

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УХТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

О.В. Воловик

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Учебное пособие

УХТА 2002

УДК 55 (091)

В 68

Воловик О. В. История геологических наук: Учебное пособие. – Ухта: УГТУ, 2002. – 99 с.

ISBN 5-88179-159-2

Цель составления пособия по истории геологических наук – дать специалисту общее представление о ходе развития геологических наук, раскрыть принципиальные вопросы логики построения научного исследования; отразить современные представления о некоторых философских проблемах геологии. Важной задачей курса является изучение истории отечественной геологии на общем фоне развития геологических знаний. Творческое освоение курса предполагает самостоятельное изучение геологической и методологической литературы и написание реферата в плане курса.

Предназначается студентам специальности 080500 – Геология нефти; 080400 – Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, дневной и заочной форм обучения.

Учебное пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры Промышленной безопасности и охраны окружающей среды от 15.05.02 г. № 7 и предложено для издания.

Рецензенты: заведующий кафедрой ГМИС, к.г.м.н. В. А. Зыков;
ведущий инженер сектора патентно-лицензионных исследований и информации филиала ООО «ВНИИГАЗ»-«Севернипигаз» Т. А. Векшина.

© Ухтинский государственный
технический университет, 2002
© Воловик О. В., 2002

ISBN 5-88179-159-2

Оглавление

1. История геологических наук как самостоятельная дисциплина.....	5
1.1. Объект и предмет истории геологических наук, цели, задачи.....	5
1.2. Основы периодизации истории геологии.....	6
1.3. Законы в геологии.....	6
1.4. Время в геологии.....	9
1.5. Методы исследований в геологии.....	12
2. Донаучный этап развития геологических знаний.....	16
2.1. Элементы геологических знаний в античном мире (Греция, Рим).....	16
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.....	20
2.4. Научная революция XVII в. – канун создания научной геологии.....	22
3. Становление научной геологии (вторая половина XVIII столетия).....	26
3.1. Первые космогонические гипотезы и начало научной геологии.....	26
3.2. Противоречия в вопросе о роли внешних и внутренних процессов в развитии земли (борьба нептунистов и плутонистов).....	30
4. Героический период развития геологии (первая половина XIX столетия).....	34
4.1. Рождение палеонтологии и биостратиграфии.....	34
4.2. Первая тектоническая гипотеза – гипотеза «кратеров поднятия».....	36
4.3. Катастрофисты и эволюционисты – исторический спор двух научных лагерей.....	37
4.4. Ч. Ляйель и его книга «Основы геологии...».....	40
4.5. Дискуссия по поводу происхождения экзотических валунов. Становление ледниковой теории.....	42
4.6. Успехи в изучении минералов.....	43
4.7. Создание первых геологических обществ и основание национальных геологических служб.....	45
5. Классический период развития геологии (вторая половина XIX в.).....	47
5.1. Геологические наблюдения Ч. Дарвина, его книга «Происхождение видов путем естественного отбора».....	47
5.2. Гипотеза контракции Эли де Бомона и ее развитие в трудах Э. Зюсса ...	48
5.3. Зарождение учения о геосинклиналях и платформах.....	50
5.4. Становление палеогеографии, геоморфологии и гидрогеологии.....	54

5.5. Развитие петрографии, минералогии, кристаллографии. Становление учения о полезных ископаемых	58
5.6. Первые шаги геофизики в изучении глубинного строения Земли	62
5.7. Начало международного сотрудничества геологов. Первые международные геологические конгрессы	65
6. «Критический» период развития геологических наук (10-50-е годы XX в.).....	66
6.1. Кризис в геотектонике.....	66
6.2. Развитие других геологических наук.....	70
7. Новейший период развития геологических наук (60-90-е годы XX в.)	77
7.1. Становление тектоники плит	78
7.2. Подтверждение и расширение концепции тектоники плит.....	80
7.3. Распространение теории тектоники плит на другие области геологических наук. Рождение геодинамики.....	84
7.4. Другие успехи геологических наук во второй половине XX столетия....	85
7.5. Современное состояние и ближайшие перспективы геологических наук.....	87
7.6. Международное сотрудничество ученых-геологов.....	90
8. Общие закономерности развития геологических наук	91
9. Библиографический список.....	98

1. История геологических наук как самостоятельная дисциплина

1.1. Объект и предмет истории геологических наук, цели, задачи

История геологии является частью всеобщей истории естествознания и мировой культуры в целом. 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.

История геологической науки включает не только ретроспективную оценку пройденных этапов своего развития, но и попытку исследовать, в какой мере понятия, позиции, предложенные в свое время методы остаются активно действующими на следующих этапах развития геологии.

На первом этапе преобладало хронологическое описание достижений геологии, становление новых методов исследований, описание творческой биографии ученых. Основное внимание уделялось описанию процесса накопления фактического материала, поискам предшественников и истоков развивавшихся на данном этапе идей. Нельзя однозначно установить, кто первый и когда открыл то или иное явление, поскольку каждая эпоха имеет свое видение истории. Если 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.

История геологии изучает становление различных направлений геологической науки, развитие методов и методик, научных открытий и поисков, историю борьбы различных идей, событий жизни выдающихся ученых, повлиявших на ход развития науки, устанавливает объективные закономерности развития геологических знаний.

Основная цель изучения истории геологии заключается в установлении объективной мировой истории геологии, открытии закономерностей ее развития, условий и факторов, 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 методологиче-

ской 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

Современные критерии периодизации истории геологии основаны на концепции скачкообразного нелинейного развития науки, когда периоды эволюционного развития 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.

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.

1.3. 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. Установление геологических законов позволяет рассматривать геологию как сформировавшуюся самостоятельную науку.

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 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. Хаин выделяет следующие тенденции в развитии нашей планеты: направленность (необратимость), цикличность, непрерывность, прерывистость, синхронность, асинхронность, неравномерность, преемственность и обновление.

Закон 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.

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.

На фоне направленного развития наблюдается тенденция циклического развития. При этом выделяются циклы продолжительностью в сотни миллионов лет и более, высокочастотная цикличность, определяющая 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 эндоген-

ной 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 формирования. 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 разновозрастных 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.

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 многообразием объектов, не вполне тождественных и лишь частично сходных между собой (например конкретными структурными элементами).

1.4. 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.

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. 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.

На протяжении многих веков библейские догматы о возрасте Земли 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...», 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. Они доказали, что для развития жизни на Земле понадобилось весьма длительное время, намного превышающее и несоизмеримое со временем появления и развития человеческой цивилизации. 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 завершенным 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. Реневье, 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).

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. 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 совместно. 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 рассматривать известные ранее временные таксоны относительной шкалы в миллионах лет.

Особенностью геологического летоисчисления является то, 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.

Биологическое время 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, противополож-

ном 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.

Уточнение и детализация предложенной геохронологической шкалы «абсолютного» летоисчисления – дело ближайшего будущего.

1.5. Методы исследований в геологии

В настоящее время существуют разнообразные классификации геологических методов исследования. 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.

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 серией 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. Совершенствование дедуктивных моделей в геологии позволит 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.

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, принципы 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. Изуче-

ние 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. Актуалистический метод позволяет не только заглянуть в прошлое, но и проводить экстраполяцию.

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. Губкиным была предсказана нефтеносность Волго-Уральской области (аналогия с Мидконтинентом США), а В. С. Соболевым – алмазонасность 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.

2. Все свойства изучаемого объекта равноценны, в связи с этим познавательная функция системной модели зависит от целевой установки исследования.

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. 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.

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 разработок. Рамки применимости этого принципа в условиях неравновесных динамических систем определяют ценность тектонофизических моделей.

Несколько слов следует сказать и о специальных методах. 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 микронзондового, методы изотопного анализа с помощью масс-спектрометров, дистанционные методы – космогеодезические, спутниковая, 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.

2. Донаучный этап развития геологических знаний

Становлению научной геологии предшествовал длительный период первичного накопления геологических знаний.

Первоначальное накопление геологических знаний шло по нескольким различным направлениям. Одно из них было связано с расширяющимся 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, золотом, серебром и др. Это направление 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.

