

Т.Д.Смирнова

ЭКЗОГЕННЫЕ И ЭНДОГЕННЫЕ

ПРОЦЕССЫ

В ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Введение

Основные науки, изучающие нашу планету, это - геология, география, геофизика, геохимия. Термин «геология» произошел от слияния двух греческих слов: «гео» — земля и «логос» — знание, наука. У всех вышеназванных наук один и тот же объект исследования — Земля, но подходы к ее рассмотрению и предметы разные. Устройство земной поверхности, ландшафты, атмосферу и гидросферу и их взаимоотношение с органическим миром Земли изучает география. Изучением внутреннего строения Земли, физического состояния ее недр, гравитационного, магнитного, теплового и электрического полей занимается геофизика. Химическое строение Земли и ее отдельных оболочек, поведение и миграция химических элементов, их изотопов и соединений является предметом исследования геохимии.

Новейшая информация позволяет совершенно по-другому рассматривать вопросы возникновения и развития нашей планеты, существования и изменения жизни, процесс постоянного, но неравномерного обмена веществом и энергией между живой и косной материями. Фактические данные свидетельствуют, что в истории Земли не было времени без жизни. Исследование живых и косных веществ показывает их принципиальное различие, которое состоит в способности живого воспроизводить себе подобных. В условиях нашей планеты возможно существование двух типов материи — живой и косной, взаимодействие которых обеспечивает развитие определенных проявлений жизни. На Земле реализуется преимущественно белково-кислородная форма жизни. Однако о возможности другой формы свидетельствуют микроорганизмы, образования типа вирусов и др.

Живые организмы на Земле существовали на ранних стадиях развития планеты, когда формировались каменная, воздушная и водная оболочки, в определенных природных условиях. Условия с температурой в сотни градусов по Цельсию, давлением в тысячи атмосфер, при испепеляющем действии солнечных и иных космических лучей не способствовали образованию рыхлых осадков, которые могли явиться в будущем основой современных горных пород. Очевидно, что существенен факт установления на начальном этапе развития Земли единой и только континентальной поверхности. Большие по площади водоемы и их скопление, где могли формироваться осадочные породы, появились позднее на поверхности земной коры. Доказано, что на ранней стадии развития Земли появились глобальные структуры земной коры — древнейшие материки и океаны как понижения, где находится вода. Этап формирования океана – более поздний период, это этап трансформации уже существующей планеты в условиях самостоятельного развития.

Доказательство существования жизни является одним из важнейших достижений науки. В настоящее время фактически установлено, что жизнь может быть везде, включая космическое пространство. Таким образом, подтверждается представление В. И. Вернадского и его единомышленников о космической роли живого вещества и его ведущем значении во взаимоотношениях с «неживой» природой.

Учебное пособие строится на новых современных представлениях о возможном происхождении и развитии нашей планеты и окружающего нас мира.

Часть 1 ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

1.1 Геология, ее предметы и задачи

Ученые - геологи изучают земные недра, проводят исследовательские работы, совершают открытия во время далеких и трудных экспедиционных работ, в камеральных условиях, в городских лабораториях, когда они тщательно прорабатывают полученные в экспедициях материалы. Строение пород и поведение геологических процессов всесторонне изучают далеко от населенных пунктов и в самих городах. Геологические процессы, протекающие вокруг нас, определяют устойчивость зданий, сохранность дорожного покрытия и даже безопасность человека.

Для исследований ученые используют современную авиационную технику, космические и глубоководные обитаемые аппараты, научно-исследовательские корабли, оснащенные самой совершенной навигационной, радиотелевизионной и компьютерной техникой, морские глубоководные и сверхглубокие буровые установки. Техника дает возможность поднять на поверхность горные породы, находящиеся на дне океанов, образцы из земной коры с 10—12-километровой глубины.

Более ста различных специальностей и специализаций включает геология. Эта наука связана с химией (геохимия), физикой (геофизика), биологией (палеонтология и палеобиология), математикой и кибернетикой (компьютерное моделирование геологических процессов), астрономией и астрофизикой (космическая геология) и т.д.

Основная задача геологии связана с поиском залежей полезных ископаемых в недрах Земли. Задачей геологов является обеспечение устойчивости зданий и различных инженерных сооружений, транспортных магистралей и безопасного функционирования их на поверхности земли, где протекают разнообразные геологические процессы. Правильное решение таких практических задач невозможно без глубокого знания общих закономерностей строения и развития отдельных геосфер. Установление закономерностей и познание лежащих в их основе причин связаны с изучением планеты Земля, которая, представляя собой единую природную среду, развивается, как другие планеты Солнечной системы.

Знания взаимодействия земной коры с атмосферой, гидросферой и внутренними оболочками - ядром и мантией, теория происхождения и эволюции Земли, условий образования, строения, состава и развития земной коры, являются необходимым звеном мировоззрения. Практически вся материальная база современной науки и техники основана на использовании продуктов земных недр — нефти, угля, различных металлов, строительных материалов, подземных вод и др.

Известны различные классификации полезных ископаемых. *Рудные* используют для добычи различных металлов. *Нерудные* применяют для производства удобрения, каменную соль, серу, строительные материалы, драгоценные (алмаз,

рубин, сапфир, изумруд), полудрагоценные (аметист, циркон, топаз, цитрин, нефрит, малахит и др.) и поделочные (яшма, кварциты и др.) камни. Нерудные полезные ископаемые составляют также нефть, каменный и бурый уголь, горючие сланцы, газ.

Гидрогеология занимается поиском подземных вод (пресных и минеральных), а также практическим их использованием, которые также являются полезными ископаемыми.

Пласты горных пород повествуют об истории нашей планеты. Эта история содержится в каждом слое или группе слоев и обозначена особыми условными знаками. Исследователь, разгадывающий запись этой удивительной каменной летописи, сделанную самой природой, восстанавливает картины прошлого планеты, которое играет важную роль в жизни современного человека. Именно геологические исследования позволяют предсказать будущее нашей планеты. Знания геологии дают возможность выявить закономерности и зависимости развития Земли, осуществить поиск полезных ископаемых и экологически грамотно разработать месторождение на земле и на дне океана.

Земная кора планеты подвержена воздействию экзогенных и эндогенных процессов, которые протекают с различными скоростями. Облик гор и хребтов меняется с очень медленной скоростью. Изменения размеров вулканов, ущелий и долин рек, очертаний морей, заметны только при жизни нескольких поколений. Однако известны геологические процессы, скорость которых настолько быстротечна, что часто оборачиваются большой бедой для человечества и приводят к крупнейшим катастрофам. Ежегодно на Земле в разных районах происходят землетрясения и наводнения, проносятся смерчи и тайфуны, извергаются вулканы, наблюдаются другие грозные стихийные явления. Они разрушают здания и транспортные магистрали, вызывают гибель людей и животных, уничтожают посевы и леса.

Для того, чтобы обнаружить месторождение полезных ископаемых и поставить их на службу человечеству проводятся специальные изыскательские и научно-исследовательские работы. За всю историю человечество разработало множество способов добычи, переработки и использования полезных ископаемых, которые имеют огромное значение в жизнеобеспечении общества. Металлы, топливо, удобрения, строительные материалы, сырье для химической промышленности и освоения космического пространства — все это дают нам недра Земли. В этой связи актуальной проблемой взаимоотношения человека и природы является охрана окружающей среды от вредных последствий геологоразведочных работ и горнодобывающей промышленности. Природоохранные меры должны свести к минимуму те вредные последствия разработок месторождений, которые имеются на сегодняшний день, искоренить их и предупредить возможность проявления этих последствий в будущем.

1.2 Формы и размеры Земли

Представления о форме и размерах Земли с течением времени менялись и трансформировались вместе с общим развитием естественных и точных наук, их достижениями. Ранее наша планета Земля представлялась как некое шарообразное тело. С использованием точных оптических методов геодезии (XVII—XVIII вв.), было установлено, что Земля представляет собой не идеальный шар, полярный и экваториальный радиусы неодинаковы и разница между ними составляет около 21 км. Сплюснутость по оси вращения образовалась при совместном действии гравитационных и центробежных сил. На рубеже XVII—XVIII вв. И. Ньютон теоретически обосновал положение о том, что под воздействием силы тяжести Земля имеет сжатие в направлении оси вращения и принимать форму эллипсоида или сфероида. Во многих странах мира сделанные измерения длины меридианов и параллелей подтвердили теоретические положения и расчеты И. Ньютона. Такие данные показали, что Земля является не двухосным, а трехосным эллипсоидом, так как экваториальные радиусы отличаются по длине на 213 м.

А. А. Изотов в 1940 г. вычислил форму и размеры Земли, которые впоследствии получили название эллипсоида Красовского. Вычисленные с помощью космических аппаратов основные параметры по эллипсоиду Красовского следующие: экваториальный радиус - 6378,245 км; полярный - 6356,863 км. Площадь поверхности Земли составляет около 5210 мл. км², ее объем - 1,083·10¹² км³. Масса Земли равна 5,976·10²⁷ г или 5,976·10⁹ трлн. т.

1.3 Внешние и внутренние оболочки Земли

Поверхность Земли является поверхностью раздела гидросферы и атмосферы. Рассмотрим их подробнее.

Атмосфера. Верхнюю границу атмосферы земной поверхности проводят по высоте 700 — 800 км - 900 — 1000 км, а с учетом экзосферы граница перехода атмосферы лежит на высоте 2000 — 3000 км. В настоящее время земная атмосфера содержит 5,3·10³ трлн. т воздуха, и это составляет всего около одной миллионной части массы всей Земли. По своему составу и распределению массы воздуха атмосфера весьма неоднородна. На уровне моря плотность воздуха равна в среднем 1,3·10⁻³ г/см³ и быстро убывает, так, что 3/4 ее массы приходится на нижние слои атмосферы и в основном на приземные 10 км. В атмосфере различают несколько слоев, которые отличаются по вещественному составу, температуре и характеру воздушных течений. Слои разделяют границы, которые носят название пауз. По резкой смене температур выделяются тропопауза, стратопауза, мезопауза, экзопазуза (рис. 1). Паузы не имеют строго определенных границ раздела, в них могут возникать разрывы, через которые происходит обмен веществом и энергией.

Тропосфера. В тропосфере сосредоточено около 90 % массы атмосферы, возникают мощные воздушные течения, циклоны и антициклоны. В атмосфере происходит формирование погоды и климата. Состав сухого воздуха представляет смесь 78,08 % азота, 20,95 % кислорода, 0,93 % аргона, 0,03 % углекислого газа и

малых количеств благородных газов и водорода. Содержание пыли и паров воды в атмосфере играют очень важную роль в формировании погоды и климата региона. Парниковый эффект формируется под влиянием паров воды и облачности и углекислого газа, которые влияют на потоки коротко- и длинноволнового излучения. В этом заключается способность атмосферы пропускать солнечную радиацию и поглощать собственное тепловое излучение нижележащих тропосферных слоев.

Пыль тропосферы характеризуется различным происхождением. Ее возникновение может быть связано с вулканическими извержениями, с сильными ветрами с открытых незащищенных пространств, а также может иметь промышленное или антропогенное происхождение.

При удалении от земной поверхности температура медленно понижается и на высоте 10 — 12 км составляет от — 60 до — 70 °С. В стратопause, которая характеризуется высотой от 15 до 18 км, температура стабилизируется.

