригинальных моделей эволюции различных структур Земли в контексте нелинейной геодинамики предложил недавно Ю. М. Пушаровский. Всю геологическую историю Земли можно представить как цепь эпизодов потери устойчивости, обусловленной фрактальностью ее оболочек, влиянием космических факторов. Например, с позиции концепции детерминированного хаоса уже сейчас рассматриваются проблемы сейсмичности, структурообразования, геохимические процессы. Отражением нелинейности является влияние незначительных отклонений орбиты Земли на ее эндогенную активность, изменения климата, биосферы и других оболочек нашей планеты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная геология, возникнув на рубеже XVIII и XIX столетий, вплотную подошла к своему двухвековому юбилею. Каковы же главные итоги ее развития за эти двести лет?

Три основных направления можно выделить в этом развитии. Первое из них — теоретическое, мировоззренческое. На этом направлении геологии предстояло объяснить происхождение и последующее развитие структуры твердой Земли, ее былую и современную тектоническую, сейсмическую и вулканическую активность. Решающие успехи на этом направлении были достигнуты лишь в последние три десятилетия, после открытий, создавших основу тектоники литосферных плит. Но и эта теория не полностью удовлетворила любознательность геологов, и в настоящее время предпринимаются усилия по созданию более всеобъемлющей, включающей тектонику плит как частный элемент, концепции глобальной геодинамики, полнее отвечающей понятию «теории Земли», сформулированному Дж. Хаттоном два века назад. Зато можно отметить, что в последние десятилетия геология вышла за свои чисто земные рамки и благодаря успеху космических исследований стала частью более обширной области естествознания — сравнительной планетологии.

Далее следует упомянуть некоторые частные тенденции, обогатившиеся в последние годы, не нашедшие должного отражения в основном тексте книги и вносящие свой вклад в решение задачи создания «теории Земли».

Во-первых, это исследования, направленные на глобальную корреляцию таких, казалось бы, мало связанных друг с другом процессов, как колебания уровня Мирового океана, кривая которых для фанерозоя была разработана П. Вейлом с коллегами на основании данных сейсмостратиграфии пассивных окраин океанов, частота инверсий геомагнитного поля, тектоническая фаза растяжения и сжатия и разнообразная магматическая активность. В последнее время наиболее интересные работы в этой области были опубликованы Е. Е. Милановским.

Во-вторых, все более заметным становится повышенный интерес к явлениям растяжения в земной коре. В течение долгого времени основное внимание геологов было сконцентрировано на проявлениях сжатия, на проблеме происхождения складчатости. Континентальные рифты первоначально рассматривались как некий исключительный феномен, свойственный новейшему этапу развития земной коры. Открытие погребенных древних рифтов — авлакогенов, а также океанских рифтов заставило по-другому оценить значение рифтинга, а значит и растяжения вообще в развитии

земной коры. А теперь выясняется большая роль процессов растяжения на заключительном этапе развития орогенов. Не только денудация горных сооружений, но и растяжение ответственны за отсутствие «корней» у древних складчатых систем. Растяжение же способствует выведению на поверхность в осевых зонах орогенов пород, в частности эклогитов, которые претерпели погружение на огромные глубины, о чем свидетельствует обнаружение в них минералов ультравысоких давлений — коэсита и разновидности роговой обманки — маджорита, встречающегося в виде включений в кимберлитах. Вообще проблема пород и минералов, образующихся в условиях ультравысоких давлений в настоящее время находится в центре внимания минералогов и петрологов.

С растяжением и порожденным им, вместе с мантийным диапиризмом, рифтингом связано образование осадочных бассейнов —местилищ залежей нефти и газа и ряда других полезных ископаемых. Изучение осадочных бассейнов превратилось в последнее десятилетие в самостоятельное научное направление. Оно включает исследование истории погружения этих бассейнов, восстанавливаемой с помощью математического моделирования. С этой историей увязываются исследование нефтегенерационного потенциала отдельных бассейнов и соответственно оценка их перспективности на нефть и газ. Остается не вполне решенной проблема факторов, способствующих погружению бассейнов, поскольку одного, наиболее очевидного фактора — остывания выстула астеносферы — «мантийного диапира», образующегося под рифтами, оказывается недостаточным для объяснения наблюдаемого масштаба погружения. В развитии учения о рифтинге и осадочных бассейнах велика роль швейцарского ученого П. Циглера.