2.1. Элементы геологических знаний в античном мире (Греция, Рим)

Наука зародилась в Древней Греции, хотя отдельные научные представления появились в Египте и Китае. Недостаток наблюдательного материала, практическая неспособность экспериментирования, моделирования естественных процессов, за исключением постановки самых примитивных опытов, заставили древнегреческих мыслителей опираться прежде всего на дедукцию.

Но в умении абстрагироваться от реальной действительности, использовать аксиоматический метод построения теорий и заключалась принципиальная новизна методологии древнегреческих мыслителей.

Аристотель в «Метрологии» указывал на периодические изменения в расположении суши и моря; а затем его ученик Теофраст (372-287 гг. до н. э.), видел реальные свидетельства былого присутствия моря на участках современной суши: гальки, раковины, «другие предметы из тех, которые обычно выбрасываются с пеной на морские берега».

Древние греки делали выводы, касающиеся заполнения морских бассейнов осадками, течения, несущего черноморские воды через проливы в Среди-

земное море, существования в прошлом в Египте морского залива, заполненного осадками Нила (Геродот).

Вулканическая деятельность, крупные землетрясения были предметом описания древних авторов. Следующий шаг вперед в истолковании причин геологических событий был сделан римским географом Страбоном (64 г. до н. э. – 24 г. н. э.). У Страбона есть высказывания относительно возможности образования островов и даже значительных участков суши (континентов?) в результате вулканических извержений, а также опусканий, вызванных землетрясениями.

Среди причин природных катастроф 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. 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 обнаруживаются определенные познания как экзогенных, так и эндогенных геологических процессов. С античных времен остались специальные термины: сиенит, базальт, сланец, мрамор (греч.), кремль, мел, песок, наждак, туф, пемза, битум (лат.); минералов: гипс, топаз, гематит, берилл, аметист, сапфир, агат (греч.), опал, авгит (лат.); ископаемых и живых моллюсков.

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 гг. до н. э.) и его последователи считали, что субстанцией, образующей мир, является вода. 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 гг. до н. э.) первоначальной сущностью считал огонь. Эмпедокл (около 490-430 гг. до н. э.) писал об огненно-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.

2.2. Средние века – упадок науки на Западе, расцвет 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.

Европа вступила в этап полного застоя научной мысли. На Востоке расцветает новая цивилизация, цементом которой служат ислам и арабский язык.

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

Одним из крупных трудов арабоязычных ученых явился коллективный энциклопедический труд, составленный в X в. группой неизвестных авторов. В этом трактате описываются геологические процессы: речная эрозия, морская седиментация с отображением слоистых толщ, 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 идеи Дж. Хаттона – одного из основоположников научной геологии.

К той же эпохе относится научное творчество двух великих центрально-азиатских ученых – узбека Абу Рейхана аль-Бируни (973-1048) и таджика Абу Али Ибн Сины, на западе известного как Авиценна (980-1037). 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. Развивалось здесь и использование подземных вод, а также ирригация засушливых земель.

Бируни не только придерживался мнения о шарообразности Земли (в то время многие европейские ученые считали ее плоской), но и попытался довольно правильно определить длину ее окружности. Он составил географическую карту Старого Света и предложил объяснение появления восходящих ис-

точников 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.

Большой интерес представляет «Минералогический трактат» Бируни, содержащий сведения по определению, обработке и применению около 100 минералов и горных пород. Он использует в качестве диагностических признаков не только цвет и прозрачность, но и удельный вес минералов, впервые разработав способ его определения.

В сочинении «Природа» таджикского современника Бируни Ибн Сины содержатся 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 путём коагуляции опять-таки вследствие разогрева и высыхания; это касается и остатков животных и растений. Причиной образования гор могли явиться землетрясения, в свою очередь порожденные дуновением подземного воздуха. Но другой причиной горообразования могло быть «окаменение» илистого материала. 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. Впервые, на шесть веков ранее Стенона, говорится о слоистости осадков. 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 предлагается классификация минеральных тел, продержавшаяся до XVI в. Тела эти были разделены на четыре категории: камни, плавкие тела (металлы), серные горючие вещества и соли.

Китайцам мы обязаны изобретением бумаги, магнитного компаса, сейсмографа, составлением первого звездного каталога, первым описанием некоторых минералов. 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, истолковывая эти

факты как свидетельства превращения низменностей в горы и окаменения мягкой материи.

Индия также с древнейших времен являлась 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 развитием горнодобывающей промышленности, с открытием университетов – Болонского в конце XI, Парижского в начале XII в., Западная Европа принимает эстафету в развитии науки от угасающей теперь арабской культуры. Происходит 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). 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 сомнение 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 полтора тысячелетия геоцентрическую систему Аристотеля-Птолемея.

Выдающимся представителем новой эпохи был Леонардо да Винчи (1452-1519), современник Коперника. Леонардо известен как художник, механик, но в его трудах встречаются и примечательные высказывания на геологические темы, во многом продиктованные его опытом гидротехника, строителя каналов. Он тщательно и точно описывает морфологию, динамику и эволюцию речных долин, процесс речной эрозии и накопления речных 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. Вместе с тем, он повторяет выводы своих греческих и арабских предшественников о непостоянстве расположения суши и моря.

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, что среди ископаемых встречаются

остатки исчезнувших родов и видов, в том числе похожих на тропические. 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.

Большое значение в понимании минерального царства имела деятельность старшего современника Палисси, немецкого врача и металлурга Георга Бауэра, более известного под именем Георга Агриколы (1494-1555). 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 горные породы, 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. 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 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 наблюдений отдельных гео-

логических 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, к заложению основ стратиграфии и тектоники.

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.

Декарт утверждает в своем труде, что наша Земля представляет собой охладившуюся звезду, в центре которой еще сохранилась солнечная материя. Эта центральная область сменяется внутренней более плотной и твердой корой (в другом месте он полагает ее целиком металлической) и далее внешней менее плотной (состоящей из глины, песка и ила), еще выше (или между ними) залегают вода, а над ней воздух.

В истории геологии творчество Николауса Стенона (1638-1686) занимает особое 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.

Все выводы Стенона были основаны на его полевых наблюдениях. 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.

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.

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 немецкого философа и математика Г. В. Лейбница (1646-1716). 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».

Физик Гук посвятил свою работу, написанную в 1688 г. и изданную в 1705 г., землетрясениям, которые он связывал с действием подземного огня, вызывающего также и вулканические извержения.

Современник Гука А. Л. Моро посчитал вулканическую деятельность за главный фактор изменения рельефа Земли, создавший материки, 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.

Единомышленником Моро был его соотечественник и старший современник А. Валлиснери (1661-1730). Изучая Альпы, он одним из первых стал зарисовывать складки земной коры.

Еще один ученый Г. В. Рихман (1711-1753) придавал большое значение 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; этот подземный огонь и служит причиной самих «трясений Земли».

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.

Говоря о геологии того времени, *мы*, живущие позже, 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.

3. Становление научной геологии (вторая половина XVIII столетия)

3.1. Первые космогонические гипотезы и начало научной геологии

Эпоха Возрождения была переломным моментом в развитии естествознания. Успехи математики и механики дали резкий толчок развитию многих отраслей знания. Идеи Леонардо да Винчи, Б. Палисси, Н. Стенона и других естествоиспытателей подготовили почву для научного истолкования накопленных геологических знаний. 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.

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 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.

История возникновения планет Солнечной системы, предложенная Ж. Л. Бюффоном, была первой «катастрофической» гипотезой происхождения Солнечной системы. Впоследствии она неоднократно подвергалась критике, но ее автор впервые привлек внимание естествоиспытателей к оценке роли внешних космических факторов, оказывающих влияние на развитие нашей планеты. В труде «Эпохи природы» (1778) Бюффон выделил 7 таких этапов развития нашей планеты: 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 вулканы; 5) когда слоны и другие южные животные жили на северных землях; 6) когда произошло разделение континентов; 7) период могущества человека.

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 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. 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 впоследствии остыли и затвердели. 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.

М. В. Ломоносов (1711-1765) был незаурядной фигурой среди естествоиспытателей XVIII столетия. Он оставил очень мало собственно геологических работ, из 120 его трудов вопросы геологии рассматриваются в 20.

Наиболее важными 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 минерализацию. Образование рудных жил он связывал с различными по мас-

штабу 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.