Стратосфера. В стратосфере до 40 км от поверхности Земли температура колеблется в пределах от — 40 до — 50 °С. При дальнейшем увеличении высоты температура быстро возрастает до 15 °С. В стратосфере установлена активная вертикальная циркуляция воздуха, приводящая к перемешиванию воздуха. Слой стратосферы до 30 — 40 км, обеспечен постоянным газовым составом. Отмечается преобладающее направление ветров — восточное, в отличие от западного направления в тропосфере.

Важной особенностью стратосферы и верхней части тропосферы является наличие озонового слоя, который находится на высоте от 17 до 30 км и обеспечивает экранирование поверхности Земли от ультрафиолетового излучения.

Газовый состав **мезосферы**, в котором преобладают азот и кислород, весьма устойчив. Температура мезосферы от нижней границы к верхней понижается, и достигает значений от -70 до -90 °С. У верхней границы образуются серебристые облака, представляющие собой скопления мельчайших кристалликов льда [1].

Термосфера представляет собой наиболее разреженный слой с характерным повышением ионизации газов, входящих в состав термосферы, а также существенным повышением температуры. Изменение температуры от —90 °С (высота около 80 км) до 400 °С (более 200 км). Среднее содержание водяного пара в атмосфере составляет около 2,6 % (об.). Для средних широт оно равно 1,3 % летом и 0,4 % зимой. Кроме того, незагрязненная атмосфера, помимо пыли (0,02 мг/м³), содержит сернистый ангидрид (SO₂), оксид углерода (CO), оксид азота (NO), а также ряд соединений и бактерий [1].

Гидросфера располагается между атмосферой и твердой земной поверхностью. Это прерывистая водная оболочка Земли, кроме Мирового океана в ее состав входят наземные и подземные воды. Гидросфера — одна из оболочек Земли, которая сыграла одну из самых важных ролей в геологической истории Земли. Именно в гидросфере возникла жизнь, и прошли чрезвычайно сложную эволюцию земные организмы. Возникновение своеобразных ландшафтов и осадочных горных пород в гидросфере способствовало формированию современного рельефа Земли. В состав гидросферы входят все известные нам

формы природных вод: воды, находящиеся в магматических расплавах, в химических соединениях в минералах и горных породах, сорбированные поверхностью минеральных зерен, в капиллярной осмотической, в вакуольной и биологически связанной формах. Сюда же относится вода в газообразном, жидком и твердом состоянии. Все формы воды взаимосвязаны друг с другом и постоянно переходят одна в другую, взаимодействуют с другими сферами. Высока вероятность перехода воды в кристаллическую решетку минералов, которые при повышении температуры теряют воду. Вода является активным участником всех природных процессов, происходящих как на поверхности Земли, так и в ее недрах.



Рис 1 Схематический разрез атмосферы. 1 — верхняя граница литосферы (а — суша, б — океан); 2 — серебристые облака; 3 — перламутровые облака; 4 — ярусы облачности в тропосфере; 5 — полярные сияния; б — температурная кривая; 7 — слой распространения озона; 8 — слой наибольшей концентрации озона (озоновый слой) [1].

Масса гидросферы составляет $1,46 \cdot 10^6$ трлн. т воды и льда. Она в 275 раз превышает массу атмосферы, но составляет всего одну четырехтысячную часть массы всей Земли. Около 94 % массы гидросферы составляют соленые воды Мирового океана. Из оставшихся 6 % около 3/4 приходится на подземные и поверхностные воды (озера, водохранилища, реки, болота) и только 1/4 на горные ледники и ледники Гренландии и

Антарктиды [1]. Возникновение гидросферы связывают с конденсацией водяных паров вулканических извержений, происходивших с начала формирования планеты. Наличие воды в геологическом прошлом доказывают осадочные горные породы, имеющие горизонтальную слоистость, которая отражает неравномерное осаждение минеральных частиц в водной среде и имеют возраст 3,8 — 4,1 млрд лет. Есть вероятность появления капельной воды и раньше — в воздухе, на поверхности планеты, в пустотах горных пород. Образование бассейнов и концентрация воды в понижениях земной поверхности возможно лишь при предварительном обводнении изначально обезвоженных горных пород. Первичные воды были сильно минерализованы, что связано с растворением в них различных веществ, выделявшихся вместе с водяным паром при вулканических проявлениях. Пресные воды появились позднее, когда дополнительным источником воды на Земле явились ледяные кометы, вторгавшиеся в атмосферу. В настоящее время процесс конденсации паров воды при извержении вулканов остается актуальным для пополнения гидросферы.

Гидросфера является единой, несмотря на многообразие природных вод и их

разное агрегатное состояние, ибо все ее части связаны потоками океанических и морских течений, русловым, поверхностным и подземным стоком, а также атмосферным переносом.

Вода — обладает уникальными свойствами, которые являются во многом аномальными. Растворение солей в воде может резко изменить ее фазовые превращения.

Океаносфера — единая непрерывная водная оболочка Земли, которая включает океаны и моря. Согласно международной классификации, насчитывается 54 моря, среди которых выделяют *внутренние* и *окраинные*.

Объем вод Мирового океана составляет 1340—1370 млн. км³. Объем суши, поднимающейся над уровнем моря, составляет 1/18 объема океана. Воды Мирового океана покрывают 70,8 % поверхности планеты (362 млн. км²). Благодаря огромной водной массе Мировой океан оказывает большое влияние на тепловой режим земной поверхности, выполняя функции планетарного терморегулятора.

Химический состав вод океаносферы. В среднем солёность Мирового океана составляет около 35‰, с колебаниями от 34 до 36‰. Это значит, что в каждом литре морской воды растворено 35 граммов солей, которые определяют ее важнейшее свойство — *солёность*. Солёность выражается в промилле (0,1 ‰). Температура воды и солёность определяют *плотность* морской воды. Морская вода — особый тип природных вод. Основные из них, входящие в состав морской воды, приведены ниже.

1. **Твердые вещества**, составляющие в среднем 3,5 % (по массе). Самое высокое содержание в морской воде хлора (1,9%), это более 50 % всех растворенных твердых веществ. Немного меньше содержания натрия (1,06%), магния (0,13%), серы (0,088%), кальция (0,040%), калия (0,038 %), брома (0,0065 %), углерода (0,003 %). Чаще всего в морской воде растворены такие соединения как:

хлориды (NaCl, MgCl₂) — 88,7 %, которые придают морской воде горьковато-соленый вкус;

сульфаты (MgSO₄, CaSO₄, K₂SO₄) — 10,8 %;

карбонаты (CaCO₃) — 0,3 %.

В пресной воде наоборот: больше всего карбонатов (60,1 %) и меньше всего хлоридов (5,2 %).

2. **Биогенные элементы** (питательные вещества) — фосфор, кремний, азот и др.

3. **Газы.** В морской воде содержатся все атмосферные газы, но в иной пропорции, чем в воздухе: преобладает азот (63 %), который в силу своей инертности не участвует в биологических процессах. Далее следуют: кислород (около 34 %) и углекислый газ (около 3 %), присутствуют аргон и гелий. В тех морских районах, где отсутствует кислород (например, в Черном море), образуется сероводород, который в атмосфере при нормальных условиях отсутствует.

4. **Микроэлементы**, присутствующие в малых концентрациях [1]. Общие закономерности горизонтального распределения температуры и солёности на поверхности Мирового океана заключаются в понижении температуры в

направлении от экватора к полюсам, а для солености характерны выраженный минимум в приэкваториальной области, два максимума в тропических широтах и пониженные значения у полюсов. Чередование зон пониженной и повышенной солености у экватора и в тропиках объясняется обилием атмосферных осадков в экваториальной полосе и превышением испарения над количеством осадков у северного и южного тропиков.

Температура воды с глубиной понижается в северной части Тихого океана. Такая закономерность свойственна для Мирового океана в целом, однако изменения температуры воды и солености различаются в его отдельных частях, что объясняется рядом причин (например, временем года). Наибольшие изменения происходят в верхнем слое до глубины 50—100 м. С глубиной различия стираются.

Водные массы характеризуют регион и формируются в определенном районе Мирового океана и обладают относительно постоянными физическими, химическими и биологическими свойствами. Согласно В.Н.Степанову (1982), по вертикали выделяют следующие водные массы: *поверхностные, промежуточные, глубинные и придонные*. Среди поверхностных водных масс выделяют *экваториальные, тропические* (северные и южные), *субтропические* (северные и южные), *субполярные* (субарктические и субантарктические) и *полярные* (арктические и антарктические).

Границами различных типов водных масс являются пограничные слои: *гидрологические фронты, зоны дивергенций* (расхождения) или *конвергенции* вод.

Наиболее активно взаимодействуют с атмосферой поверхностные воды. Именно здесь происходит наиболее интенсивное перемешивание вод. Поверхностный слой воды богат кислородом, углекислым газом и живыми организмами. Их можно назвать водами «океанической тропосферы».

В рельефе дна Мирового океана выделяют: *шельф* (материковая отмель), обычно ограниченный изобатой 200 м, *материковый* (континентальный) *склон* до глубины 2000 — 3000 м и *ложе океана*.

Роль океаносферы. Разнообразные (тепловые, механические, физические, химические и др.) процессы, протекающие на огромной (более 70 % поверхности Земли) акватории Мирового океана оказывают существенное влияние на процессы, происходящие на суше и в атмосфере. Все химические элементы, которые входят в состав морской воды, принимают активное участие в газо-, массо- и влагообмена гидросферы, литосферы и атмосферы. Постоянный газообмен с атмосферой регулирует газовый баланс Земли: содержание диоксида углерода в морской воде в 60 раз больше, чем в атмосфере. Гидрохимические процессы влияют на животный и растительный мир не только океана, но и планеты в целом.

Воды суши составляют сравнительно небольшой объем, однако играют огромную роль в процессах функционирования географической оболочки и жизнедеятельности организмов. Среди воды суши различают воды пресные, соленые озера и источники. Наиболее широко развита сеть пресных вод - *рек*. Это постоянные и относительно крупные водотоки. Меньших размеров водотоки

называют *ручьями*. Река имеет *исток* — место, откуда она начинается, и *устье* — место непосредственного впадения реки в приемный водоем (озеро, море, река). Устье может разветвляться, образуя *дельту* реки. Участок суши, по которому протекает река, называется *руслом*. Главная река и ее притоки составляют речную систему. Климат, почвы, растительность, рельеф, геологическое строение влияют на режим рек и формируют их природный облик.

Питание реки определяет характер стока. Различают дождевое, снеговое, ледниковое и подземное питание, которое определяется климатическими условиями речного бассейна. Такие реки как Волга, Днепр, Дунай, Северная Двина, Амур и др. в основном имеют снеговое питание, с интенсивным весенним половодьем и летней меженью. Большую роль играют подземные воды в питании рек, сглаживающие годовой сток. Особенность рек с дождевым питанием состоит в том, что максимум стока может приходиться на различные сезоны года. Все источники питания, участки земной поверхности и толщи почв, откуда река получает питание, получили название *водосбором*.

Большое значение имеет работа, производимая водами рек. Размыв русла, транспорт, отложение продуктов размыва (*аллювия*), осуществляют потоки воды, которые не только механически разрушают, но и растворяют горные породы. При этом образуются обширные аллювиальные равнины площадью в миллионы километров (Амазонская, Западно-Сибирская низменности и др.). Подсчитано, что в реках одновременно находятся 2100 км^3 воды, в то время как в океан стекает ежегодно $47\,000 \text{ км}^3$. Следовательно, объем воды в реках обновляется приблизительно каждые 16 дней. Для сравнения - воды Мирового океана осуществляют большой круговорот примерно за 2500 лет.