В связи с учением о бассейнах следует отметить концепцию А. П. Лисицына о лавинной седиментации в океанах, два уровня которой он различает. Один на границе континент—океан, где происходят разгрузка обломочного материала в дельтах рек и его разнос вдольбереговыми течениями, и другой — в зоне континентального склона и подножия. Именно на этих двух уровнях формируются наиболее мощные осадочные призмы пассивных окраин континентов, вдоль которых образуются наиболее продуктивные нефтегазонасыщенные осадочные бассейны.

Второе главное направление развития геологии — прикладное, связанное с поисками и разведкой полезных ископаемых. Начав с меди, железа и угля, геологи, откликаясь на нужды промышленности, последовательно вовлекали в орбиту своих исследований все новые и новые виды полезных ископаемых, пока к концу нашего века не охватили практически всю таблицу Менделеева, добравшись до урана, редких металлов и редких земель. Можно ли считать, что в грядущем веке нам угрожает истощение минеральных ресурсов? Думается, что серьезных оснований для столь мрачного прогноза не имеется, даже в отношении столь интенсивно разрабатываемых залежей нефти и газа. По существующим сейчас оценкам, запасов газа хватит на 60 лет, нефти — на 50 лет.

Но опыт показывает, что подобные оценки в прошлом неизменно оказывались слишком осторожными. Можно отметить, что практически незведанными остаются западная подводная окраина Северной Африки, восточная окраина Африки начиная с Сомали на севере, восточная арктическая окраина России, не говоря уже о шельфе Антарктиды и омывающих ее морей.

Огромные нетронутые еще запасы металлических полезных ископаемых лежат на дне океанов, вокруг относительно недавно обнаруженных здесь гидротерм. Они включают не только черные (железо, марганец), не только цветные (медь, цинк, свинец), но и драгоценные (золото) металлы. Использование этих полезных ископаемых — задача скорее технологическая, нежели геологическая.

Третье главное направление развития геологии, также прикладное, относительно молодое, первоначально могло определяться как инженерно-геологическое, поскольку оно было связано с геологическим обеспечением строительства крупных инженерных сооружений, таких как гидро-, а затем и атомных электростанций и т. п. Но в последние четверть века и особенно в последние годы это направление переросло в гораздо более широкое — геоэкологическое, включив изучение окружающей геологической среды с целью предупреждения наступления таких природных катастроф, как землетрясения, вулканические извержения, крупные обвалы и оползни, а также мониторинг более медленных, но не менее важных неблагоприятных изменений этой среды, таких как возможное, но спорное глобальное потепление, изменение уровня Мирового океана и внутренних водоемов, в частности Каспия и Арала, разрастание пустынь, в частности Сахары, и т. п.

В то время как развивающиеся страны остаются основными поставщиками минерального сырья, в промышленно развитых странах Северной Америки, Европы и отчасти Азии (Япония), где ресурсы этого сырья ограничены или исчерпаны, геоэкологическое направление стало или становится основным в прикладной геологии. И все большее количество студентов-геологов избирает геоэкологию своей будущей специальностью. Учитывая все возрастающую заботу человечества о сохранении окружающей среды для будущих поколений, можно предвидеть дальнейшее возрастание значения данного направления в прикладной, а соответственно и теоретической геологии. Последнее следует из того, что геоэкология — типичный продукт интеграции наук, включающий динамическую и историческую (четвертичную) геологию, геохимию, гидрогеологию, нефтегазовую геологию и другие дисциплины.