Наклонное положение слоев (флецов), формирование горных сооружений М. В. Ломоносов связывает с движениями Земли. Среди движений земной коры он выделял: дрожания (современные землетрясения); медленные волнообразные, ответственные за наступания и отступания 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 лика Земли, отводя экзогенным процессам второстепенную роль. Он, в отличие от господствовавших в то время представлений, однозначно указывал на их органическое происхождение.

Прогрессивными были и представления М. В. Ломоносова о геологическом времени.

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; 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 частиц – корпускул.

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 считавшихся 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 на-

чало изучению их химического состава и разработке новых методов исследования минералов.

Шведский химик и минералог А. Ф. Кронштедт (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 была 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. 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 нептунистов. 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). 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», 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 1762 г. 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 литолого-стратиграфические 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 нептоунистов 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). Он хорошо знал минералогию и геологию Рудных гор и прилегающих районов Саксонии.

А. Г. Вернер справедливо считается создателем немецкой геологической школы. В своих обобщениях и выводах он всегда использовал материалы предшественников. 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 горную школу в центр европейского геологического образования.

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», отражающее последовательность в образовании различных горных пород, и понятие «формация», 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 поднятий и спада уровня вод Мирового океана. Вернер отрицал влияние внутренней энергии на становление лика Земли.

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.

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. 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. Однако, в отличие от Вернера, Паллас полагал, что граниты, слагающие ядра горных сооружений и образующие их вершины, никогда не были покрыты морем и возникли вместе с рождением Земли. 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.

Разработанная А. Г. Вернером система стратиграфической последовательности слоев и предложенное им объяснение формирования горных сооружений долгое время пользовались широким признанием.

Первым серьезным оппонентом Вернера стал шотландский естествоиспытатель Дж. Хаттон (1726-1797). В окрестностях г. Эдинбурга он провел наблюдения, которые убедили его в магматическом происхождении зеленокамен-

ных пород. Изучая горячие контакты гранитов северо-восточной Шотландии, он также пришел к выводу об их магматическом происхождении. Структурная позиция магматических пород 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 лика 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.

Дж. Хаттон опубликовал книгу «Теория Земли», где он пишет, что формирование Земли подчиняется законам физики и химии, что все процессы на Земле вызваны силой тяжести и внутренним теплом. Под действием «подземного жара» происходит нагревание, коробление и воздымание горных пород, образуются горные сооружения. История Земли, по Хаттону, имеет циклическое развитие.

Идеи, которые развивал Дж. Хаттон и его немногочисленные сторонники, находились в явном противоречии с общепризнанными постулатами учения Вернера. 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 осадочных пород в водной среде. Неполноценность вернеровской стратиграфической системы заключалась в ее фрагментарности и локальности, органические остатки не привлекали должного внимания немецких исследователей второй половины XVIII в., их построения основывались на изучении литологического характера слоев.

Разгоревшийся во второй половине XVIII столетия спор между нептунистами и плутонистами представлял собой возобновление дискуссии между сторонниками подобных идей античного периода, когда единство природы определялось той или иной субстанцией, формирующей мир. Нептунисты 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 био-стратиграфического метода, предложенного английским естествоиспытателем

В. Смитом. 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 нептунистов. 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 нептунистами и плутонистами еще полностью не были разрешены, но к этому времени, 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 слоистой 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 и наметить 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. Но 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.

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.

Решающую роль в определении относительного возраста слоев с использованием остатков организмов, заключенных в этих слоях, сыграли работы английского естествоиспытателя В. Смита (1769-1839). Он, изучая обнажавшиеся в выработках карьера слои горных пород, заинтересовался содержащимися в них органическими остатками и подметил, что смежные слои обычно содержат сходные ископаемые и далеко отстоящие друг от друга в разрезах слои характеризуются резко отличными окаменелостями. Одновременно с изучением последовательности напластования осадочных пород и находящихся в них органических остатков В. Смит наносит распространение слоев на карту.

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 относительному. После его работ геологическое картирование становится основным методом геологических исследований. Одновременно работами В. Смита была заложена основа создания стратиграфической (геохронологической) шкалы.

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. Эти исследо-

ватели выделили среди ископаемых организмов пресноводную и морскую фауну и восстановили историю формирования Парижского бассейна.

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. В дальнейшем Ж. Кювье использовал эти данные для обоснования своего понимания роли катастроф в истории Земли.

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 геологу Ж. Б. Омалиусу д'Аллау (1783-1875) выступить с общими схемами осадочных образований, которые являются прототипами расчленения верхнепалеозойских и мезозойских отложений в современной геохронологической шкале.

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 в 1839 г.; девонская – А. Седжвиком и Р. Мерчисоном также в 1839 г.; каменноугольная – английскими геологами В. Конибиром 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 описал около 12000 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.

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 относится и появление основополагающего труда Ч. Ляйеля «Основы геологии» (1830-1833).

4.2. Первая тектоническая гипотеза – гипотеза «кратеров поднятия»

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

Определяющая роль магматических процессов в ходе горообразования была положена в основу тектонической концепции Л. фон Буха – гипотезы «кратеров поднятия».

Исследуя строение вулканических конусов на Канарских островах, Л. фон 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, части магматических построек обрушиваются, и образуется кратер. Л. Бух выдвинул гипотезу, согласно которой все наблюдаемые вблизи поверхности Земли явления поднятия, смещения и смятия слоев вызваны непосредственным воздействием на них внедряющихся магматических пород. Эпохи горообразования и трансгрессий сменялись эпохами покоя. Л. Бух изложил и опубликовал свою гипотезу («кратеров поднятия») в 1809г.

А. Гумбольдт (1769-1859) – 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. Почти одновременно с Л. Бухом он пришел к гипотезе кратеров поднятия, и к выводу об определяющей роли магмы в формировании горных стран. 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.

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 Д. 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. 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. 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.

Геологические воззрения Л. Буха, А. Гумбольдта возродили идеи Дж. Хаттона. Внутренняя энергия Земли, вулканические катастрофы являются определяющим фактором формирования лика Земли – эти идеи сторонников Дж. Хаттона завоевали общее признание и стали господствующими в 20-40-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. Противоположные позиции за-

ключаются в представлении: одна – о непрерывном и постепенном течении геологических процессов (*градуализм*), а другая – об их прерывистости (*пунктуализм*). В природе непрерывно-прерывистое развитие является нормальной формой реализации геологических процессов и периоды постепенных изменений геологической среды сменяются резкими качественными и количественными (катастрофическими) изменениями.

Особенно большие споры возникали при анализе развития органического мира, а также при выяснении скорости проявления экзогенных и эндогенных процессов.

В первой четверти XIX в. идея плутонистов, выразителями которых являлись Л. Бух и А. Гумбольдт, быстро завоевала 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. 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 потопы.

Наиболее ярким представителем катастрофического направления явился выдающийся французский ученый Ж. Кювье. Наблюдая резкое различие в со-

ставе фаун смежных осадочных толщ, разделенных перерывами, он пришел к выводу, что при смене геологических эпох органический мир изменялся мгновенно. Внезапные массовые вымирания организмов были обусловлены катастрофическими «переворотами на поверхности земного шара».

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.

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.

Между тем, развивалось совершенно противоположное, эволюционистское учение. Одним из наиболее крупных натуралистов, много сделавшим для внедрения эволюционных представлений в науку, был Ж. Б. Ламарк (1744-1829). В книге «Философия зоологии» (1809) он изложил основы эволюционной теории. Эволюция 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.

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). В своих палеонтологических работах он показывал, что современные животные и растения имеют корни в минувших эпохах, причем изменение животных происходит под влиянием изменений окружающей среды. Он выска-

зал мысль о единстве 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).

Ж. Кювье был знаком с работами своих коллег, но не участвовал в полемике, считая, что его работы имеют преходящее значение в истории науки. 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.

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. был готов фундаментальный труд британского геолога Ч. Ляйеля «Основы геологии...».

Однако и появление труда Ляйеля 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.

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 ве-

душей среди геологов, с ней были созвучны идеи революционных переворотов в развитии органического мира Ж. Кювье.

Ч. Ляйель опубликовал книгу «Основы геологии...» (1797-1875), в которой дал сокрушительный критический анализ концепции катастрофизма. Однако понадобилось еще около 20 лет, чтобы научное сообщество отвернулось от катастрофистских идей Ж. Кювье.

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.

«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.

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».

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 получили название принципа униформизма.