Озера — естественный водоем суши с замедленным водообменом, не имеющий прямой связи с океаном. Для образования озера необходимо замкнутое понижение земной поверхности, котловины. Озера занимают общую площадь приблизительно в 2 млн. км^2 , а суммарный объем их вод превышает 176 тыс. км^3 . Озера различаются по условиям образования котловины, размерам, химическому составу вод, термическому режиму. Искусственные озера — *водохранилища* (их около 30 тыс.), имеют объем воды более 5 тыс. км^3 . Среди озерных вод есть пресные и соленые. Причем самый большой объем соленой воды сосредоточен в большом бессточном озере — Каспийском море (76 тыс. км^3).

Болота — это область суши, с избыточным увлажнением, застойным или слабопроточным режимом вод и обильной растительностью. Они занимают площадь $2,7 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ или около 2 % поверхности суши. Геологическое строение территории (близость водоупорного горизонта), климатические условия, избыток влаги способствуют заболачиванию суши и зарастанию водоемов. В районах умеренных и субполярных широт роль водоупора выполняет вечная мерзлота. Специфическим образованием болот является *торф*.

Подземные воды находятся в горных породах в жидком, твердом или газообразном состоянии. Исследования последних лет показали, что содержание воды в горных породах в пределах литосферы составляет около 0,73 — 0,84 млрд. км^3 . Такое высокое содержание всего лишь вдвое меньше, чем в морях, океанах и поверхностных водоемах, включая и мировые запасы льда. Вода в

породах скапливается в различных каналах, трещинах, порах. Ниже уровня грунтовых вод до глубины 4—5 км и более, почти все пустоты горных пород заполнены водой. По данным глубокого бурения, вода в пустотах горных пород находится на глубине более 9,5 км, т. е. ниже среднего уровня дна Мирового океана.

В связи со значительными преобразованиями ландшафтов человеком за счет мелиорации, распашки земель и других урбанистических процессов, остро обозначилась проблема питьевой воды.

Земная кора. Информация о составе и физическом состоянии земных глубин основывается на комплексных геофизических исследованиях недр. Основной метод геофизики - сейсмический метод (от греч. «сейсма» — сотрясение). Результаты сейсмического зондирования, полученные из скоростей прохождения сейсмических волн, позволяют выделить три главные сферы Земли, отделенные одна от другой поверхностями раздела, в которых меняются их величины.

Земная кора — это твердая верхняя (внешняя) оболочка Земли. Ее мощность колеблется от 5 — 20 км под водами океанов до 30 - 40 км в равнинных областях и до 50 — 75 км в горных регионах. Если принять среднюю мощность (толщину) земной коры равной 33 км, а среднюю плотность веществ в ней — $2,8 \text{ г/см}^3$, то масса коры окажется равной $4,7 \cdot 10^7$ трлн т, что составит около 0,8 % всей массы Земли.

Химический состав земной коры сводится к содержанию легкоплавких силикатов с преобладанием алюмосиликатов. Больше всего в земной коре кислорода (49,13 %), кремния (26 %) и алюминия (7,45 %). Кислород в земной коре содержится не в свободном виде, а в форме оксидов.

Выделяют границу между земной корой и нижележащей мантией. Ниже границы скорость продольных волн возрастает до 7,9 — 8 км/с, а иногда даже до 8,3 км/с, поперечных волн — до 4,5—4,7 км/с. Сейсмический раздел впервые был установлен югославским сейсмологом А. Мохоровичичем и в честь его назван *поверхностью Мохоровичича* (сокращенно - Мохо) (рис. 2).

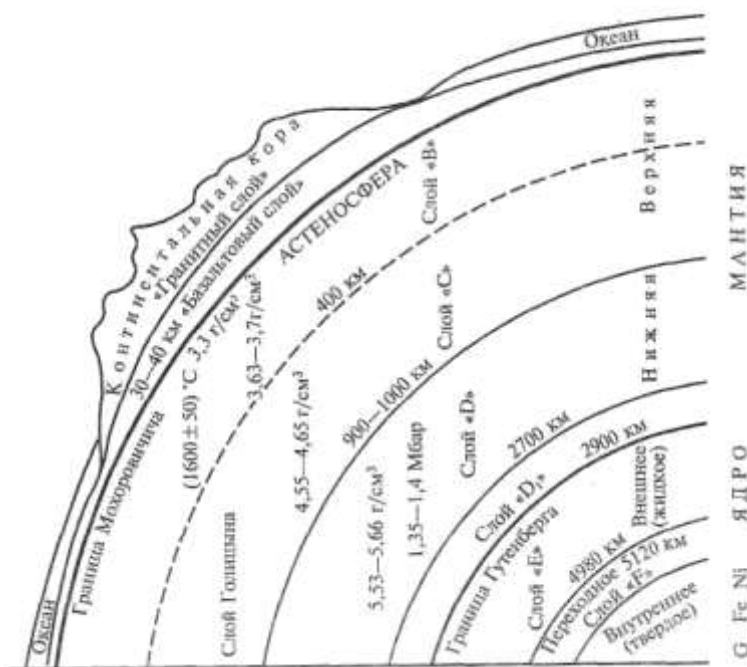


Рис. 2. Строение внутренних оболочек Земли

Мантия Земли имеет толщину под земной корой до глубины 2900 км от ее поверхности. Мантию делят на две части: верхнюю — слои «В» и «С», которые распространяются до глубины 900 — 1000 км, и нижнюю — слои «D» и «D₁» от глубин 900—1000 км до 2900 км. Слой «В» именуют слоем Гутенберга, а слой «С» называют переходным слоем или слоем Голицына. Граница между слоями «В» и «С» располагается на глубине около 410 км, при переходе через которую сверху вниз скорости сейсмических волн резко возрастают. Сейсмическими методами в слое «В» верхней мантии установлен слой относительно менее плотных, как бы «размягченных» пластичных горных пород. Он называется *астеносферой* (от греч. «астьянос» — слабый). Для астеносферного слоя характерно понижение скорости сейсмических волн, что особенно касается поперечных. Повышенная электрическая проводимость, вязкость и пластичность по отношению к горным породам вышележащей земной коры и нижележащей мантии являются особенностями астеносферного слоя, который располагается на различных глубинах. Под континентами его толщина от 80 — 120 до 200 — 250 км, а под океанами — от 50 — 60 до 300 — 400 км. Вязкость астеносферного вещества существенно меняется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Твердый **надастеносферный** слой мантии вместе с земной корой называется **литосферой**. Ниже астеносферы скорость продольных сейсмических волн резко возрастает, достигая на глубинах 900 — 2000 км 11,3—11,4 км/с.

Слой «С» отделяется от нижней мантии границей на глубине около 1000 км, где рост скоростей распространения сейсмических волн с глубиной резко замедляется. В нижней мантии скорости поперечных волн хотя и продолжают расти, но значительно медленнее, чем в слое «С» верхней мантии, достигая на глубинах 2700 — 2900 км 13,6 км/с. На глубине 2900 км намечается новый раздел

сейсмического характера, который отделяет мантию от ядра. Здесь скорости продольных волн скачкообразно падают с 13,6 км/с в основании мантии до 8,1 км/с в ядре.

Ядро Земли. В нем выделяют внешнее, переходное и внутреннее ядра. Внешнее ядро располагается на глубине от 2900 до 4980 км, переходное — до глубин 5120 км, а внутреннее ядро находится ниже 5120 км. Скорость распространения продольных сейсмических волн в нижней части земной коры в среднем составляет 6,5 — 7,4 км/с, а поперечных — около 3,7 — 3,8 км/с.

Плотность и давление. Средняя плотность Земли, по гравиметрическим данным, составляет 5,52 г/см³. При сопоставлении этой величины со средней плотностью Земли, предполагается значительное увеличение плотности земного вещества в мантии и ядре.

Согласно расчетным данным, в адастеносферной части мантии непосредственно ниже границы Мохо плотность пород значительно выше, чем в земной коре, и составляет 3,3 — 3,4 г/см³. В основании нижней мантии на глубине 2900 км плотность достигает 5,6 — 5,7 г/см³. При переходе от мантии к ядру происходит резкий скачок плотности до 10 г/см³. Затем к центру Земли плотность постепенно повышается до 11,5 г/см³. Во внутреннем ядре плотность достигает 12,5 — 13 г/см³ (рис. 3.4). Сравнивая между собой приводимые значения средней плотности, надо отметить, что существенные изменения плотности происходят на сейсмических разделах на границе между земной корой и верхней мантией и между нижней мантией и внешним ядром.

Магнетизм Земли. Наша планета является гигантским магнитом, сведения о характере его магнитного поля получают в результате исследований земной поверхности и околоземного пространства с помощью специальных аппаратов, благодаря которым проводятся наземные морские, аэромагнитные съемки, измерения с помощью специальных инструментов, установленных на космических аппаратах. Магнитность Земли колеблется от 0,6-0,7 эрстэд у магнитных полюсов до 0,25-0,42 эрстэд у экватора. Информацию о геологическом прошлом нашей планеты и возрасте горных пород получают из сопоставления стабильной намагниченности, которая указывает на направление магнитного поля в момент формирования магматических и осадочных толщ. Магнитное поле предохраняет Землю от магнитных солнечных бурь. Пространство, в котором проявляется напряженность магнитного поля, называется магнитосферой. Магнитное поле имеет северный и южный полюс, но со временем оно меняет свое положение, как бы блуждает по Земле. В настоящее время северный магнитный полюс располагается вблизи южного географического полюса, а южный магнитный полюс - вблизи северного географического полюса.

Внутреннее строение Земли. По сейсмическим данным, вещество мантии Земли, через которую проходят как продольные, так и поперечные сейсмические волны, находится в эффективно-твердом состоянии. При этом вещество нижней части слоя «В» и слоев «С» и «D», по-видимому, находится в кристаллическом состоянии, так как существующее в них давление препятствует плавлению. И только в астеносфере слоя «В» с пониженными скоростями сейсмических волн

температура приближается к точке плавления. Предполагается, что вещество в астеносферном слое может находиться в аморфном стекловидном состоянии, а часть даже быть расплавленной. Геофизические исследования последних лет свидетельствуют о том, что в астеносфере имеются неоднородности, а сама астеносфера расслоена. В частности, об этом свидетельствуют также очаги магмы, возникающие на различных уровнях астеносферного слоя.

Ввиду того, что переход от мантии к ядру сопровождается резким снижением скоростей продольных сейсмических волн, а поперечные волны, распространяющиеся только в твердой среде, в него не входят, большинство исследователей считают, что вещество внешнего ядра находится в жидком состоянии, а внутреннее ядро, по косвенным данным, считается твердым.

Химический состав Земли. Для определения химического состава Земли и ее оболочек используют данные о метеоритах, представляющие наиболее вероятные образцы протопланетного материала, из которого сформировались планеты земной группы и астероиды. К настоящему времени изучены вещества многих выпавших на земную поверхность в разное время метеоритов. По составу метеориты различают трех типов: *железные*, состоящие главным образом из никелистого железа (90 % Fe) с небольшой примесью кобальта и фосфора; *железокаменные* (сидеролиты), состоящие из железа и силикатов; *каменные*, или аэролиты, состоящие главным образом из железисто-магнезиальных силикатов и включений никелистого железа.