---

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

- Белоусов В. В. Очерки истории геологии. У истоков науки о Земле (Геология до конца XVIII века). М., 1993. 267 с.
- Вернадский В. И. Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981. 362 с.
- Диалектика процесса познания. М.: Изд-во МГУ, 1985. 364 с.
- Имбри Дж., Имбри К. Тайны ледниковых эпох. М.: Прогресс, 1988. 262 с.
- Катастрофы и история Земли: Новый униформизм. М.: Прогресс, 1986. 366 с.
- Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975. 222 с.
- Методы теоретической геологии. Л.: Недра, 1978. 335 с.
- Поваренных А. С., Оноприенко В. И. Минералогия: прошлое, настоящее, будущее. Киев, 1985. 159 с.
- Смирнов В. И. Плутонизм и непутизм в развитии учения о рудных месторождениях. М.: Наука, 1987. 91 с.
- Современные идеи теоретической геологии. Л.: Недра, 1984. 279 с.
- Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии (Геология на пороге XXI века). М.: Наука, 1994. 188 с.
- Хэллем А. Великие геологические споры. М.: Мир, 1985. 216 с.
- Шафрановский И. И. История кристаллографии XIX века. Л.: Недра, 1980. 333 с.

### Дополнительная

- Гордеев Д. И. История и методология геологических наук. М.: Изд-во МГУ. Ч. 1. 1967. 315 с.; Ч. 2: 1972. 322 с.
- История геологии. М.: Наука, 1973. 388 с.
- Кедров Б. М. Классификация наук. М.: Мысль, 1985. 540 с.
- Леонов Г. П. Основы стратиграфии. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1973. 530 с.
- Николис Г., Пригожин И. Р. Познание сложного. Введение. М.: Мир, 1990. 344 с.
- Обручев В. А., Зотина М. Эдуард Зюсс. М.: Изд-во журн.-газ. объединения, 1937. 232 с.
- Резанов И. А. История геотектонических идей. М.: Наука, 1987. 253 с.
- Тихомиров В. В., Хаин В. Е. Краткий очерк истории геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 259 с.
- Хомизури Г. П. Развитие понятия «геосинклиналь». М.: Наука, 1976. 235 с.
- Шатский Н. С., Яншин А. Л. Портреты геологов. М.: Наука, 1986. 302 с.
- Ellenberger F. Histoire de la geologie. Paris. Т. 1. 1988. 352 p.; Т. 2. 1994. 381 p.

## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абих В. 105  
 Агассис Ж. Л. 64, 65  
 Альберт (Великий) 22  
 Альберти Ф. 50  