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.

Ч. Ляйель пришел к выводу, что третичное время делится на несколько периодов, выделив в третичных отложениях три отдела – эоцен, миоцен и плиоцен.

Метод актуализма, основанный на отождествлении характера современных геологических процессов и геологических процессов прошлого, стал веду-

щим в историко-геологических исследованиях. 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

Такие валуны часто формируют хаотические нагромождения в местах, весьма далеких от коренных выходов соответствующих пород. Блуждающие, или эрратические валуны, 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.

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.

Ч. Ляйель 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 дрейфта*, долгое время пользовалась большой популярностью.

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. Шарлантье (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 леднико-

вые 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 также несколько эпох оледенения, которые разделялись достаточно продолжительными межледниковыми эпохами.

В 1872 г. шведский геолог О. М. Торелль (1828-1900) публикует работу «Исследования о ледниковом периоде». Вместе с последующими публикациями эта работа способствовала утверждению ледниковой теории в Европе и опровержению дрифтовой гипотезы.

Большинство русских естествоиспытателей в этот период придерживались дрифтовой теории. Опираясь на опыт русских полярных мореплавателей, они объясняли присутствие эрратических валунов и штрихованных скал в Прибалтике и на севере Евразии действием плавучих 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 и Г. Е. Щуровского, а позднее Ф. Б. Шмидта и П. А. Кропоткина.

Профессора Московского университета К. Ф. Рулье и Г. Е. Щуровский, 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.

П. А. Кропоткин (1842-1921) сыграл определяющую роль в становлении ледниковой теории в России.

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.

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. Шведский химик и минералог И. Я. Берцелиус (1779-1848) предложил первую химическую классификацию минералов с учетом атомной массы и с применением буквенных символов элементов и формул химических соединений. Рассматривая минералогию 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) способствовал развитию химического направления в минералогии. В. М. Севергин был, пожалуй, самым последовательным продолжателем оригинальных разработок Ломоносова в области минералогии. Он собрал и систематизировал материалы по минералогии России. 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», В. И. Вернадским в «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 минералах и тем признакам, по которым следует их классифицировать.

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, 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 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 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 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. 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 европей-

ских 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.

Научные общества явились той силой, которая направляла геологические исследования, там обсуждались самые последние достижения геологической науки. Общества брали на себя публикацию докладов, монографий своих членов, они же издавали труды естествоиспытателей прошлых столетий.

Геологические исследования приобрели масштабность и 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.

5. Классический период развития геологии (вторая половина XIX в.)

5.1. Геологические наблюдения Ч. Дарвина, его книга «Происхождение видов путем естественного отбора»

В 1858 г. на собрании Линнеевского общества естествоиспытателей Англии были доложены работы естествоиспытателей А. Р. Уоллеса и крупнейшего геолога и зоолога Ч. Дарвина. Эти доклады, в которых авторы излагали свои эволюционные представления о происхождении видов, произвели огромное впечатление на присутствовавших геологов и биологов.

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.

Главным успехом Ч. Дарвина в геологии считается теория образования коралловых рифов. 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 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.

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.

Огромный материал, собранный палеонтологами 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.

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 закономерностей их эволюции в ходе геологического времени, главным образом, под действием изменяющихся внешних условий. 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. Гранитные массивы, выступающие в осевых частях горных стран, нередко имели более древний возраст, чем окру-

жающие 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 горно-складчатых сооружений сжатием земной коры вследствие остывания и уменьшения объема внутренних оболочек Земли.

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 простирание, отличающееся от простирания более древних горных сооружений.

Гипотеза контракции явилась следствием космогонической гипотезы Канта-Лапласа, логически увязывая космогоническую модель с геологическими процессами, происходящими на поверхности Земли.

На протяжении полувека составляла надежную теоретическую основу геологических исследований горно-складчатых сооружений Альп, Аппалачей и других, объясняя неравномерный характер их распределения на земном шаре.

В 70-х годах появилась работа швейцарского геолога А. Гейма (1849-1937) о механизме горообразования, в которой механические основы складкообразования рассматриваются, исходя из контракционной гипотезы.

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.

Однако вершиной развития гипотезы контракции явились работы выдающегося австрийского геолога Э. Зюсса (1831-1914). Его многотомная монография «Лик Земли» представляла собой научный труд, подобного которому

еще не было в геологии. Зюсс выяснил закономерность и последовательность образования существующих ныне и прежних горных цепей и, прослеживая одновременно черты по всем материкам, восстанавливал историю отдельных эпох развития земного лика.

Э. Зюсс широко использовал работы русских геологов. По материалам И. Д. Черского (1845-1892) и В. А. Обручева написаны разделы, посвященные геологии Сибири. Среди русских геологов упоминаются работы К. И. Богдановича, И. В. Мушкетова, А. Л. Чекановского, Ф. Н. Чернышева, 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.

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: сиаль, сима, Евразия, 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 как их возникновение, так и опускание дна океанических впадин, как проявление контракции.

Влияние Э. Зюсса на современных геологов было огромно, популярность концепции контракции достигла апогея. В конце XIX – начале XX столетия контрактционная гипотеза пользовалась всеобщим признанием. В дальнейшем 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 геосинклиналиях и платформах

Впервые идея об особом характере зон, получивших позже название геосинклиналей, была высказана американским геологом и палеонтологом Дж.

Холлом. Он сделал вывод, что горные складчатые цепи образуются на месте крупных прогибов земной коры, погружение которых происходило под тяжестью осадков.

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.

Дж. Дэна (1813–1895) специалист в области минералогии и тектоники. В 1873 г. он публикует две статьи, первая из которых посвящена подробному разбору основных положений работы Дж. Холла. Во второй статье, он 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. Дж. Дэна писал, что геосинклинали образуются по окраинам континента в процессе взаимодействия континентальных и океанических площадей в зоне, где напряжения, сжатия максимальны.

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, обобщив и проанализировав работы своих американских предшественников. Э. Ог впервые противопоставил друг другу основные структурные зоны земной коры – геосинклинали и континентальные площади (платформы). По его мнению, осадочные породы геосинклиналей образовывались преимущественно в глубоководных бассейнах; геосинклинали представляют собой мобильные зоны коры и располагаются между стабильными континентальными массивами. 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.

В своей работе Э. Ог положил начало составлению палеотектонических карт с выделением на них геосинклинальных и «эпиконтинентальных» (платформенных) морей. 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

площадах трансгрессивным, этот же член в геосинклиналях является регрессивным, и наоборот».

С опубликованием работы Э. Ога учение о геосинклиналях получает признание геологов всего мира. 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. Учение о геосинклиналях произвело революцию и в исторической геологии.

Одновременно начало формироваться и представление об антиподе геосинклиналей – 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» в термин «Русская платформа». Почти одновременно Э. Ог наряду с геосинклиналями выделил в качестве структурного эквивалента материков континентальные площади. 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. После работ русского геолога А. Д. Архангельского наибольшее распространение получило название «Восточноевропейская платформа», в пределах которой выделялись Русская плита и Балтийский щит.

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

Становление учения о платформах неразрывно связано с развитием учения о геосинклиналях. 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. Гельмерсеном (1803-1885), затем А. П. Карпинским (1847-1936), А.П.Павловым (1854-1939), а позднее А.Д. Архангельским (1879-1940) и др.

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 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 своих тектонических взглядах А. П. Карпинский был убежденным сторонником гипотезы контракции, поэтому природу этих дислокаций он рассматривал как результат коробления остывающей Земли.

Он характеризует соотношение между складчатым фундаментом, сложенным древними метаморфическими комплексами, и пологозалегающим чехлом осадочных пород и выявляет 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 ориентировку с меридиональных на субширотные. 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. 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 важнейши-

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

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

5.4. Становление палеогеографии, геоморфологии и гидрогеологии

Во второй половине XIX в. в ходе развития классических направлений геологии наметилась тенденция дифференциации геологических наук, обусловленная необходимостью выделения специфических 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». Под фацией Гресли понимал литологическую или палеонтологическую разновидность пласта или горизонта в определенном месте, отличавшемся от соседних участков физико-географическими условиями осадконакопления.

Русские геологи Н. А. Головкинский (1834-1897) и А. А. Иностранцев (1843-1919) рассматривали обособление фаций осадочных пород как следствие колебательных движений земной коры.