Наибольшее распространение имеют каменные метеориты, которые составляют около 65 % всех находок. Каменные метеориты подразделяют на две группы: 1) хондриты с мелкими округлыми зернами — хондрами (90 %); 2) ахондриты, не содержащие хондр. Состав каменных метеоритов близок к ультраосновным магматическим породам. По данным М. Ботта, в них около 12 % железоникелевой фазы.

На основании анализа состава различных метеоритов, а также сведений, полученных в результате экспериментальных геохимических, геофизических данных и термодинамических расчетов, ряд исследователей предложили оценку валового элементного состава Земли, которая представлена в таблице 1, составленной Г. В. Войткевичем [1].

Как следует из таблицы 1, повышенное распространение характерно только для четырех важнейших элементов — кислорода, железа, кремния и магния в сумме составляющих 91 %. В группу менее распространенных элементов входят никель, сера, кальций, алюминий. Остальные элементы Периодической системы элементов Д. И. Менделеева имеют второстепенное значение.

Таблица 1. Средний химический состав Земли (по Г. В. Войткевичу, 1986)
(массовое содержание элементов, %)

| Элементы | А. Ферсман, 1932 | В. Рамамурти и Р.Холл,1970 | Р. Ганapati и Э. Андерс, 1974 | Дж. Смитт, 1979 | Дж. Морган и Э. Андерс, 1980 |
|----------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| O | 28,03 | 30,75 | 28,50 | 31,30 | 30,12 |
| Na | 0,52 | 0,30 | 0,158 | 0,085 | 0,12 |
| Mg | 11,50 | 15,70 | 19,21 | 13,7 | 13,90 |
| Al | 1,22 | 1,29 | 1,77 | 1,83 | 1,41 |
| Si | 14,47 | 14,73 | 14,34 | 15,10 | 15,12 |
| P | 0,12 | - | 0,215 | 0,18 | 0,19 |
| S | 1,44 | 4,65 | 1,84 | 2,91 | 2,92 |
| K | 0,15 | - | 0,017 | 0,013 | 0,023 |
| Ca | 1,38 | 1,54 | 1,93 | 2,28 | 1,54 |
| Ti | - | - | 0,10 | 0,093 | 0,08 |
| Cr | 0,26 | - | 0,478 | 0,416 | 0,41 |
| Mn | 0,18 | - | 0,059 | 0,047 | 0,075 |
| Fe | 37,04 | 29,30 | 35,87 | 31,70 | 32,07 |
| Ni | 2,96 | 1,65 | 2,04 | 1,72 | 1,82 |

Химический состав Земли весьма неоднороден и существенно отличается. Внутреннее ядро Земли состоит из вещества, состав которого 10% никеля и 90% железа. Внешнее ядро представлено смесью железа и серы, в которой на серу приходится 12% и около 2% никеля с примесью окислов магния. В составе мантии Земли преобладают кислород, кремний и алюминий, в меньшем количестве - магний и железо. В целом она представлена пиролиито-сложным комплексом пород ультраосновного состава. Химический состав верхней и нижней мантии почти одинаковый. Наиболее полно изучен состав земной коры. На долю кислорода, кремния и алюминия приходится 84,5%. Вторую группу распространённых элементов составляют железо, кальций, натрий, фтор, магний (14,48%). Остальные элементы составляют 0,8% массы земной коры. Сравнительный анализ химического состава земной коры, мантии и ядра показывает, что в земной коре более высокое содержание кислорода, кремния, алюминия, калия, натрия, кальция и низкое железа и магния, никеля хрома и кобальта [2]. Геологические процессы, происходящие внутри Земли, такие как перемешивание расплавленной магмы с образовавшимися ранее горными породами, разделение магмы и многие другие, а также процессы, действующие на поверхности Земли, приводят к образованию разнообразных минералов, горных пород и полезных ископаемых.

Контрольные вопросы

1. Каковы форма и размеры Земли?

- 2.Какие существуют методы изучения внутреннего строения Земли?
- 3.Каково строение внешних оболочек Земли?
- 4.Каково внутреннее строение Земли?
- 5.Какова средняя плотность Земли и как распределяется по глубинам?
- 6.По каким данным определяется средний химический состав Земли?
- 7.В каком агрегатном состоянии находится вещество в земных недрах?

Часть 2 ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Выветривание

На земной поверхности горные породы находятся в условиях тесного взаимодействия с атмосферой, гидросферой и биосферой и под их воздействием начинают разрушаться и преобразовываться. Внешними, или *гипергенными*, процессами создается почвенный покров, который несплошным чехлом перекрывает *коренные породы*, которые возникли на некоторой, иногда значительной глубине в недрах Земли или на дне морей и океанов. Оказываясь в новых физико-химических условиях на поверхностной части Земли, они, под влиянием различных внешних факторов начинают разрушаться. Происходит процесс выветривания.

Выветривание — это изменение состава и свойств горных пород, которое протекает на поверхности Земли под действием физических, химических и биохимических процессов. Под влиянием этих процессов горные породы и минералы в приповерхностной части земной коры преобразовываются. В процессе выветривания возникают своеобразные образования, которые носят название *коры выветривания*. Процессы выветривания играют важнейшую роль в образовании осадочного материала и предшествуют возникновению подавляющего большинства осадочных горных пород.

Различные факторы обуславливают образования кор выветривания. Во-первых, это колебания температур, воздуха и природа самой горной породы. Второй фактор заключается в химическом воздействии атмосферных и поровых газов и воды, из которых главными являются углекислота и кислород. Биохимическое воздействие основано на образовании органических веществ в результате жизнедеятельности организмов или возникновении в результате преобразования после их отмирания и разложения.

Область, в которой происходит преобразование минерального вещества, слагающего горные породы, или дезинтеграция минерального единства горных пород называется *зоной выветривания*, *зоной гипергенеза* (от греч. «гипер» — над, сверху). Процесс выветривания сложен и протекает весьма медленно. Его

скорость и глубина зависит от климата, рельефа местности, где обнажаются коренные породы, наличия разрывных нарушений, состава организмов, участвующих в процессе выветривания, а также от минерального состава самих горных пород, их структурно-текстурных особенностей. Наиболее важным фактором среди физико-географических процессов является климат, который определяет движущую силу процессов выветривания. Большое значение имеет в климате степень влажности и общее количество солнечной энергии, среднегодовая и среднесуточная температура региона. От характера климата и длительности его воздействия зависят глубина преобразования горных пород и возникновение стадийности выветривания. Различают физическое и химическое (биохимическое) выветривание в зависимости от особенностей физико-географического и физико-химического фактора региона. Необходимо отметить, глубокую взаимосвязь этих двух процессов.

2.1. Физическое выветривание

В этом случае большое значение имеет температурный фактор, кристаллизация воды и солей. Для физического выветривания биологический фактор играет меньшую роль. Температурный фактор вызывает изменение объема составных частей породы. В других случаях горные породы разрушаются механическим воздействием кристаллов, растениями и роющими животными.

Температурное выветривание. В результате суточных и сезонных колебаний температур, приводящих то к нагреванию, то к охлаждению поверхности горных пород и из-за разного коэффициента теплового расширения и сжатия, а также теплопроводности минералов, слагающих горные породы, между минералами возникают напряжения и начинают нарушаться силы сцепления. Минеральные зерна в разной степени температурного выветривания сжимаются и расширяются, а потому возникают сжимающие и расширяющие усилия. В полном объеме эти процессы сказываются в самой верхней части коренных пород, выступающих на дневной поверхности. Особенно ярко этот процесс температурного выветривания проявляется среди полиминеральных горных пород. Темноцветные минералы быстрее нагреваются, чем прозрачные и светлые. При колебании температур это вызывает местные напряжения и приводит к разрушению минеральных зерен. Вследствие этого даже мономинеральные горные породы, такие как кварцевые песчаники, кварциты, известняки, известковые песчаники, мрамор и другие, быстро разрушаются из-за температурных колебаний.

Длительное воздействие только температурного фактора на поверхность твердых коренных пород приводит к тому, что из-за разницы температурного коэффициента объемного расширения нарушается взаимное сцепление отдельных минеральных зерен. В результате этого в горных породах возникают трещины и происходит дезинтеграция породы. Целые блоки некогда плотных и твердых пород распадаются на отдельные обломки разных размеров (глыбы, щебень, песок).

На интенсивность температурного выветривания влияет размер слагающих ее минеральных зерен. Чем крупнее зерна, тем быстрее они разрушаются. Процесс температурного выветривания, который вызывает механическую дезинтеграцию горных пород, наиболее интенсивно протекает в областях с резкими контрастами температур, сухостью воздуха и слабым развитием или полным отсутствием растительности, которая в той или иной степени смягчает воздействие температур на горные породы и почву.

Наиболее интенсивен процесс температурного выветривания в пустынях, где общее годовое количество атмосферных осадков не превышает 250 мм, а суточные колебания температур достигают 40 — 50°C. Относительная влажность на таких ландшафтах способна снижаться до 10 %. В этих условиях темноцветные минералы и горные породы нередко нагреваются до температур, значительно превышающих температуру воздуха. В полдень температура поверхности пород и песка превышает 70°C, а ночью они охлаждаются. Из-за температурного фактора и при отсутствии влаги поверхность горных пород шелушится, от поверхности горных пород отслаиваются чешуи, пластины различной толщины.

Дезинтеграции горных пород способствует наличие водяных паров и пленок, которые просачиваются и конденсируются на стенках возникающих трещин.

Температурное выветривание кроме пустынь активно протекает на вершинах и склонах гор, не покрытых снегом или льдом. Здесь вследствие высокой инсоляции поверхность хорошо и активно прогревается, а в ночное время остывает до отрицательных температур.

Механическое выветривание. В жарких пустынных районах механическое воздействие на горные породы и их дезинтеграция происходят в результате роста кристаллов солей в капиллярных трещинах и порах. В дневное время, когда поверхность пород сильно прогревается, капиллярная вода поднимается к поверхности и испаряется, а соли, содержащиеся в ней, кристаллизуются. Под давлением растущих кристаллов трещины и поры расширяются. Монолитность породы нарушается, и она начинает растрескиваться и разрушаться.

Особенно сильным разрушающим фактором при механическом выветривании оказывает замерзающая вода. Вода проникает в трещины и в поры и при наступлении отрицательных температур замерзает. При этом она увеличивается в объеме почти на 10 % и оказывает огромное давление на стенки трещин. Такая сила преодолевает силу сцепления зерен, слагающих горные породы, и они покрываются трещинами. Под действием замерзающей воды легко раскалываются трещиноватые и пористые породы. Процессы, связанные с воздействием периодически замерзающей воды, называются

морозным выветриванием, которое происходит в районах с суровым климатом — в полярных областях и в высокогорье.

Сильное механическое воздействие на толщи горных пород оказывают корневая система деревьев, трав, мха и лишайников, а так же роющие животные. Корни растений, проникая по трещинам, оказывают расклинивающее действие и вызывают раскалывание породы на отдельные глыбы и обломки. Механическое воздействие на коренные породы оказывают муравьи, земляные черви, грызуны, а также норные животные.

Таким образом, физическое выветривание основную роль играет в жарком и холодном климатах в пустынных и арктических ландшафтах. Возникшие в процессе физического выветривания продукты остаются на месте, тем самым создавая элювиальные образования (от лат. «элювио» — разлив, наводнение). Чаще продукты физического выветривания перемещаются вниз по склонам возвышенностей и гор, смываются поверхностными водами, удаляются ветром и льдом.