 Альварес Л. 167  
 Альварес У. 143, 167  
 Альдровандус 32  
 Амферер О. 112, 142  
 Анаксимандр 14  
 Анаксимен 14  
 Андрусов Н. И. 132  
 Арган Э. 10, 115, 118, 154, 206  
 Ардуино Дж. 38, 39, 46, 50  
 Аристарх Самосский 6, 204  
 Аристотель 14—16, 22, 32, 194, 204  
 Арльдт Т. 133, 205  
 Артюшков Е. В. 115  
 Архангельский А. Д. 3, 85, 122, 123, 131, 135
- Баррел Дж.** 126, 133, 197  
 Барсуков В. Л. 163  
 Бауман В. И. 106  
 Бауэр Г. (Агрикола) 10, 24, 25  
 Бекке Ф. 98, 99  
 Бекленд У. 55, 61, 64, 65  
 Белов Н. В. 127  
 Белоусов В. В. 4, 8, 10, 114, 115, 119, 126, 132, 139, 147, 154, 172, 194, 208  
 Беммелен Р. В. 113, 139, 154, 206  
 Бенюф Г. 144  
 Бергман Т. О. 38  
 Берд Дж. 155  
 Берналл Дж. 176  
 Бертран М. 78  
 Берцелиус И. Я. 67  
 Билибин Ю. А. 137  
 Бируни (Абу Рейхан аль Бируни) 12, 19—21, 116  
 Блэкет П. 143  
 Богданов А. А. 3  
 Богданович К. И. 80, 84, 136  
 Болтвуд Б. 133  
 Бомон Эли (Эли де Бомон) 11, 32, 53, 55, 76, 77, 80, 112  
 Борисьяк А. А. 3, 59, 118  
 Боуэн Н. Л. 130  
 Браве О. 70  
 Брэгг У. Г. 10, 127
- Брэгг У. Л. 127  
 Брод И. О. 125, 134  
 Броньяр Ал. 57  
 Броньяр Ал. 49, 50, 57  
 Бруно Дж. 18, 196  
 Брюн Я. 153  
 Буллен К. 126  
 Буллард Э. 143  
 Бунзен Р. 128  
 Буридан Ж. 22  
 Бух Л. 10, 46, 51—55, 65, 66, 70, 210  
 Бухер У. 113, 140, 194  
 Бушинский 129  
 Бэкон Ф. 116  
 Бюффон Ж. 10, 31, 33, 34, 37, 196
- Вадати К.** 144  
 Вайн Ф. 142, 154  
 Вальтер И. 90, 194, 205  
 Валлиснери А. 31  
 Ван-Хайз И. 99, 103, 130  
 Вассоевич Н. Б. 132, 135  
 Вашингтон Г. 126  
 Вебер В. В. 134, 135  
 Вегенер И. 3, 115—118, 133, 140, 141, 143, 206  
 Вейл П. 213  
 Вейс Х. 69  
 Венинг-Мейнес Ф. 112, 142  
 Вернадский В. И. 3, 5, 10, 35, 38, 67, 100, 102, 127—130, 176—178, 192  
 Вернер А. Г. 11, 40—44, 46, 47, 51  
 Винер Н. 184  
 Виноградов А. П. 130, 133, 163  
 Виллис Б. 114, 206  
 Виллис Р. 114, 206  
 Вилсон Дж. 10, 143, 144, 147, 151, 153, 164, 188  
 Виссер Л. 144  
 Вихерт Э. 108, 127  
 Вольф Хр. 35  
 Вудхауз У. 152  
 Высоцкий Б. П. 9
- Галилей Г. 18, 196  
 Гамбурцев Г. А. 127  
 Гаррелс Р. 129  
 Гасс И. 154  
 Гаусс К. 105, 106  
 Гаюи Р. Ж. 69, 70  
 Гейм А. 78