Н. А. Головкинский в 1868 г., 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, формирующейся в процессе движений земной коры, на которой показал зоны фаци-

ального перехода и их смещения в разрезе по вертикали и горизонтали по мере изменения положения береговой линии.

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 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. Подобная закономерность распределения фаций, выявленная И. Вальтером, а до него Н. А. Головкинским и А. А. Иностранцевым, известна в литературе как *закон Вальтера*.

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. 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. 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 гео-

логами. 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. Известный австрийский геолог и палеонтолог М. Неймайр (1845-1890) составил первую палеогеографическую карту юрского периода для всего земного шара. Вопросам палеогеографии и палеоклиматологии посвящены две его классические работы.

Широкие палеогеографические построения стали основой для анализа палеоклиматических изменений в истории Земли.

Были высказаны различные мнения по поводу характера и причин глобального изменения климата Земли во времени. 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. Изменение солнечной радиации и начало разрастания ледниковых покровов увязывались некоторыми исследователями с эпохами резкого усиления вулканизма взрывного типа.

В 1864 г. английский исследователь Дж. Кролль (1820-1890?) выдвинул идею о связи ледниковых эпох с качаниями земной оси. В 1875 г. Кролль опубликовал монографию «Климат и время», где изложил свою гипотезу попеременного оледенения Северного и Южного полушарий Земли. Вокруг нее разгорелись споры; принципиальные противоречия концепции Кролля были выявлены при анализе продолжительности межледниковых эпох, проведенном американскими исследователями. В конце столетия интерес к гипотезе Кролля практически угас.

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.

Крупные региональные обобщения по геологии горных и равнинных областей различных континентов обратили внимание геологов на процессы динамики развития рельефа. В 80-е годы XIX в. на стыке геологии и физической географии возникло еще одно самостоятельное научное направление – геомор-

фология – 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), влияния 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.

Несколькими десятилетиями позже немецкий геоморфолог В. Пенк увязал стадии развития рельефа с тектоническими движениями.

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, закономерностями их размещения в земной коре и условиями залегания интересовались многие ведущие геологи того времени: Ч. Ляйль, Э. Зюсс, Г. Е. Щуровский, 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 французского ученого Г. Добре «Подземные воды древних эпох». Он попытался найти пути изучения истории подземных вод, исходя в основном из минерального состава эпигенетических образований, возникших в результате деятельности подземных вод.

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, растительностью 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. В 1850 г. английский геолог К. Сорби (1826–1908) предложил методику изготовления прозрачных шлифов и изучения их с помощью поляризационного микроскопа.

В 1879 г. французские петрографы А. Мишель-Леви (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. Левинсон-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», явились универсальным методом определения породообразующих 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.

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.

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.

Развитие микроскопической петрографии оказало решающее влияние на становление учения о метаморфизме. 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 ранее существовавшие образования, 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. В 1888 г. была принята концепция образования кристаллических сланцев и других метаморфических пород как из магматических, так и из осадочных пород. 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.

В конце XIX в. стало также популярным учение о круговороте и цикличности образования горных пород.

Особое значение имели многотомные труды американского геолога Дж. Дэна «Система минералогии» и русских минералогов Н. И. Кокшарова (1818-1892) и П. В. Еремеева (1830-1899).

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.

В рамках минералогии во второй половине XIX в. развивалось и кристаллографическое направление. Основываясь на учении о симметрии, теории решетчатых систем и кристаллографических построениях О. Браве, кристаллографы второй половины XIX столетия создают теорию кристаллической структуры вещества.

П. Грот являлся автором обобщающих трудов по физической и химической кристаллографии. Он сформулировал закон о соотношении между составом и симметрией кристаллов.

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.

Предсказанные Е. С. Федоровым законы строения кристаллического вещества легли в основу современного кристаллохимического этапа исследова-

ния 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, и явился основателем нового научного направления минералогической кристаллографии – генетической морфологии кристаллов, рассматривающей структуру граней и поверхностей кристаллических тел как следствие воздействия внешней минералообразующей среды.

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. 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, 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, выяснение условий их образования и регионального распространения с последующей разработкой открытых месторождений.

Вопрос о природе инфильтрационных потоков был наиболее спорным в дискуссии о происхождении рудных месторождений, начало которой было положено во второй половине XIX в.

Лидером инфильтрационной теории происхождения рудных жил стал немецкий исследователь Ф. Зандбергер. Эта теория получила название латераль-секреционной.

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.

Таким образом, во второй половине XIX в. были сформулированы основные концепции рудообразования.

Среди других полезных ископаемых во второй половине XIX столетия важное значение стали приобретать горючие ископаемые – уголь и нефть.

В ходе освоения нефтяных месторождений возникали представления о закономерностях скоплений 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). 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, когда нефть стала одним из важнейших полезных ископаемых.

5.6. Первые шаги геофизики в изучении глубинного строения Земли

Современная геология во многом опирается на изучение естественных физических полей Земли. 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.

В 1600 г. У. Гилберт (1544-1603) высказал утверждение, что Земля представляет собой магнит, полюсы которого совпадают с географическими полюсами, и выдвинул предположение о намагниченности материков, 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. В монографии «Общая теория земного магнетизма» К. Гаусс дал теоретическое обоснование изучения веко-

вых 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.

К. Гаусс и А. Гумбольдт стали организаторами первых широкомасштабных 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 20-30-х годах XX в. район КМА стал полигоном, где отрабатывались новые геофизические методы исследования земных недр, а существование здесь крупнейших железорудных залежей нашло 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.

Для объяснения этого явления почти одновременно в 1855 г. появились две гипотезы, выдвинутые одна – английским астрономом Дж. Эри (1801-1892) и другая – английским священнослужителем Дж. Праттом (1809-1871). Обе гипотезы исходили из допущения, что отдельные части земной коры находятся в состоянии равновесия, плавая, в соответствии с законом Архимеда, в подстилающем слое подкоревой оболочки большей плотности. По мнению Эри, блоки, слагающие горные сооружения, имеют разную высоту, но одинаковую плотность. При этом, чем выше горы, тем глубже они опускаются в подкоревой слой, создавая своеобразные «корни» гор, подошва земной коры служит как бы зеркальным отражением рельефа.

Дж. Пратт 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. Сам принцип изостазии нашел подтверждение в отсутствии крупных гравитационных аномалий, связанных с мощными ледниковыми панцирями Гренландии и Антарктиды, и в восходящих движениях областей Балтийского и Канадского щитов.

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. это сейсмический. 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. 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.

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

5.7. Начало международного сотрудничества геологов. Первые международные геологические конгрессы

В последней четверти XIX в. геология вошла в разряд приоритетных научных дисциплин. Открывались специальные учебные заведения или факультеты, занимающиеся подготовкой геологов. Под эгидой национальных геологических служб и геологических обществ проводились широкие геологосъемочные 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.

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.

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 и принято решение о составлении по согласованной легенде Международной геологической карты Европы в масштабе 1:2 500000. Со второй сессии в работе конгресса принимала участие официальная делегация России.

6. «Критический» период развития геологических наук (10-50-е годы XX в.)

На рубеже XIX и XX вв. естествознание пережило очередную научную революцию. Были открыты рентгеновское излучение, естественная радиоактивность, разработана модель строения атома. Была отвергнута гипотеза Канта–Лапласа, появилась планетезимальная гипотеза Мультиона–Чемберлина, катастрофистская гипотеза Джинса, наметился переход от «горячих» гипотез космогонии, 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

В *геотектонике* перемены привели к фактическому крушению контракционной гипотезы, которая на протяжении всей второй половины XIX в. была парадигмой теоретической геологии.

В отличие от того, что происходило в геологии раньше, когда одну парадигму сразу сменяла другая, гипотезу поднятия – гипотеза контракции Эли де Бомона, был выдвинут ряд взаимоисключающих гипотез и ни одна из них не завоевала общего признания.

Попытка найти замену контракционной гипотезе, несколько ее дополнив и подправив, была предпринята в начале века А. Ротплетцом, в 20-е годы поддержана Дж. Джоли; была сформулирована гипотеза, получившая название пульсационной. Ее автором был американский геолог У. Бухер (1933). 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.

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 гипотезы, появившиеся в этот период, 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 – геотумыры, с которых затем соскальзывают слои осадочных толщ, сминаясь в складки и создавая складчатые системы.