2.2. Химическое выветривание

Одновременно с физическим выветриванием в областях с промывным типом увлажнения происходят процессы химического выветривания с образованием новых минералов. В экваториальных, тропических и умеренных ландшафтах физическое выветривание всегда в той или иной степени в зависимости от температурного фактора сопутствует химическому выветриванию. Физическая дезинтеграция горных пород существенно увеличивает поверхность выветривающихся обломков. Основную роль в химическом выветривании играет влага, особенно насыщенная газами и химическими соединениями, под действием которых начинают видоизменяться физико-химические особенности пород. Главными факторами химического выветривания являются вода, кислород, углекислота и органические кислоты. Под их влиянием существенно изменяются структура и вещественный состав горных пород и образуются новые минералы, которые оказываются устойчивыми в поверхностных или гипергенных условиях. В химическом выветривании принимают участие и органические кислоты, выделяемые растительностью и микроорганизмами. Следовательно, в данном типе выветривания принимают участие биохимические процессы.

Одним из основных факторов химического и биохимического выветривания является присутствие воды, которая не только растворяет химические элементы и соединения, находящиеся в горной породе, но и обуславливает миграцию наиболее подвижных химических соединений. Особенно активны процессы химического и биохимического выветривания во влажном тропическом или экваториальном климате с характерной высокой влажностью и температурами, обеспечивающие богатую и разнообразную растительность. В результате преобразования и переработки под действием микроорганизмов и животных создается агрессивная химическая среда органических кислот, которые активно преобразуют химические соединения горных пород. Вода, как слабый электролит, слабо диссоциирована, но способна вступать в химические реакции с кристаллами. Чем выше концентрация водородных ионов в растворах, чем выше кислотность, тем выше скорость процессов выветривания, суть которых заключается в вымывании из кристаллических решеток катионов. Скорость воздействия на горные породы во время химического выветривания возрастает в том случае, когда в растворе присутствуют углекислота и органические кислоты. Химическое воздействие на минералы и горные породы оказываются находящиеся в растворенном в воде виде такие ионы, как HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ .

хлоридами, сульфатами и карбонатами. Наибольшей растворимостью обладают хлориды — соли натрия (галит или поваренная соль) и калия (сильвин). Далее по степени растворимости следуют сульфаты — ангидрит и гипс, затем карбонаты — известняки и доломиты. В процессе растворения среди монолитных толщ осадочных пород возникают различные полости.

Гидролиз. Особенно хорошо этот процесс проявляется при выветривании силикатов и алюмосиликатов. Сущность его заключается в разложении минералов и выносе отдельных элементов и соединений. При этом существенным образом нарушается структура кристаллов, которая заменяется совершенно новой. В гипергенных условиях каркасная структура полевых шпатов превращается в слоистую, которая характерна для разных глинистых минералов. Кроме того, из кристаллической решетки полевых шпатов выносятся растворимые соединения калия, натрия и кальция благодаря образованию в результате взаимодействий с углекислотой истинных растворов бикарбонатов и карбонатов K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CaHCO_3$, $CaCO_3$. Соединения выносятся из места своего образования в условиях влажного и жаркого климата. При сухом климате, когда существует дефицит влаги, эти соединения остаются на месте. В зависимости от того, в каких частях разреза они находятся, возникают поверхностные твердые карбонатные корки или они выпадают на некоторой глубине.

При выветривании полиминеральных пород, которые содержат марганец, титан и никель, а ими являются железисто-магнезиальные минералы (оливин, пироксены, амфиболы) наряду с образованием гидроксидов алюминия, возникают гидроксиды железа и оксиды марганца, титана, никеля. Такие участки, подвергшиеся сильному выветриванию, представляют собой своеобразные месторождения.

При выветривании горных пород в условиях достаточно высокого увлажнения, и определенном дефиците теплоты, образуется целый ряд глинистых минералов, таких как гидрослюда, монтмориллонит, нонтронит и высокоглиноземистый минерал бейделлит.

2.3. Биохимическое выветривание

Химические кислоты и другие соединения, образующиеся в результате жизнедеятельности организмов, принимают активное участие в химическом разложении веществ горных пород. Эту же роль выполняют и другие вещества, находящиеся в природных водах в коллоидной форме или в форме истинных растворов. Таким образом, выявляется величайшая роль живого вещества в преобразовании горных пород. Впервые понятие о живом веществе в науку ввел **академик В. И. Вернадский**. Он считал, что живое вещество является аккумулятором и перераспределителем солнечной энергии. Согласно его представлению, которое было поддержано и разработано целыми поколениями ученых, под влиянием солнечной энергии живое вещество создает новые химические соединения и производит в огромных масштабах биохимическую работу.

Биохимическое воздействие на горные породы начинается с момента первого

появления на скальных породах микроорганизмов, лишайников и мхов. В результате процессов жизнедеятельности организмов и механического действия, которое они оказывают на неживую природу, на поверхности породы появляются трещины и углубления, которые заполняются после их отмирания сухим органическим веществом. Оно служит основой для жизнедеятельности высших растений, которые в последующем заполняют эти места. Таким образом, первичные поселенцы как бы подготавливают основу для последующего заселения.

Роль организмов в выветривании заключается в том, что они в процессе своего роста извлекают из породы необходимые для своей жизнедеятельности элементы, но одновременно своими корнями разрушают породу. К числу биогенных элементов относят фосфор, серу, калий, кальций, магний, стронций, бор, железо, кремний.

При анализе зольного остатка растений выявлено, что в растениях содержится в десятки раз больше фосфора и серы, чем в субстрате, в несколько раз больше кальция, магния, стронция и ряда микроэлементов. Вместе с тем, присутствие в золе кремния и алюминия свидетельствует о том, что растительность на скальных породах нарушает связь между кремнеземом и глиноземом, а ведь связь SiO_2 с Al_2O_3 одна из самых прочных в кристаллической решетке алюмосиликатов. Вместе с тем, давно замечено, что организмы не только извлекают из коренных пород элементы, разрушая их, но и своей деятельностью создают определенные биогенные соединения, например кремнийорганические соединения.

Кроме того, роль биохимического выветривания состоит в том, что часть организмов в процессе своей деятельности создает кислую среду, выделяя органические кислоты, под действием которых ускоряется процесс выветривания. В процессе преобразования отмершего органического вещества образуются углекислота и органические кислоты, которые усиливают растворение порообразующих минералов.

Интенсивность биохимического выветривания зависит от величины биомассы. Ее в тропическом климате (во влажных тропических лесах) на порядок выше, чем в таежной области и (2,6 и 0,35 — 0,55 кг/м² соответственно). Вследствие высокой концентрации растительного опада в тропических влажных (в гумидных) областях почвенная среда кислая и, таким образом, агрессивные воды достаточно легко разрушают кристаллохимические связи.

Следовательно, биохимическое выветривание состоит из двух процессов: механического разрушения коренных пород или физического выветривания и химического разложения обломков и зерен.

2.4. Коры и профили выветривания

В результате совместного и достаточно сложного взаимосвязанного процесса физического, химического и биохимического выветривания на земной поверхности возникают различные продукты выветривания.

К **коре выветривания** относится комплекс элювиальных образований, возникших в приповерхностной части земной коры в результате преобразования в

континентальных условиях магматических, метаморфических и осадочных горных пород под воздействием физических, химических и биохимических процессов. Для коры выветривания характерны зависимость состава и мощности от физико-химических факторов, действующих на земной поверхности, и постепенный переход с глубиной в слабоизмененные процессами выветривания, а затем и свежие исходные (материнские) породы.

Состав коры выветривания и ее мощность зависят от сочетания различных физико-географических факторов.

Кора выветривания имеет переменную мощность и нечетко выраженную нижнюю границу. В зависимости от распространения выделяют **площадную** кору выветривания и **линейную**. Последняя приурочена к ослабленным зонам, к зонам разломов и повышенной трещиноватости.

На протяжении длительной геологической истории неоднократно возникали благоприятные ландшафтно-климатические условия для формирования площадных разнообразных кор выветривания. Во-первых, коры выветривания формировались на различных по составу и структурным особенностям горных пород и, во-вторых, их образованию благоприятствовали климат и определенный тип рельефа. Для того чтобы мощность кор выветривания достигала больших размеров, должен существовать непрерывный приток влаги, а ее обеспечивают хороший дренаж и близкое к поверхности расположение водоносных горизонтов. На крутых склонах и в горных областях мощные коры выветривания не успевают образоваться, так как в силу геоморфологических особенностей не успевает глубоко развиться химическое выветривание, в силу этого, возникший горизонт обломков удаляется. Поэтому для формирования кор выветривания благоприятен выровненный рельеф.

При достаточно длительном времени и развитии соответствующих физико-химических и физико-географических условий образуются хорошо выраженные **зоны выветривания**. Они составляют **профили выветривания**, и каждая зона обладает своими текстурно-структурными особенностями и сложена определенными минералами, которые в совокупности отражают **стадийность выветривания**. Значительными мощностями и полными профилями выветривания обладают коры, которые формируются в области влажных тропических и экваториальных лесов. Чем ниже температуры и меньше количество осадков, тем более неполными образуются профили выветривания. Зональность кор выветривания можно установить по преобладающим процессам минералообразования или по физическому состоянию продуктов выветривания. Необходимо отметить существование избирательности процессов выветривания. Не все горные породы и даже не все части одного блока пород равномерно и одновременно подвергаются выветриванию. Вследствие этого они выветриваются неравномерно. Большую роль играют слоистость, трещиноватость, расположение водоносных горизонтов. Кроме того, одни части горной породы легче растворяются (или гидролизуются), чем другие. Одни слои больше подвержены выветриванию, а другие, сложенные такими устойчивыми минералами, как кварц, не поддаются выветриванию.

2.5. Почвы и почвообразование

С процессами выветривания на земной поверхности тесным образом связано образование почвы, которая играет определяющую роль в жизни человеческого общества, растительного и животного мира. Почва характеризуется своеобразным составом, строением и продуктивностью. В совокупности эту тонкую, но энергетически и геохимически активную оболочку называют *педосферой*. Знание свойств, распространения и происхождения почв является предметом самостоятельной науки в цикле наук о Земле — *почвоведения*. Основателем этой самостоятельной науки, находящейся на стыке геологических и биологических наук, был великий русский ученый **В. В. Докучаев** (1846—1903). Дальнейшее развитие почвоведения получило благодаря работам крупнейших отечественных ученых К.Д. Глинки, В.Д. Ковды, М.А. Глазовской, Г.В. Добровольского, Б.Г. Розанова, Е.Д. Никитина и др.

Согласно **Г.В.Добровольскому** (1976), «почвой следует называть поверхностный слой суши земного шара, обладающий плодородием, характеризующийся органоминеральным составом и особым, только ему присущим, профильным типом строения. Почва возникла и развивается в результате совокупного воздействия на горные породы воды, воздуха, солнечной энергии, растительности и животных организмов. Поэтому свойства почвы отражают местные особенности природных условий и хозяйственной деятельности человека». Из этого определения следует, что почва является продуктом взаимодействия и обмена веществом и энергией между живыми организмами и горными породами, водной средой и атмосферным воздухом.

В формировании почв особенно велика роль органического мира, который тесным образом связан с климатом. Поэтому почвообразование и сложные биохимические процессы наиболее энергично протекают в зоне воздействия корневой системы растительности, роющих животных и микроорганизмов. Материал для формирования почв подготавливается процессами физического и химического выветривания.