- Геккер Р. Ф. 133  
 Гельмерсен Г. П. 85  
 Генкель И. 35, 37  
 Генсло Дж. 72  
 Гераклид 17  
 Геродот 15  
 Геснод 14  
 Геттар Ж. Э. 39  
 Гефер Г. 105  
 Гзовский М. В. 125, 183  
 Гильберт Г. 95  
 Гильберт У. 105, 106  
 Гиллули Дж. 124  
 Гинзбург И. И. 129  
 Годри А. 111  
 Голицын Б. Б. 108, 109, 126  
 Гольдшмидт В. М. 10, 101, 102, 126, 127, 129  
 Головкинский Н. А. 53, 90, 91, 132, 194, 205  
 Гомер 14  
 Гордеев Д. И. 3, 4, 9  
 Гофф К. 64  
 Граутшольд Г. А. 92  
 Гребо А. 113  
 Гресли А. 3, 89, 194, 205  
 Григгс Д. 112  
 Григорий I 18  
 Гримм Р. 128  
 Грубенман У. 99  
 Грот П. 10, 100—102  
 Губкин И. М. 201  
 Гудчайлд Д. 196  
 Гук Р. 30, 31  
 Гукер Д. 71, 75  
 Гумбольдт А. 11, 18, 51—54, 70, 106, 210  
 Гутенберг Б. 126
- Дальримпл Б. 142  
 Дарвин Дж. 141  
 Дарвин Ч. 3, 71—75, 177, 196, 205, 208, 210  
 Дарси А. 96  
 Декарт Р. 11, 26, 27, 30, 32, 46, 196  
 Дели Р. 131  
 Демаре Н. 39, 51  
 Деттон К. 108  
 Дитц Р. 141, 142, 144, 145, 155  
 Диккинсон У. 144  
 Джеффрис Дж. 119  
 Джоли Дж. 112, 118, 206  
 Дзевонски А. 152  
 Добре Г. 96, 98  
 Докучаев В. В. 95, 96, 137  
 Долло Л. 75, 76, 193  
 Дозлл Р. 142  
 Дрейк И. 155  
 Дэвис В. 11, 95, 96  
 Дэна Дж. 11, 50, 81—83, 94, 100  
 Дюбуа-Реймон Г. 71
- Дюроше Ж. 98  
 Дьюн Дж. 155
- Еремеев П. В. 67, 100
- Жариков В. А. 130  
 Жемчужников Ю. А. 135
- Заварицкий А. Н. 131, 144, 189  
 Залесский М. Д. 135  
 Зандбергер Ф. 103  
 Зобак М. Л. 152  
 Зоненшайн Л. П. 148  
 Зондер Р. 125  
 Зюсс Э. 3, 10, 78—80, 84, 85, 96, 111, 116, 126, 138, 205
- Ибн Сина (Авиценна) 12, 19—21, 22  
 Иванов Г. А. 135  
 Изакс Б. 145  
 Изох Э. П. 13  
 Ильин В. С. 137  
 Имбли Дж. 4  
 Иностранцев А. А. 90, 92, 97, 194  
 Иноходцев П. Б. 106
- Казаков А. В. 129  
 Кант И. 32, 34, 35, 46, 196  
 Карпинский А. П. 3, 10, 80, 84, 85—88, 89, 92, 97, 110, 132, 194  
 Каттерфельд Г. Н. 163  
 Кедров Б. М. 176, 179, 180, 189  
 Кельвин (У. Томсон) 141, 196  
 Келлер Б. М. 133  
 Кёппен В. 133  
 Кирхгофт Г. 128  
 Кларк Ф. 129  
 Клоос Г. 125  
 Кобер Л. 80, 112  
 Ковалевский В. О. 75, 76  
 Койре А. 6, 176  
 Кокс А. 106, 142  
 Кокшаров Н. И. 67, 100  
 Коннибир В. 50  
 Коперник Н. 6, 22, 196, 209  
 Коржинский Д. С. 130, 136, 187  
 Коссмат С. 112, 142  
 Котта Б. 103  
 Краус Э. 112, 142  
 Крашенинников Г. Ф. 135  
 Крольц Дж. 94  
 Кронштедт А. Ф. 38  
 Кропоткин П. А. 66, 80  
 Крумбейн У. 129, 132  
 Ксанф 17  
 Ксенофан 17, 204  
 Кумазова М. 169  
 Кун Т. 176, 177, 182, 186, 209  
 Куно Х. 144  
 Кэй Дж. М. 122, 155  
 Кэри У. 121, 141