Одной из наиболее распространенных гипотез такого рода стала ундационная гипотеза голландского геолога Р. В. ван Беммелена (1933). 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 40-е годы сходные гипотезы были предложены американскими геологами Б. и Р. Виллисами (астенолитная гипотеза) и русским геологом В. В. Белоусовым (1907-1990). Гипотеза Белоусова, первоначально названная им радиомиграционной, в связи с тем, что он рассматривал радиогенное тепло в качестве основного возбудителя тектогенеза и магматизма, а затем, названная гипотезой глубинной дифференциации, являлась наиболее обоснованной и разработанной из всех тектонических гипотез.

Концепция Белоусова является фиксистской, т. е. это учение о неизменном положении континентов по отношению к глубоким недрам Земли. Мобилизм же допускает перемещение материков и берет 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.

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. Все эти выводы Вегенера нашли в дальнейшем полное подтверждение.

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 гранитогнейсового 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 превращаются в складчатые горные системы.

За Джели остается историческая заслуга первого привлечения радиоактивности к объяснению геологических 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 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.

Несмотря на развитие мобилистских идей, мобилизм в 30-50-е годы потерпел поражение.

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 роли шарьяжей в строении горных стран. Однако уже в 30-е и особенно в 40-50-е годы они стали подвергаться 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 после проведения многоканальных сейсмических профилей методом отраженных волн.

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.

По проблеме глобального тектогенеза можно выделить два периода, характеризующиеся: первый – большой популярностью идей мобилизма (1910-1935) и второй – наступлением фиксистских представлений, т.е. реставрацией фиксизма (1935-1960гг.).

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. Особое место в них стало отводиться срединным массивам. 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. 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 создало основу для составления тектонических карт крупных территорий.

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

Особую задачу представляло изучение современных движений земной коры. 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.

В 40-е годы в особое направление в тектонике оформилось учение о глубинных разломах как важнейшем типе разрывных нарушений литосферы.

Еще одно направление тектоники получило развитие в рассматриваемый период – экспериментальная тектоника и тектонофизика.

Несмотря на отсутствие единой идеологической базы, тектонические исследования в первой половине XX в. характеризовались крупными достижениями. 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.

6.2. Развитие других геологических наук

В рассматриваемый период были достигнуты результаты в других областях наук геологического цикла. В *геофизике* это выразилось 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. Австралийским ученым К. Булленом в 1959 г. была предложена общая модель строения Земли. Химический состав этих оболочек был впервые правильно намечен Э. Зюссом в 1909 г.. 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.

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. Гипотеза Баррела получила сейсмологическое подтверждение лишь в 50-е годы (Б. Гутенберг), и с тех пор понятия литосферы и астеносферы прочно укрепились в литературе и были использованы в построениях мобилистов.

Стал успешно применяться разработанный Г. А. Гамбурцевым (1903-1955) на основе разведочного корреляционного метода преломленных волн ме-

тод 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. В минералогии начался поистине героический период, период кристаллохимии минералов или «структурной минералогии», как ее определил Н. В. Белов (1891-1982).

Применение рентгеноструктурного анализа подтвердило реальность теоретически выведенных ранее Е. С. Фёдоровым и А. М. Шёнфлисом 230 пространственных групп симметрии. Оно позволило В. М. Гольдшмидту (1937) сформулировать основной закон кристаллохимии.

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, которая заняла одно из основных мест среди наук о твердой Земле. Предпосылками возникновения геохимии были открытие Д. И. Менделеевым периодического закона распределения химических элементов (1869), появление модели строения атома Бора-Резерфорда (1908), введение в практику 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 (термин предложен Ж. Б. Ламарком в 1802 г.) и геотектоники (К. Науман, 1860).

В. И. Вернадский широко сформулировал предмет геохимии и положил начало его разработке. Но первые лекции по геохимии были прочитаны в Москве еще в 1912 г. учеником и сподвижником В. И. Вернадского, А. Е. Ферсма-

ном, которого также справедливо считают одним из основоположников этой науки; ему принадлежит капитальный четырехтомный труд «Геохимия» (1932-1939).

В особое направление выделилась в 20-30-е годы и получила впоследствии широкое развитие геохимия процессов гипергенеза в связи с образованием кор выветривания и литогенеза – в связи с образованием осадочных полезных ископаемых. Важные успехи 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. 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 геологической роли живого вещества, т.е. биогеохимия.

Другая 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 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.

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.

Изучение осадочных пород в первой четверти XX в. еще не носило систематического характера. Положение начало меняться в 30-е годы, когда петрография осадочных пород оформилась в самостоятельную дисциплину, к концу периода окончательно отделившись от петрографии магматической и метамор-

фической и превратившись в особую науку – *литологию*. Начавшееся с этого времени быстрое развитие литологии и седиментологии 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.

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.

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.

Палеогеография также относится к числу наук геологического цикла, приобретших самостоятельность в первой половине XX в.

Стратиграфия в первой половине XX в. оставалась еще почти исключительно биостратиграфией. Однако с открытием радиоактивности возникла, наконец, перспектива определения абсолютного возраста горных пород, причем не только осадочных. Развитие 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. Баррелом в 1917 г.

Оформляются в качестве самостоятельных дисциплин микропалеонтология и палинология; их развитие стимулировалось практическими потребностями нефтегазовой и угольной геологии. В большей мере это относится к *геологии нефти и газа*, 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 ли-

тологические 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 40-50-е годы И. О. Брод, В. В. Вебер, В. Е. Хаин 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. Классификация таких бассейнов стала строиться на тектонической основе.

Большой интерес продолжала вызывать к себе проблема происхождения нефти. Долгое время конкурировали две гипотезы – биогенного (органического) и абиогенного (неорганического) происхождения. Первоначально сторонники биогенного происхождения спорили о том, за счет какого источника органического вещества образовалась нефть – растительного или животного. Был сделан вывод об образовании нефти уже в процессе диагенеза осадков, причем в водоемах самого различного типа – от пресноводных до океанских. 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°. Была разработана стройная схема вертикальной зональности нефтегазообразования в 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.

В *геологии угольных месторождений* дальнейшие успехи в классификации углей в зависимости не только от их происхождения, но и от степени преобразования были 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.

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. Стала

разрабатываться, преимущественно на тектонической основе, классификация угленосных бассейнов и формаций.

Геология рудных месторождений уже сформировалась как отрасль геологических знаний. 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 русский геолог С. С. Смирнов.

В России стали развиваться представления о заимствовании гранитами металлов из осадочных пород, в частности при их предполагаемой гранитизации.

В 40-е годы все более активный характер приобретает обсуждение общих вопросов металлогении, а классификации месторождений увязываются с господствующими тектоническими воззрениями. Общей в их построениях была идея о закономерной смене типов рудных месторождений в зависимости от смены стадий развития геосинклиналей.

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.

На предыдущем этапе 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.

Инженерная геология развивалась в первой половине XX в. по двум существенно различным направлениям, заложенным уже в самом ее названии, - в геологическом и геотехническом. 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 приобретающего все больший размах.

Основоположником геокриологии был М. И. Сумгин (1873-1942), поддержанный В. А. Обручевым.

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.

Т.о., критическим периодом этот временной отрезок 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 успехи, заняв место «третьей сестры» в науках о Земле, рядом 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.

7. Новейший период развития геологических наук (60-90-е годы XX в.)

Геологические науки в 60-е годы нашего века пережили настоящую революцию. Геология впервые превратилась в глобальную науку, а развитие Земли получило научное объяснение на уровне других областей естествознания.

Научная революция началась в области геотектоники, довольно быстро распространившись на все другие области геологии и вообще наук о твердой Земле. В середине века в геотектонике не существовало сколько-нибудь руководящей концепции, касающейся причин движений и деформаций земной коры и эволюции ее структуры, 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. Обе эти гипотезы исходили из признания ведущей роли вертикальных движений земной коры, считая горизонтальные движения, в том числе вызывающие, складко- и надвигообразование, производными от вертикальных.

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 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 и внутреннего строения Земли, ее верхних оболочек. В основе достижений в обеих этих областях лежало применение новой аппаратуры. 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.