В дальнейшем разложение происходит в результате биохимического преобразования вещества. При полном и сравнительно быстром разложении органического вещества и органических остатков происходит их полная минерализация. При неполном разложении органического вещества, который вызван недостаточным притоком кислорода, образуется новый, относительно устойчивый комплекс органических соединений, окрашенных в коричневый или черный цвет, который называется *перегноем* или *гумусом* (от лат. «гумус — земля»). Главным элементом, определяющим плодородие почв, является гумус. В его состав входит до 90 % гуминовых веществ, которые являются высокомолекулярными соединениями. Активные биохимические процессы разлагают минеральную часть почвы и одновременно накапливают органическую часть. Именно они в совокупности и определяют своеобразие структуры почвы, ее рыхлое строение, высокую пористость, которые способствуют увлажнению и аэрации. В почвенном профиле сверху вниз выделяют несколько генетических горизонтов:

- Перегнойно-аккумулятивный (гумусо-аккумулятивный) — А-1. В нем ведущим процессом является накопление гумуса. В некоторых случаях на поверхности этого слоя какое-то время сохраняется растительная подстилка — слой неразложившихся или слабо разложившихся органических остатков. Мощность горизонта колеблется от нескольких сантиметров до 1,5 м.
- Элювиальный, или горизонт внутрисочвенного выветривания. В этом горизонте преобладает вынос минеральных веществ. В нем, в условиях влажного тропического климата присутствуют глинистые минералы.
- Иллювиальный (В). В нем протекают процессы вымывания и накопления веществ, вынесенных из других горизонтов. Перемещение вещества происходит как в форме суспензии глинистых минералов, так и в форме коллоидальных и истинных растворов. Под иллювиальным горизонтом залегает горная порода, не затронутая почвообразованием. Почвенные горизонты и их мощность в разных ландшафтно-климатических областях выражены неодинаково.

На территории России выделяют следующие основные типы почв, которые различаются между собой мощностью и строением почвенных горизонтов:

- почвы тундры и лесотундры;
- подзолистые и дерново-подзолистые лесные почвы;
- серые лесные почвы;
- черноземы лесостепи;
- черноземные почвы луговой степи;
- каштановые и бурые почвы сухой степи;
- сероземы пустынной степи и пустыни;
- солонцы и солончаки.

В ряде мест в разрезе четвертичных и более древних континентальных отложений наблюдаются горизонты погребенных или ископаемых почв. Имевшийся в них гумус распался или минерализовался. Это свидетельствует о том, что в геологическом прошлом процесс почвообразования существовал, и он мало чем отличался от современного.

2.6. Экологическое значение процессов выветривания

Процессы выветривания существенным образом преобразуют земную поверхность и подготавливают дезинтегрированный материал для действия других геологических процессов. Изучение древних кор выветривания и почвообразования, установление их состава и распространенности имеют большое практическое значение. Оно помогает реконструировать физико-географические условия на земной поверхности, определять характер ландшафта, климата, степень расчлененности рельефа и движений земной коры. Коры выветривания выполняют следующие экологические функции: ресурсную функцию, подготавливают материал для дальнейшего переноса и аккумуляции, и являются жизненным пространством для некоторых форм растительного и животного мира.

Ресурсная функция кор выветривания заключается в том, что в процессе корообразования возникают новые минералы, устойчивые в новых условиях,

которые служат важными полезными ископаемыми. Такими являются латериты и бокситы — ценная руда алюминия. Образуются различные глинистые минералы — каолины, гидрослюды, монтмориллонит, многие из которых являются ценным керамическим и огнеупорным сырьем, а гидраты оксидов никеля, кобальта, марганца и железа добывают как руды черных металлов. В корах выветривания, кроме этого образуются магнезиты и опалы. Возникающие на низкокачественных железных рудах (железистых кварцитах) коры выветривания приводят к существенному обогащению рудных компонентов и являются ценной рудой. Так, на месторождениях Курской магнитной аномалии, над сравнительно бедными железными рудами, располагается горизонт коры выветривания, обогащенный гематитом.

Процессы выветривания рыхлят и преобразуют материал скальных пород. В этом случае экологическая роль этих процессов различна. Ее *отрицательная* сторона выражается в том, что корообразование подготавливает материал, который легко разрушается и выносится различными экзогенными факторами. При этом нередко возникают и катастрофические процессы (сели, оползни). Не закрепленные растительностью рыхлые образования коры выветривания и почвы развеиваются ветрами, размываются поверхностными водами. *Положительная* роль корообразовательных процессов состоит в том, что они подготавливают материал для последующего почвообразовательного процесса. Кору выветривания и почва являются областью обитания и жизнедеятельности микроорганизмов, растений и мелких позвоночных.

2.7 Гравитационные процессы

Процессы выветривания приводят к разрушению горных пород. На горные породы с момента их образования начинают воздействовать различные физические силы, которые удаляют их с места образования и перемещают в пониженные участки, где начинают формироваться своеобразные гравитационные осадки, впоследствии превращающиеся в осадочные породы.

Гравитационный перенос, или перемещение обломков горных пород, происходит под действием силы тяжести из возвышенных мест в пониженные. Скорость перемещения обломков пород по склону зависит от размеров блока, его массы и крутизны склона. На крутом склоне перенос будет происходить до тех пор, пока не сформируется пологий склон, по которому движение обломков затрудняется.

Горные породы, участвующие в гравитационных процессах, образуют отложения, которые называются *коллювием*. Коллювиальные отложения состоят из разнообразных по составу и размеру обломков пород: глыб, щебня, песков, глин. Гравитационные процессы могут совершаться с разной скоростью. Одни происходят очень быстро, мгновенно, например обвалы, камнепады, а другие протекают медленно. Последние именуются крипом (от англ. «крип» — ползти, скользить). Большую роль в гравитационных процессах кроме гравитации играют надземные и подземные воды. Насыщая рыхлые образования, они способствуют

их скольжению по склону в виде вязких или жидких потоков. Под землей они выщелачивают и вымывают отдельные минералы, создают пустоты и ослабляют связь между толщами.

Таким образом, в гравитационных процессах и в формировании коллювиальных отложений принимают участие сила тяжести и вода в разных своих формах. Существует несколько классификаций склоновых процессов. По одной из них, выделяются три главные категории гравитационного переноса, которые зависят от скорости переноса и механизма перемещения:

- Медленное течение блоков. Ему может подвергнуться блок почвы, коренных пород, осыпи, каменные потоки;
- Быстрое течение — течение грунта, грязевые потоки, обвалы, оползни;
- Скольжение, обваливание, в том числе камнепады. В этом случае за счет скольжения и обвала перемещаются обломки и глыбы, оползни-обвалы и снежные лавины.

Гравитационные процессы разделяют на четыре категории: 1) собственно гравитационные; 2) водно-гравитационные; 3) гравитационно-водные; 4) подводно-гравитационные.

Медленное течение. Этот процесс оплывания почвы имеет место практически на всех склонах. Он проявляется в наклоне изгородей, телеграфных столбов, разрушении и смещении подпорных стенок искривлении стволов деревьев. Оползание почвы может нарушить линейность шоссе и железнодорожного полотна.

Скорость такого скольжения довольно мала. Она обнаруживается только по прошествии некоторого времени. Это зависит от температурных градиентов, обилия атмосферных осадков, угла склона и типа почвы. На залесенных склонах переплетенные корни деревьев замедляют перемещение, а иногда и вовсе прекращают медленное оползание.

В теплом и влажном климате, особенно, если поверхность склона глинистая, медленное скольжение усиливается, так как во время сухих сезонов глинистая поверхность высыхает и сильно растрескивается. Проникающая в трещины вода быстро заполняет влагой подпочвенные слои и заставляет склон медленно стекать вниз.

Медленно может перемещаться и блок коренных пород. Это случается тогда, когда данный монолит или блок коренных пород находится на склоне, но его сцепление с нижележащими породами каким-то образом нарушено. По образовавшимся между монолитом и коренными породами трещинам начинает циркулировать вода. В прошествии некоторого времени между монолитом и коренными породами постепенно увеличивается просвет. Монолит перекашивается в соответствии с углом склона. В дальнейшем такой монолит в зависимости от насыщенности поверхности водой может перемещаться вниз по склону.

Медленное течение свойственно и **осыпям**. Они возникают вследствие медленного перемещения скопившихся на склонах и у подошвы возвышенностей продуктов выветривания. Такие рыхлые осадки носят название делювиальных (от

лат. «делуо» — смываю). Осыпи, сползающие по склонам различной крутизны, имеют разную скорость. Они состоят из различных по размерам обломков неправильной формы, которые образовались от разрушенных скальных пород под влиянием различных агентов выветривания. В областях с сильными колебаниями температур скорости движения осыпей больше, чем в районах, где суточные перепады температур малы. Самое быстрое перемещение характерно для холодных районов.

Быстрое течение. Оно наблюдается при большой крутизне склона и насыщенности рыхлого материала водой. Если блок породы оторвался в верхней части склона, то, скатываясь вниз, он своим весом и возникшим ускорением ударяется о поверхность склона. Ударяясь, блок раскалывается и в месте удара отбивает куски скальной коренной породы. После удара обвалившийся блок распадается на множество осколков. Они, или осыпаются по склону, создавая осыпь, или при значительной крутизне склона образуют камнепад.

Наиболее простой формой быстрого течения являются грунтовые потоки. По своей природе грунтовые потоки являются оползнями, но в отличие от настоящих оползней, когда происходит отрыв оползня в его верхней части от грунта, грунтовое течение осуществляется медленно. Такие перемещения грунта могут длиться многие месяцы и даже годы. **Сели**, или грязекаменные потоки для своего движения используют русла и долины ранее существовавших водотоков. **Лахары**, хотя и похожи на сели, но отличаются от них своим происхождением. Они возникают на склонах вулканов, которые покрыты слоем пепла, во время сильных гроздовых ливней.

Обваливание является примером гравитационного движения обломков горных пород и камнепада. Два условия необходимы для того, чтобы совершился обвал и возник камнепад: 1) потеря обломком породы сцепления с массивом горных пород, слагающим склон; 2) значительный уклон склона.

Собственно гравитационные процессы разделяются на три группы: провальные, обвальные, которые характеризуются быстрым перемещением обломочного материала, и медленные, именуемые крипом.

Провальные образования. Необходимым условием провальных процессов является наличие подземных полостей или пустот, которые возникли вследствие выноса подземными водами минеральных частиц в растворенном или во взвешенном состоянии. Пласты и блоки горных пород, нависающие над пустотами под действием силы тяжести, проваливаются. Непосредственной причиной возникновения провала может служить слабое землетрясение, взрыв или увеличение нагрузки над провалом. Часто провалы происходят над «брошенными» подземными горными выработками — шахтами. Размер перемещаемого в провал грунта и его масштабы зависят от глубины расположения подземных пустот и их объемов. На земной поверхности места провалов хорошо видны. На их месте возникают ямы, колодцы, котловины. Этот тип гравитационных перемещений в силу своих размеров и быстротечности способен нанести большой ущерб и относится к катастрофическим явлениям.

Обвалы. Подобные гравитационные явления развиваются на крутых склонах и обрывах. Недалеко от кромки обрыва и параллельно ему закладываются

трещины. Под воздействием физического выветривания (при замерзании воды, действии корневой системы растений) трещины расширяются. Лишенный сцепления с коренными породами массивный блок слегка наклоняется в сторону склона и под действием силы тяжести начинает отрываться от материнской породы. Теряя сцепление и под действием собственного веса, блок теряет равновесие и опрокидывается на поверхность склона. От удара о поверхность склона породы, составляющие блок, начинают дробиться и на склоне из его обломков возникает обвальный коллювий. Обваливание происходит многократно, и этот процесс считается многофазовым.