Кювье Ж. 3, 11, 40, 47, 49, 55—60, 196

Ламарк Ж. Б. 57, 58, 129

Ланге О. К. 137

Ланев В. С. 161

Лаплас П. 32, 34, 35, 46, 196

Ларошель А. 142

Ларсон Р. 143

Лауэ М. 102

Лебедев А. Ф. 137

Левинсон-Лессинг Ф. Ю. 84, 97, 98

Лейбниц Г. 11, 30—32, 196

Лейст Э. Е. 106

Ле Конт Ж. 104

Леман И. Г. 39, 40, 126

Леонардо да Винчи 11, 23, 32, 46, 194

Леонов Г. П. 48

Леонов Н. Н. 20

Ле Пишон Кс. 142, 145, 146

Линдгрэн В. 136

Лисицын А. П. 162, 213

Ли Сиэнь 21

Личков Б. Л. 118

Лобковский Л. И. 186

Ломоносов М. В. 6, 11, 35—38, 46, 54, 64, 67

Лонгвелл И. 112

Лоне Л. 103, 104

Лукашевич И. Д. 85, 93, 99, 130

Лукреций 16, 17

Любимова Е. А. 111

Людзон М. 113, 119

Ляйель Ч. 3, 11, 51, 60—64, 65, 66, 70—72, 75, 77, 94, 96, 196, 201, 205

Магеллан 22

Максвелл А. 143

Маккензи Д. 147

Мальденброт Б. 181, 191

Маржери Э. 84

Маруяма С. 169

Маслов Н. Н. 138

Менард Г. 144

Менделеев Д. И. 105, 128

Мерчисон Р. З. (Мурчисон) 3, 50, 61, 65, 66

Мещеряков Ю. А. 125

Микулинский С. Р. 176

Миланкович М. 94, 95, 167

Милановский Е. В. 84, 126

Милановский Е. Е. 3, 115, 196, 213

Милл Дж. 108

Мирчинк Г. Ф. 118, 124

Митчел Дж. 39

Михайловский Г. П. 105, 135

Мишель-Леви А. 97, 98

Морли Л. 142

Моро А. Л. 30, 31, 43, 46

Моррис С. 167

Москвин М. М. 133

Мохоровичич А. 126

Мушкетов И. В. 80, 95, 97

Мэттьюз Д. 142, 154

Найдин Д. П. 3

Наливкин В. Д. 133

Науман К. 50, 89, 129

Неймайр М. 92, 93

Нигли П. 99, 136, 137

Никитин С. Н. 96, 97

Николаев Н. И. 3, 124

Ньютон И. 177, 178, 209

Обручев В. А. 3, 10, 79, 80, 113, 124, 138, 140

Овидий 15—17

Ог Э. 82—85, 119, 122

Озерский А. Д. 90

Олнвер Дж. 145

Омалиус де Аллуа Ж. Б. 50

Орбини А. 50

Отоцкий П. В. 137

Офисер М. 155

Павлов А. П. 85, 88, 89, 95, 96, 132, 163

Палисси Б. 23, 24, 32

Паллас П. С. 42, 43

Пауэлл Д. 95, 96

Пейве А. В. 125, 154

Пейдж А. 7

Пенк А. 95

Пенк В. 95, 96

Перрен Р. 131

Питмен У. 142, 143, 157

Планк М. 177

Пласе Ф. 116

Платон 13

Плейфер Дж. 46

Плиний (младший) 16

Повареных А. С. 128

Погребницкий Е. О. 135

Полканов А. А. 131

Полынов Б. Б. 129

Попов И. В. 138

Поппер К. 176

Потонье Г. 105, 135

Пошепни Ф. 96, 104

Пратт Дж. 107, 108

Пригожин И. Р. 181, 182, 193

Приклонский В. А. 138

Пронин А. А. 124

Птолемей 18, 23

Пустовалов Л. В. 131, 132

Пушаровский Ю. М. 211

Раби В. 125

Радкевич Е. А. 136, 137

Рамберг Г. 125, 183

Ранкорн К. 143  
Ребер-Павшиц Э. 108  
Ревелл Р. 141, 143  
Резанов И. А. 8  
Резерфорд Э. 133, 197  
Реневьс Э. 197  
Ревер О. 153  
Рихман Г. В. 31  
Розенбуш Г. 97—99  
Романовский Г. Д. 53  
Романовский С. И. 91  
Роме де Лилль Б. 6, 37, 69  
Ронов А. Б. 132  
Ротэ Ж. 144  
Ротплетц А. 112  
Рулье К. Ф. 59, 66  
Русанов М. С. 161  
Рухин Л. Б. 131—133  
Рябухин А. Г. 3

**Саваренский Ф. П. 138**  
Садовский М. А. 184  
Сайкс Л. 144, 145  
Сартон Дж. 176  
Севергин В. М. 38, 51, 67—69, 205  
Седерхольм Я. 99, 131  
Седжвик А. 50, 59, 60  
Сенека 16  
Сент-Илер Ж. 58, 59  
Сергеев Е. М. 138  
Слейтер Дж. 150, 151  
Смирнов В. И. 4, 46, 136  
Смирнов С. С. 131, 137  
Смирнов Ю. П. 161  
Смит В. 46, 47—49, 196, 209  
Соболев В. С. 201  
Соколов Д. И. 53, 70, 85  
Соловов А. П. 130  
Сорби К. 97, 178, 205  
Сорохтин О. Г. 150, 151  
Соссюр Г. Б. 42, 47, 51  
Спакман В. 138  
Спёрр Дж. 104, 136  
Стенон Н. 6, 10, 21, 27—32, 37, 38, 46, 194  
Степанов П. И. 135  
Стокс Г. 107  
Стопс М. 135  
Страбон 15, 194, 204  
Страхов Н. М. 131—133, 162, 187, 194  
Стретт Р. 111  
Сумгин М. М. 138

Тальбот Ф. 205  
Тальвани М. 142  
Талени Р. 106  
Татариннов Ю. Б. 175  
Твалчрелидзе Г. А. 136  
Твенхофел У. 131  
Тейлор Ф. 115, 116, 206