В области глобальной геофизики большое принципиальное значение имело подтверждение существования в верхах мантии слоя повышенной пластичности – астеносферы, установление крайне неравномерного, сосредоточен-

ного 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. В итоге 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

Толчком к появлению тектоники плит было открытие мировой системы срединно-океанских хребтов и осложняющих их строение осевых рифтов. Профессор Принстонского университета в США Г. Хессу выдвинул 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. Естественным дополнением к спредингу, создающему новую океанскую кору, являлось ее поглощение в глубоководных желобах, позже получившее название субдукции.

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.

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. 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 исследований силы тяжести в океанах с подводных лодок.

В течение 60-х годов были получены и другие доказательства правильности гипотезы спрединга. Это прежде всего данные палеомагнетизма – определения остаточного магнетизма континентальных пород.

Другим доказательством спрединга, обнаруженным в 1965 г. канадским геофизиком Дж. Т. Вилсоном, в дальнейшем сыгравшим очень большую роль в утверждении концепции тектоники плит, явилось закономерное удревание возраста океанских островов по мере удаления в обе стороны от оси срединных хребтов.

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 прояснилась 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 о том, 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.

Последовавшие затем открытия не только подтвердили справедливость высказанного ранее, но и подготовили почву для более широкого обобщения, которое и получило название сначала новой глобальной тектоники, а затем тектоники плит (точнее, тектоники литосферных плит).

Была сформулирована новая геодинамическая модель, а именно разделение литосферы на плиты, смещающиеся относительно друг друга по поверхности астеносферы с раздвигом, поддвигом или скольжением по трансформным

разломам по законам сферической геометрии (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.

В нашей стране идеи тектоники плит вначале встретили сопротивление, прежде всего со стороны руководящей научной элиты, состоящей из ученых старшего возраста. Во-первых, преобладающая часть территории нашей страны занята платформами, древними и молодыми, в пределах которых проявление вертикальных движений совершенно очевидно – они контролируют распределение фаций и мощностей осадков и могут объяснить образование основных структур, в то время как горизонтальные движения проявлены значительно слабее и не слишком заметны. Во-вторых, к моменту появления тектоники плит у нас практически общим признанием пользовалась геотектоническая концепция В. В. Белоусова, которая истолковывала регионально-геологические материалы. Последним обстоятельством следует, в значительной мере, объяснять 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 или в других вариантах мобилизма.

Л. П. Зоненшайну принадлежат первые отечественные руководства по мобилистской геодинамике, и первое обобщение по тектонической истории территории бывшего Советского Союза с позиций тектоники плит, и первые отечественные глобальные плитнотектонические 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 1968 г., когда печатались основополагающие статьи на тему тектоники плит.

Реализация проекта началась с бурения пробной морской скважины в районе о. Гваделупа в Тихом океане. Эта скважина в 1961 г. вскрыла базальты второго слоя океанской коры, что само по себе было тогда достижением. Пять научных организаций США создали консорциум, который и приступил к осу-

ществлению этого проекта путем оборудования специального бурового судна, названного «Гломар Челленджер». 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 доказали их спрединговое происхождение. 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.

Проект глубоководного бурения 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.

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.

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. Путем совмещения одноименных аномалий, расположенных по разные стороны оси спрединга, можно определить ширину океана в каждый данный момент, начиная со 180 млн. лет, его глубину на тот же момент, а зная конфигурацию бассейна, общие законы циркуляции вод – рассчитать течения в его пределах, 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.

Сенсационным явилось 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.

В 80-е годы начались исследования, направленные на прямое измерение современных движений литосферных плит. Эти исследования ведутся двумя главными методами: длиннобазовая интерферометрия – регистрация сигналов от дальних радиозвезд – и прием отражений от лазеров, установленных на Луне или искусственных спутниках Земли. Таким образом, идеи мобилистов получили неопровержимое доказательство – плиты действительно перемещаются относительно друг друга.

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 обнаружения изменения скорости распространения сейсмических волн на различных уровнях в мантии Земли. Так как 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. 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.

Тектоника плит из смелой гипотезы 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, в геологии произошла научная революция.

На «доплитнотектоническом» этапе истории геологии ведущая роль в истолковании конкретного развития земной коры принадлежала учению о геосинклиналях. Это учение представляло эмпирическое обобщение известных

фактов, касающиеся развития складчатых горных систем, интерпретировавших-ся в соответствии с различными тектоническими гипотезами – изостатической, контракционной, дрейфа континентов. В 40-50-е годы возобладала фиксистская трактовка развития геосинклиналей. Развитие это рассматривалось как следствие проявления первично вертикальных движений – сначала погружений, затем поднятий, обусловленных процессами в мантии в основании геосинклиналей.

Положение изменилось с началом интенсивных исследований океанов и особенно с появлением концепции спрединга, а затем и тектоники плит. Большое значение для разработки нового понимания строения и развития геосинклиналей имели работы Дж. Дьюи и Дж. Берда 1969-1970 гг. Обобщающая работа Дьюи и Берда называлась «Тектоника плит и геосинклинали». Вся эта ревизия учения о геосинклиналиях в свете тектоники плит была, несомненно, своевременной и полезной и логически завершала распространение тектоники плит на континентальную геологию.

Основными отличиями новой интерпретации развития геосинклиналей от старой, фиксистской, трактовки были следующие: прежде всего это актуалистический подход, позволивший отказаться от специальной геосинклинальной терминологии – геоантиклинали, срединные массивы, даже мио- и эвгеосинклинали; эти термины могли быть успешно заменены 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 о том, 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.

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

Вскоре после своего оформления тектоника плит стала превращаться в основу других наук о твердой Земле. Она объясняла факты, относящиеся к сейсмологии и сейсмометрии, магнитометрии и другим областям геофизики. Взаимовлияние скоро обнаружилось между геотектоникой и геофизикой, петрологией и геохимией. Синтез этих наук уже к началу 70-х годов породил новую науку – *геодинамику*, изучающую всю совокупность глубинных, эндогенных процессов, изменяющих литосферу и определяющих эволюцию ее структуры. Это нашло отражение в том, что в 70-е годы на смену проекту верхней мантии явилась тектоника плит; приняли новый Международный геодинамический проект.

Связи тектоники плит с петрологией и геохимией выразились в том, что состав магматических пород, особенно вулканических, стал использоваться для реконструкции геодинамических, плитнотектонических обстановок геологического прошлого. Выяснилось, что определенные магматические ассоциации тесно коррелируются с геодинамическими обстановками. Петро- и геохимические исследования геодинамического направления основываются на все более тонких аналитических данных – по редким элементам, редким землям, в частности. В настоящее время ни одна тектоническая работа не обходится без петрохимических и геохимических данных, включая изотопно-геохимические.

Литологические ассоциации, обычно называемые формациями, уже давно, до появления тектоники плит, использовались в целях палеотектонического анализа. Их связь с геодинамическими обстановками оказалась тесной; поэтому появилось предложение именовать выделяемые в этом смысле комплексы уже не формациями, а литогеодинамическими комплексами.

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 высоты 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, на-

против, смешения 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.

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, а также зональность рудных месторождений в складчатых областях, в частности в древних вулканических дугах и окраинно-континентальных 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.

7.4. Другие успехи геологических наук во второй половине XX столетия

В области геофизики наиболее впечатляющи успехи сейсмометрии. Они затронули весь разрез Земли, от границы ядро/мантия до ее поверхности. Большое значение имело и применение сейсмики отраженных волн для изучения тонкой структуры всей земной коры. Новая методика дала возможность расшифровать строение коры в пределах покровно-складчатых горных сооружений. Результатом этих исследований явилось не только подтверждение существования крупных горизонтальных перемещений по шарьяжам, но и обнаружение их амплитуды, измеряемой сотнями километров, и более широкого их распространения, в том числе в древнейших толщах Балтийского щита. Ярким достижением является развитие сейсмостратиграфии, выражающееся в составлении детальных профилей через осадочные бассейны с помощью многоканальной сейсмики отраженных волн.

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.

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.

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.

Применение микрозонда в огромной степени углубило возможности анализа химического состава горных пород и отдельных минералов, вплоть до их мелких зерен.

Все более совершенные масс-спектрометры создали основу для быстрого развития геохимии изотопов и применения полученных данных как в геохронологии, так и для решения разнообразных генетических вопросов, касающихся кардинальных сторон истории земной коры, океанов, атмосферы, органического вещества.