По своим размерам обвалы бывают разными — объемом от нескольких миллионов до 3 — 5 млрд. м³ Причинами возникновения крупных обвалов могут служить землетрясения.

К гравитационным явлениям этой группы также относятся *камнепады*, когда происходит отрыв и перемещение отдельных камней, и *осыпи* — перемещение по склону щебня, гравия и мелких обломков горных пород.

Крип - это медленное перемещение рыхлых отложений вниз по склонам возвышенностей и в глубь земли, в форме просадок. Крип обусловлен многократным уплотнением и разуплотнением рыхлых пластичных пород на глубине. Это происходит вследствие таяния и замерзания воды (*криогенный крип*), выщелачивания отдельных минералов, оттока подземных вод в связи с откачками или, наоборот, ее притока, откачкой нефти и газа (*антропогенный крип*). В результате медленного перемещения грунта на поверхности возникают плоские блюдцеобразные котловины, склоны лишаются растительного покрова и оголяются, а у подножия скапливаются коллювиальные отложения.

Водно-гравитационные процессы. К этой категории относятся такие перемещения блоков рыхлых пород на склонах, которые известны под названием *оползней*. В оползневых перемещениях могут участвовать как крупные блоки (блоковые оползни), так и отдельные глыбы (глыбовые оползни). Чаще всего оползень движется по глинистым насыщенным водой породам. Этот водупорный горизонт во время дождей сильно смачивается водой. Она нарушает существовавшее сцепление между ложем и вышележащими породами и тем самым способствует развитию оползневых процессов.

В течение года они способны переместиться на 100 м. Выделяются сезонные фазы, которые различаются между собой скоростями перемещения оползней. Весь процесс сползания длился менее 2 мин. Оползни оказывают отрицательный геоэкологический эффект. Они наносят вред — уничтожают пахотные земли, сады, пашни, разрушают жилые и промышленные здания, мосты, транспортные магистрали. В г. Саратове в 1884 г. в результате оползня на берегу Волги было разрушено 300 домов. Большой ущерб наносят оползни хозяйству приморских городов и населенным пунктам, расположенным в долинах рек и на склонах возвышенностей и гор.

Гравитационно-водные процессы. В эту категорию входят гравитационные явления, главным фактором которых является вода. Причем существенная роль принадлежит не только поверхностным, но и подземным водам. Во время действия этого процесса горная порода перемещается не в

результате гравитационного сползания или обрушения, а сплывания или в форме потока. К этой категории относятся оползневые потоки, оплывины, селевые грязекаменные потоки, лахары (грязекаменные потоки вулканогенных пород). Наиболее интенсивно данный процесс происходит в весенне-летний и осенний сезоны во время таяния снегов или сильных дождей. Вода пропитывает рыхлые образования, нарушает сцепления между зернами породы. Породы разжижаются и начинают стекать вниз по склону. Так возникают оползневые потоки, которые перемещаются вдоль долины реки или ручья. В результате насыщения водой основная масса вещества теряет свою первоначальную структуру и превращается в кашеобразную массу. В воде во взвешенном состоянии находятся глинистые частицы и погруженные обломки различного размера. Вследствие этого поверхность оползневого потока становится бугристой.

Оплывинами называют мелкие грязевые потоки, развиваются на поверхности достаточно плотных водоупорных пород. Оплывание склона всегда происходит постепенно и причиной его возникновения служит избыточное увлажнение верхнего слоя грунта. Для оплывин характерна микроступенчатость и этим они отличаются от оползней.

Селевые потоки (от араб, «сайль» — бурный поток) — это грязевые или грязево-каменные потоки, внезапно возникающие в руслах горных и особенно предгорных рек в результате резкого паводка, вызванного интенсивным таянием снегов или во время сильных ливней. Таким образом, в возникновении селей главную роль играет вода — дождевая, ливневая, талая, речная или подземная. В зависимости от размерности переносимого материала селевые потоки подразделяются на **грязевые, грязекаменные**, в которых в насыщенной водой глинистой массе погружены мелкие и крупные обломки твердых пород, и **водно-каменные**. В последних преобладают крупные обломки пород — валуны и глыбы. Селевые потоки перемещаются с большой скоростью и своей силой разрушают преграды. При потере скорости своего перемещения из селевого потока начинают отлагаться переносимые им обломки. **Селевой коллювий** — это рыхлая порода от валунов, глыб, щебня до неотсортированного песка и глины. Размерность обломочного материала зависит от скорости и мощности потока.

Лахары — это грязекаменные потоки, которые возникают на склонах вулканов и очень похожи на селевые. Они образуются в результате сильных ливневых дождей, которые часто сопровождают вулканические извержения, или от талых вод льда и снега, которые быстро расплавляются раскаленными извергающимися лавовыми потоками. Потоки воды, стекающие по склону вулкана, захватывают рыхлые вулканический пепел и песок и сносят его с большой скоростью к подножию вулкана. Лахары уничтожают жилые постройки, находящиеся на пути их движения, и приводят к человеческим жертвам.

Подводно-гравитационные процессы. Эти процессы перемещают материал, находящийся на неровном морском дне, со склонов подводных возвышенностей к их подножиям. На крутых участках в пределах материкового склона или на склонах подводных гор и возвышенностей нередко возникают подводные обвалы, когда из-за большой крутизны начинают срываться блоки осадков, которые под действием собственного веса начинают оползать. На

морском дне накапливаются осадки и возникают формы рельефа, очень похожие на наземные оползни и обвалы. Подводные оползни могут охватывать весь склон или часть его и перемещаться по существующим углублениям на подводном склоне к его подножию.

2.8 Экологические особенности гравитационных процессов

Гравитационные процессы прямо или косвенно причиняют вред биосфере и наносят большой ущерб хозяйственной деятельности человека и его здоровью. Они бывают причиной трагических случаев. Неожиданность возникновения и молниеносность проявления, например обвалов и оползней, приводят к катастрофам, заранее предупредить о появлении которых не бывает времени. Только длительный мониторинг за режимом всех факторов, которые вызывают возникновение гравитационных процессов, помогает в борьбе с этими грозными явлениями. Образование трещин на краю склонов, их рост, наличие водоупорного горизонта служат хорошими предвестниками обвальных и оползневых процессов. За такими обвально-оползневыми явлениями наблюдают сотрудники специально созданных противооползневых станций. Они следят за появлением оползней, обвалов, селей и предупреждают жителей окрестных районов о наступлении стихийных бедствий.

Специально разработаны конкретные меры по борьбе с оползнями. Они сводятся к тому, что оползневые склоны укрепляются путем высаживания кустарниковой и древесной растительности, имеющей мощную корневую систему. Для укрепления нижних частей оползневых склонов создаются упорные стенки. Поверхностные воды, которые приводят к насыщению рыхлых отложений на таких склонах, отводятся специальными каналами и желобами, а подземные воды перехватываются в верхней части склона канавами и спускаются по трубам. Чтобы оградить речные бассейны от селевых потоков и обвалов, по склонам долин и берегам морей возводятся дамбы и волноломы, препятствующие разрушению и подмыву берегов.

Во время проведения земляных, геолого-поисковых и разведочных работ избегают проводить каналы, избегают создавать дополнительные нагрузки на блоки, которые способны перемещаться по склону, также осуществлять строительство на поверхности оползневого тела.

Значительно труднее бороться с селевыми потоками. Во время сильных ливневых дождей потоки поверхностных вод, стекающих по склонам, смывают рыхлый материал в единый поток. Таким образом, селе вбирает в себя весь рыхлый материал с огромных пространств. Для того чтобы предотвратить этот процесс, необходимо укрепить склоны, засадить обнаженные части склонов растительностью, построить мелкие препятствия на пути движения рыхлых частиц. Поперек русла, по которому могут перемещаться селевые потоки, строят дамбы и специальные насыпи, которые не только замедляют скорость движения селея, но и задерживают каменно-жидкий и грязевой материал, переносимый селем.

Контрольные вопросы

1. Что такое склоновые процессы?
2. Какие отложения называются коллювием?
3. Какова классификация гравитационных процессов?
4. Чем отличаются провальные процессы от обвальных и крипов?
5. Чем отличаются камнепады от осыпей?
6. Какова характеристика оползней?
7. Чем отличается оползень от селя?
8. Чем характеризуются гравитационно-водные процессы?
9. Что означает селевой коллювий?
10. Что такое лахар и когда он возникает?

Часть 3 ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

3.1 Источники энергии в биосфере

Эндогенная энергия – это энергия земных недр, которая поступает в биосферу в двух формах: теплового потока (теллурические токи) и путем механических перемещений вещества. Величина теплового потока в среднем в 10^{-5} раз меньше потока электромагнитной солнечной энергии ($0,06 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$).

Тепловой поток неравномерно распределен на земной поверхности, что связано с характером тектонических структур и возрастом земной коры. Наибольшие значения теплового потока наблюдаются в зонах срединно-океанических хребтов (особенно в пределах рифтовых зон, поскольку там вещество мантии поднимается непосредственно к поверхности литосферы), в сейсмоактивных и вулканических районах. В тектонически спокойных регионах, в частности на древних платформах, его значения существенно ниже средних.

Источниками эндогенной энергии являются гравитационная дифференциация земного вещества по плотности, распад радиоактивных элементов, внутреннее трение масс вещества, сопровождающее гравитационную дифференциацию, приливное трение, обусловленное взаимодействием Земли с Луной и Солнцем. Поступление тепла на земную поверхность через гейзеры, вулканические извержения и от других локальных источников намного меньше и в общих расчетах обычно не учитывается. Определенную часть эндогенной энергии составляет конечная энергия, поступившая на земную поверхность ранее и сохранившаяся в «геохимических аккумуляторах» — горючих полезных ископаемых, горных породах абиогенного происхождения и рассолах, законсервированных в земной коре. По данным В. М. Лебедева и Н.А. Блинова, глинистые минералы, накапливая энергию на земной поверхности, способны выделять ее в процессе метаморфизма в недрах.

Полагают, что в прошлом радиоактивная и приливная составляющие эндогенной энергии были большими, так как на ранних стадиях развития Земли

было больше радиоактивных элементов и Луна располагалась ближе.

Экзогенная энергия. Энергия, поступающая на Землю из Космоса, называется экзогенной. В количественном отношении она на 97% состоит из электромагнитного излучения Солнца — солнечной радиации. Электромагнитное излучение Солнца содержит широкий спектр волн разной длины. Ультракоротковолновая радиация (длина волн менее 0,1027 мкм) проникает до высоты 100—200 км, где она задерживается в ионосфере. Более длинные волны (0,1027-0,2424 мкм) распространяются до высоты 70—80 км. Жесткая ультрафиолетовая радиация (0,2424 — 0,2900 мкм) практически полностью поглощается в слое максимальной концентрации озона высоте 25 — 28 км. В тропосферу и непосредственно к земной поверхности поступают мягкая ультрафиолетовая радиация (0,29 — 40 мкм), а также видимое световое (0,40—0,74 мкм) и инфракрасное излучение (0,74—2,4 мкм). Одновременно на Землю поступает *радиоволновое излучение* (от Солнца и из Космоса), энергетическое значение которого невелико.