Теодорович Г. И. 132  
Теофраст 15  
Термье П. 119  
Тетяев М. М. 113  
Терцаги К. 138  
Тихомиров В. В. 4, 9  
Тольманн А. 13, 167  
Тольман Х. 13, 167  
Толстихин Н. И. 137  
Торп Т. 141  
Торрель О. М. 66

Уайт И. 105  
Удинцев Г. Б. 115  
Уикс Л. Г. 134  
Улугбек 21  
Умгрове Дж. 113  
Уоллес А. П. 71  
Усов М. А. 113, 140  
Усов П. С. 98

Фалес 14, 17  
Ферсман А. Е. 10, 67, 129, 136  
Федоров Е. С. 10, 98, 101, 127  
Филлипс Дж. 50  
Фишер О. 6  
Франклин Б. 116  
Фуке Ф. 97  
Фюксель Г. Х. 39, 40, 46, 204

Хаарман Э. 113  
Хабаков А. В. 163  
Хаббар М. 125  
Хазертон Т. 144  
Хаккен Г. 181  
Хант Т. С. 105  
Ханн В. Е. 3, 4, 9, 88, 132, 134, 193, 209  
Хаттон Дж. (Геттон) 11, 19, 43—46, 53, 54, 64, 196, 201, 212  
Хейзен Б. 121, 141  
Хейртилер Дж. 142  
Хейс Дж. 157  
Херасков Н. П. 132  
Хессе Г. 10, 141, 145, 153, 155, 156  
Хильгенберг О. 121  
Хоббс Н. 125, 163  
Холден Дж. 155  
Холл Дж. 11, 80—83, 85, 109  
Холмс А. 6, 112, 119, 131, 133, 141, 142, 197, 206  
Хорнс М. 50  
Хэллем Э. 4, 44

Циглер П. 214  
Циркель Ф. 97  
Циттель К. 51  
Цытович Н. А. 138

Чекановский А. Л. 80  
Чернов В. Г. 3

Чернышов Ф. Н. 80  
Черский И. Д. 80, 95  
Чжу Си 21

Шарапов Н. П. 8, 192  
Шардт Д. 113  
Шарпантье И. Г. 65  
Шатский Н. С. 3, 10, 119, 122—124,  
132  
Швиннер Р. 112, 142  
Шейхцер И. Я. 31  
Шенфлис А. 101, 127  
Шмидт Ф. Б. 66  
Шнейдерхен Г. 136, 137  
Штауб Р. 118, 154  
Штилле Г. 10, 80, 85, 112, 122—125,  
144, 194  
Штудер Б. 53, 78  
Шульц С. С. 124

Шухерт Ч. 92, 132

Щеглов А. Д. 164  
Щуровский Г. Е. 53, 66, 96

Эйнштейн А. 187  
Эльзассер В. 143  
Элленберже Ф. 18—20, 26  
Эммонс С. Ф. 103, 136  
Эммонс Э. 50  
Эмпедокл 17  
Эпикур 17  
Эри Дж. 108  
Этвеш Р. 108