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.

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. 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.

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. В нем рассматривается влияние климатических условий в литогенезе, подробно охарактеризована особенность осадков аридной, гумидной, ледовой зон.

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 особенно-

стях и пр. Наряду с литологией, изучающей прежде всего осадочные породы, возникла седиментология – учение о физико-географических обстановках осадконакопления, основывающееся на актуалистическом подходе.

Начало эры космических исследований стимулировало появление новой геологической дисциплины – космической геологии.

«Дистанционные методы» стали важным дополнением к стандартным методам геологического картирования и геофизического изучения земной поверхности и недр.

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.

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 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 континентов.

Резко повышается удельный вес исследований инженерно-геологического цикла в связи с обострившимся интересом к проблемам 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, сейсмотектоники и некоторых других геологических дисциплин.

7.5. Современное состояние и ближайшие перспективы геологических наук

В настоящее время основное внимание исследователей занимают две проблемы. 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. И является ли конвекция в мантии общемантийной или протекает отдельно в верхней и ниж-

ней мантии, или, наконец, один тип конвекции периодически сменяет другой во времени.

Второй вопрос заключается в роли мантийных струй – плюмов – и положении их корней. В основе ее лежит идея о том, что мантийные струи – плюмы, – 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 удревнением их возраста в направлении движения плиты. Если признать ее справедливость, горячие точки становятся репером, по которому можно определить уже не относительные, а абсолютные движения плит по сфере земной поверхности.

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 вернуться к давно оставленным представлениям об изначально горячей, по мнению некоторых, даже полностью расплавленной Земле. Популярной стала идея о существовании на самой ранней стадии развития Земли у ее поверхности или на небольшой глубине «магматического океана». Все больше данных свидетельствует и об очень ранней дифференциации Земли на оболочки с выделением ядра, разделением мантии на обедненную и обогащенную так называемыми некогерентными элементами.

Наряду с этими двумя главными проблемами – глубинная геодинамика и ранняя история Земли – в теоретической геологии наших дней существует значительное число и других проблем. Одной из них является время образования пра-Тихого океана – Панталассы – и возникновения фундаментальной диссимметрии Земли, ее разделения на океанское и преимущественно континентальное полушария.

Еще одна проблема – 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 предложенной гипотезе сербского ученого М. Миланковича, связавшего это чередование с изменениями инсоляции, вызываемыми в свою очередь изменениями параметров осевого вращения Земли. Однако само появление крупных ледниковых щитов требует другого объяснения. Особенно трудно объяснить крупнейшее оледенение конца протерозоя, охватившее, судя по па-

леомагнитным 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 главнейших. На долю геологии выпадает определение условий, при которых могла появиться жизнь. Огромный интерес вызывает и загадочная вспышка органической жизни на рубеже докембрия и палеозоя, протекавшая в две стадии – появление мягкотелой, но уже разнообразной эдиакарской фауны в позднем венде (отдельные формы могли появиться раньше) и скелетной фауны беспозвоночных в раннем кембрии.

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 покончили с альтернативными предположениями и не закрыли ее обсуждение в литературе.

В современной геологической науке понятие катастрофических событий более не представляется реакционным, как было сравнительно недавно. Катастрофы разного рода и масштаба – от бурь, ураганов и наводнений до вулканических извержений типа Кракатау или Пинатубо, крупных землетрясений, 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 стратиграфии возникло новое направление – событийная стратиграфия, основанная на том, что такие события служат естественными стратиграфическими реперами.

Не только объяснение великих вымираний потребовало прибегнуть к вмешательству космического фактора, но и периодичность проявления многих геологических процессов, отраженная 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.

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.

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 достигнут решающий прорыв. Важен и мониторинг природных катастроф – вулканических извержений, крупных оползней и обвалов. Актуальной задачей остается и разработка прямых методов поисков залежей нефти, и повышение отдачи нефтяных пластов, рациональные методы добычи рудных залежей на дне океанов, изыскание способов надежного и безопасного захоронения радиоактивных отходов.

Сейчас появляются основания говорить о наступлении новой революции в геологических науках. Происходит переход от гипотезы тектоники плит, 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.), это 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. 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 Болонье 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.

Три сессии конгресса состоялось в нашей стране: 7-я в 1897 г. в Санкт-Петербурге, 17-я в 1937 г. и 27-я в 1984 г. в Москве. Сессии конгресса собирают в последние годы до 4-5 тысяч делегатов из многих десятков стран мира.

Традиционно одной из главных задач конгресса является организация работы по созданию геологических карт.

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

8. Общие закономерности развития геологических наук

Небывалый подъем естествознания в течение XX в. связан с 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.

Для донаучного этапа геологии характерно накопление исходного фактического материала, разработка приемов геологических наблюдений и их истолкование в рамках поверий и мифов, а также традиционных воззрений нептунизма или плутонизма. Были высказаны идеи об изменении лица Земли (Аристотель, IV в. до н. э.; Страбон, 60-й год до н.э.), высказано предположение о морском происхождении ископаемых раковин (Ксенофан, V в. до н. э.), предложена гелиоцентрическая модель строения Солнечной системы.

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 (героический период) ознаменовался появлением биостратиграфического метода, предложенного В. Смитом в начале XIX в. Несмотря на 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 придержи-

живались 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 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. намечавшаяся 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. Уровень фактических знаний ограничивал возможности исторической геологии.

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. Талботом и впервые примененного для исследования горных пород и минералов английским геологом Г. Сорби в 1850 г. Микроскопическая петрография позволила 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 выделились 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, 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-съёмочные работы. Организуются международные геологические конгрессы.

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. Взамен 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.

Дискуссия по вопросу происхождения магмы, в особенности образования гранитов, продолжалась несколько десятилетий и закончилась в наши дни.

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. Определяющим в процессе развития геологии на этом этапе стал процесс интеграции, взаимного проникновения геологии, физики, химии, биологии, а также взаимо-

действия 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 гравияномалий, связанных с глубоководными желобами, а данные сейсмологии – погружающиеся на большую глубину наклонные сейсмофокальные 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 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. Особое значение имеет появление геодинамики, объединившей усилия геологов, геофизиков и геохимиков. В настоящее время геология снова находится на переломном этапе своего развития. Специфика 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.

Анализ особенностей развития геологии, историографическое 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 десятки лет, затем на новом уровне знаний вновь приобретающих значительную остроту.

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 нептунизма 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 сопоставления 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.

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 глобальной геодинамической модели Земли, изучения ее геодинамической эволюции, определения ее места в общем эволюционном ряду планет земной группы. 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. Пуцаровский. 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.

9. Библиографический список

1. Белоусов В. В. Очерки истории геологии. 1 У истоков науки о Земле (Геология до конца XVIII века). М., 1993. 267 с.
2. Вернадский В. И. Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981. 362 с.
3. Диалектика процесса познания. М.: Изд-во МГУ, 1985. 364 с.
4. Имбри Дж., Имбри К. Тайны ледниковых эпох. М.: Прогресс, 1988. 262 с.
5. Катастрофы и история Земли: Новый униформизм. М.: Прогресс, 1986. 366 с.
6. Методы теоретической геологии. Л.: Недра, 1978. 335 с.
7. Современные идеи теоретической геологии. Л.: Недра, 1984. 279 с.
8. Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии (Геология на пороге XXI века). М.: Наука, 1994. 188 с.
9. Хаин В. Е., Рябухин А. Г. История и методология геологических наук: Учебник. - М.: Изд-во МГУ, 1997. – 224 с.: ил.
10. Хэллем А. Великие геологические споры. М.: Мир, 1985. 216с.

Учебное издание

Ольга Владимировна Воловик

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Учебное пособие

Редактор Кипрова В. П.

Технический редактор Зуев М. Ю.

Лицензия серия ЛР № 020827 от 29 сентября 1998 г.

План 2002 г., позиция 59. Подписано в печать 09.09.2002 г.

Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 5,7. Уч.-изд. л. 5,8. Тираж 120 экз. Заказ № 139.

Ухтинский государственный технический университет.

169300, г. Ухта, ул. Первомайская, 13.

Издательско-полиграфическое управление УГТУ.

Лицензия ПД № 00578 от 25 мая 2000 г.

169300, г. Ухта, ул. Октябрьская, 13.