Юннг Дж. 143  
Юннг М. 141, 143

Ясаманов Н. А.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

### РАЗДЕЛ I. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

<b>Глава 1. История геологических наук как самостоятельная дисциплина.....</b>	<b>5</b>
1.1. Объект и предмет истории геологических наук, цели, задачи.....	5
1.2. Основы периодизации истории геологии .....	7
<b>Глава 2. Донаучный этап развития геологических знаний .....</b>	<b>9</b>
2.1. Элементы геологических знаний в античном мире (Греция, Рим)	14
2.2. Средние века — упадок науки на Западе, расцвет на Востоке.....	18
2.3. Эпоха Возрождения (XV—XVII вв.). Леонардо да Винчи, Бернар Палисси, Николаус Стенон .....	22
2.4. Научная революция XVII в. — канун создания научной геологии .....	25
<b>Глава 3. Становление научной геологии (вторая половина XVIII столетия)</b>	<b>32</b>
3.1. Первые космогонические гипотезы и начало научной геологии.....	32
3.2. Противоречия в вопросе о роли внешних и внутренних процессов в развитии Земли (борьба нептунистов и плутонистов) .....	40
<b>Глава 4. Героический период развития геологии (первая половина XIX столетия)</b>	<b>47</b>
4.1. Рождение палеонтологии и биостратиграфии .....	47
4.2. Первая тектоническая гипотеза — гипотеза «кратеров поднятия»	51
4.3. Катастрофисты и эволюционисты — исторический спор двух научных лагерей .....	54
4.4. Ч. Ляйель и его книга «Основы геологии...» .....	60
4.5. Дискуссия по поводу происхождения экзотических валунов. Становление ледниковой теории .....	64
4.6. Успехи в изучении минералов .....	66
4.7. Создание первых геологических обществ и основание национальных геологических служб .....	70
<b>Глава 5. Классический период развития геологии (вторая половина XIX столетия)</b>	<b>71</b>
5.1. Геологические наблюдения Ч. Дарвина и влияние на развитие геологии его книги «Происхождение видов путем естественного отбора...» .....	71
5.2. Гипотеза контракции Эли де Бомона и ее развитие в трудах Э. Зюсса .....	76
5.3. Зарождение учения о геосинклиналях и платформах .....	80
5.4. Становление палеогеографии, геоморфологии и гидрогеологии.....	89
5.5. Развитие петрографии, минералогии, кристаллографии. Становление учения о полезных ископаемых .....	97
5.6. Первые шаги геофизики в изучении глубинного строения Земли	105
5.7. Начало международного сотрудничества геологов. Первые международные геологические конгрессы .....	109

<b>Глава 6. «Критический» период развития геологических наук (10—50-е годы XX в.)</b> .....	111
6.1. Кризис в геотектонике .....	111
6.2. Развитие других геологических наук .....	126
<b>Глава 7. Новейший период развития геологических наук (60—90-е годы XX в.)</b> .....	139
7.1. Становление тектоники плит .....	140
7.2. Подтверждение и расширение концепции тектоники плит .....	148
7.3. Распространение теории тектоники плит на другие области геологических наук. Рождение геодинамики, .....	156
7.4. Другие успехи геологических наук во второй половине XX столетия .....	158
7.5. Современное состояние и ближайшие перспективы геологических наук .....	164
7.6. Международное сотрудничество ученых-геологов .....	170

## РАЗДЕЛ II. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

<b>Глава 8. Особенности науки</b> .....	174
8.1. Определение понятия «наука», объект, предмет и задачи научного исследования .....	174
8.2. Основные особенности развития науки, понятие о научных революциях .....	176
8.3. Взаимосвязь наук. Науки — лидеры в развитии естествознания .....	179
<b>Глава 9. Принципы построения научного исследования</b> .....	182
9.1. Стратегия научного поиска: фиксация предмета поиска, постановка проблемы, определение задачи и методов исследования .....	182
9.2. Гипотетическая модель, основы ее построения .....	184
9.3. Теоретическая модель, основы ее построения и развития .....	185
9.4. Факты, их место и значение в научном поиске .....	187
<b>Глава 10. Некоторые философские вопросы геологии</b> .....	189
10.1. Геологическая форма развития материи .....	189
10.2. Законы в геологии .....	192
10.3. Время в геологии .....	195
10.4. Методы исследований в геологии .....	199
10.5. Общие закономерности развития геологических наук .....	203
<b>Заключение</b> .....	212
<b>Литература</b> .....	215
<b>Именной указатель</b> .....	216

Учебное издание

**Хаин Виктор Ефимович, Рябухин Анатолий Георгиевич**

**ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
НАУК**

Зав. редакцией *И. И. Щехура*

Редактор *Н. В. Барина*

Художественный редактор *Л. В. Мухина*

Переплет художника *В. В. Гарбузова*

Технический редактор *Г. Д. Колоскова*

Корректоры *В. А. Ветров, Н. В. Иванова*

Н/К  
Изд. лиц. № 040414 от 18.04.97

Сдано в набор 29.02.96. Подписано в печать 27.08.96.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага тип. № 1, Гарн. литературная.  
Печать высокая, Усл. печ. л. 14,0 Уч.-изд. л. 15,45  
Тираж 2000 экз. Заказ 507 Изд. № 5908

Ордена «Знак Почета» издательство Московского  
университета.  
103009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7  
Серпуховская типография Упрполиграфиздата  
Администрации Московской области