Наряду с электромагнитными потоками в атмосферу проникает *корпускулярный поток* заряженных частиц — «солнечный» и «космический» ветер. Их суммарная энергия в несколько тысяч раз меньше электромагнитной энергии и уступает (в количественном выражении) даже эндогенной энергии. Корпускулярный поток почти полностью поглощается магнитосферой и верхними слоями атмосферы. Его изменчивость, обусловленная пульсациями солнечной активности, вызывает возмущения геомагнитного поля, что отражается на биологических процессах.

Суммарное воздействие эндогенной и экзогенной энергий изменяет вещество земной коры, создает форму и рельеф Земли. Самые грандиозные преобразования на поверхности планеты вызывает эндогенная энергия. Однако вклад экзогенной энергии в изменение облика планеты не менее значителен. Во-первых, солнечная энергия сохраняется в геохимических аккумуляторах земной коры. Во-вторых, неравномерность распределения лучистой энергии на земной поверхности приводит в движение атмосферу, а через нее и гидросферу.

Соотношение различных потоков энергии, поступающей в географическую оболочку, приведено в таблице 2, из которой видно, солнечная энергия по мощности намного превосходит все основные виды энергии.

Таблица 2. Потоки энергии, поступающие на Землю

| Поток энергии | Мощность, Дж/(м ² ·с) |
|--|-------------------------------------|
| Солнечная энергия (поглощенная атмосферой и земной поверхностью) | $2,3 \cdot 10^2$ |
| Энергия космических лучей | $2 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-6}$ |
| Антропогенное производство энергии | $3,2 \cdot 10^{-2}$ |
| Распад радиоактивных изотопов | $\sim 7 \cdot 10^{-3}$ |
| Энергия приливного трения | $3,5 \cdot 10^{-3}$ |

| | |
|--|-------------------|
| Энергия окисления органического вещества | 0,4-0,6 |
| Геотермическое тепло | ~0,1 |
| Тектоническая энергия | ~10 ⁻³ |

Влияние внутренней энергии Земли обнаруживает себя в разнообразных, но взаимосвязанных движениях земной коры. Их необходимо рассматривать как частное проявление общего процесса развития планеты и, следовательно, нет оснований считать, что внутренние массы Земли инертны или находятся в состоянии равновесия. Выделяют вертикальные (колебательные) и горизонтальные (тангенциальные) движения.

Колебательные движения земной коры проявляются в волнообразных поднятиях или опусканиях огромных участков литосферы. Среди колебательных движений выделяют медленные (вековые) мало контрастные и относительно быстрые (активные) контрастные.

В первом случае залегание пластов горных пород практически не нарушается, но изменяется их абсолютная, а иногда и относительная высота. Такие колебательные движения, которые происходят в течение длительного времени, называют *эпейрогеническими*. Они прослеживаются по положению береговой линии, когда граница между сушей и морем смещается. Если море отступает, то процесс называется регрессией, если море наступает, то трансгрессией. Сменяющиеся периоды трансгрессий и регрессий не обязательно равны по продолжительности.

Признаки поднятия берегов наблюдаются по террасам, остаткам морских организмов вдали от берега, удаленным от моря причалам и др. Признаки опускания суши — затопленные речные долины, состав донных отложений, стоящие в воде или затопленные строения. С трансгрессиями и регрессиями связаны *эвстатические колебания* уровня Мирового океана, обусловленные изменениями объемов воды. Процесс незначительного наступления моря на сушу, когда затапливаются только ее пониженные участки, называют *ингрессией*.

Значительное увеличение площади суши или моря не может не сказаться на характере климата, который становится более морским или более континентальным, что с течением времени должно отразиться на характере органического мира, растительного и почвенного покровов. Увеличение площади суши облегчает миграции наземной фауны и флоры, способствует смешению видов, тогда как увеличение площади морей облегчает перемещение и обмен морской фауны и флоры. Другим следствием является размывание берегов, пляжей вследствие *абразии*, когда море последовательно трансгрессируя, срезает часть побережья.

Тангенциальные движения земной коры вызывают изменение залегания пластов горных пород. Наиболее часто горизонтальные движения вызывают образование складок (*складчатые деформации*) — волнообразных изгибов

пластов. Выпуклая часть складки называется *антиклиналью*, вогнутая — *синклиналью*.

В связи с развитием *гипотезы литосферных плит* горизонтальным движениям придается большое значение. Установлено, что при формировании океанических структур земной коры тангенциальные движения являются ведущими.

Помимо складчатых, существуют *разрывные деформации*, связанные с перемещениями земных масс, предварительно разбитыми на отдельные блоки. Поднятые блоки называют *горстами*, опущенные — *грабенами*, в условиях растяжения земной коры формируются грабенообразные понижения — *рифты*. Процесс создания рифтогенных структур называют *тафрогенезом*.

Складчатые и разрывные деформации сопровождаются *магматизмом* и *землетрясениями*. При излиянии магмы на поверхность и образовании вулканов, лавовых потоков и покровов имеет место *эффузивный магматизм*. В этом случае в биосферу поступает большое количество энергии. В истории Земли, особенно на начальных этапах, магматическая деятельность проявлялась очень активно и, по мнению многих исследователей, сыграла решающую роль в возникновении и развитии земных сфер: каменной, жидкой и газообразной.

Скорости движения земной коры изменяются неравномерно и в истории Земли выделяют периоды интенсивных движений, которые называют *эпохами тектонической активизации*. Долгое время их рассматривали, как эпохи складкообразования и формирования горных систем, обусловленных внутренней энергией Земли. Сегодня некоторые исследователи эпохи усиления и ослабления тектонической активности связывают с положениями планеты в Солнечной системе и во Вселенной. В процессах тектонической активизации высвобождается огромное количество внутренней энергии планеты, которая частично реализуется в деформации горных пород и сопутствующих явлениях, а частично поступает в биосферу, участвует в экзогенных процессах и явлениях. Эпохи тектонической активизации — это время усиления экзогенных процессов. Тектонические поднятия и опускания контролируют неровности земной поверхности и распределение силы тяжести. Поступление тепла из недр при разрывах земной коры, вулканическая и гидротермальная деятельности способствуют возрастанию энергии на поверхности Земли, что заметно активизирует внешние процессы. Усиливается тепловое поле земной поверхности, приземного слоя атмосферы и части гидросферы, это ускоряет физико-химические и механические процессы и биологические реакции. Повышенная дегазация земных недр с выбросами обычно горячих и энергетически емких веществ также отражается на жизненно важных процессах. Таким образом, эпохи своеобразных тектонических «катастроф», волнующих земную твердь и ее поверхность, это и время «оживления» земной энергетики и связанных с ней энергозатратных процессов и явлений.

В истории Земли выделяют несколько эпох тектонической активизации, приведших к созданию складчатых поясов и горных систем как своеобразных выражений частичной разрядки внутриземной энергии: *байкальская, каледонская, герцинская, киммерийская, альпийская*. Движения альпийской тектонической

эпохи не закончились и называются *новейшими*. Несмотря на то, что эпохи тектонической активизации повторяются, они различаются по мощности, районам проявления и длительности.

3.2 Круговорот вещества и энергии динамического процесса

Межструктурные круговороты вещества и энергии и их роль в природе колоссальна, так как они обеспечивают многократность одних и тех же процессов и явлений, направленный характер их развития.

Круговорот веществ заключается в многократном участии вещества в процессах, протекающих в геосферах планеты. Круговорот энергии необходим в использовании энергии в геосистемах для обеспечения круговорота веществ. Так как круговороты вещества и энергии носят открытый характер, преобладание приходной или расходной частей свидетельствует о тенденциях развития данной системы, ее устойчивости или неустойчивости. В развивающихся природных системах всегда превалирует приходная составляющая, которая обеспечивает расширение и развитие процессов и явлений. В связи с тем, что закон сохранения вещества и энергии установлен для замкнутых (физических и химических) систем, а открытые природные системы в то время не исследовались, он ныне подвергается критике с точки зрения его всеобъемлемости. Очевидно, что рассматривать баланс приходно-расходной части открытой системы при ее свободных контактах с Космосом и установленными поступлениями вещества и энергии из Вселенной нецелесообразно. Однако именно дисбаланс обуславливает возможность совершенствования геосистем (как он способствовал формированию Солнечной системы) и, вероятно, является более общей закономерностью, чем утверждение о сохранении вещества и энергии применительно к природным системам.

Какие могут быть круговороты в природе и как их классифицируют? Поскольку мы изучаем природные круговороты, целесообразно рассматривать их применительно к отдельным сферам и каждому из веществ. Взаимодействие структурных частей биосферы, рассеивание вещества протекают не хаотически, а представляют собой отдельные звенья общего *межструктурного круговорота* вещества и энергии, связывающего атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу в единое целое — географическую оболочку Земли.

Так как результатом общего круговорота вещества и энергии является обособление и функционирование геологической среды в целом, то такой круговорот можно именовать *глобальным круговоротом* вещества и энергии. В его основу положены представления В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана и других ученых о большом геохимическом цикле, или большом географическом круговороте вещества (рис. 3).

Исходным звеном общегеографического круговорота вещества и энергии является земная поверхность. Под влиянием солнечной энергии здесь возникают динамические явления в тропосфере и гидросфере, сопровождаемые переносом тепла и влаги, формируются зона активной жизни и кора выветривания — структурные части географических ландшафтов. Это *зона гипергенеза* в трактовке

А. Е. Ферсмана, увенчанная тонким слоем современных ландшафтов. Следует обратить внимание на понятие «*земная поверхность*». С одной стороны, это геометрическая бестелесная плоскость раздела каменной тверди планеты с воздушной или водной средами, с другой — это поверхность земной коры с ее приповерхностной частью, где происходит изменение ее облика. В последнем случае земная поверхность становится объектом определенного вида, обусловленным ее постоянным изменением в ходе развития географической оболочки.

Общегеографический круговорот протекает медленно даже по геологическим масштабам времени. Он не является совершенно замкнутым. В разные геологические эпохи с неодинаковой силой проявляются тектонические процессы, в непрерывной эволюции находится органическая жизнь и потому качественно отличны ландшафты каждого круговорота и др.

Общегеографический круговорот вещества и энергии представляет синтез частных круговоротов, главные из которых — литосферный (геологический) круговорот, круговорот воды, биологический круговорот. Это не простое сложение, а возникновение нового явления со своими особенностями.

Литосферные круговороты проявляются двояко. Во-первых, это действительно перемещение вещества самыми разнообразными механическими путями, что соответствует понятию «*круговорот горных пород*». Во-вторых, это изменение вещественного состава перемещаемых или пребывающих в состоянии покоя горных пород (перенос минеральных веществ в земной коре), и такие процессы чаще называют *геохимическими круговоротами*.

Круговорот горных пород. Возникшие продукты выветривания коренных пород и биогенные накопления в земной коре превращаются в комплексы осадочных пород. Под влиянием высоких температур и давления, а также воздействия глубинных растворов, осадочные породы подвергаются метаморфизации. На больших глубинах метаморфические породы находятся в состоянии термодинамического равновесия, нарушение которого в силу разных причин (изменение давления, поступление дополнительного тепла и др.) может повлечь образование магмы. Находящаяся под давлением магма, насыщенная газообразными продуктами недр, прорывается в верхние слои земной коры и, охлаждаясь, переходит в изверженные кристаллические породы или изливается на поверхность Земли. В зоне гипергенеза вновь происходит разрушение магматических, осадочных и метаморфических горных пород.

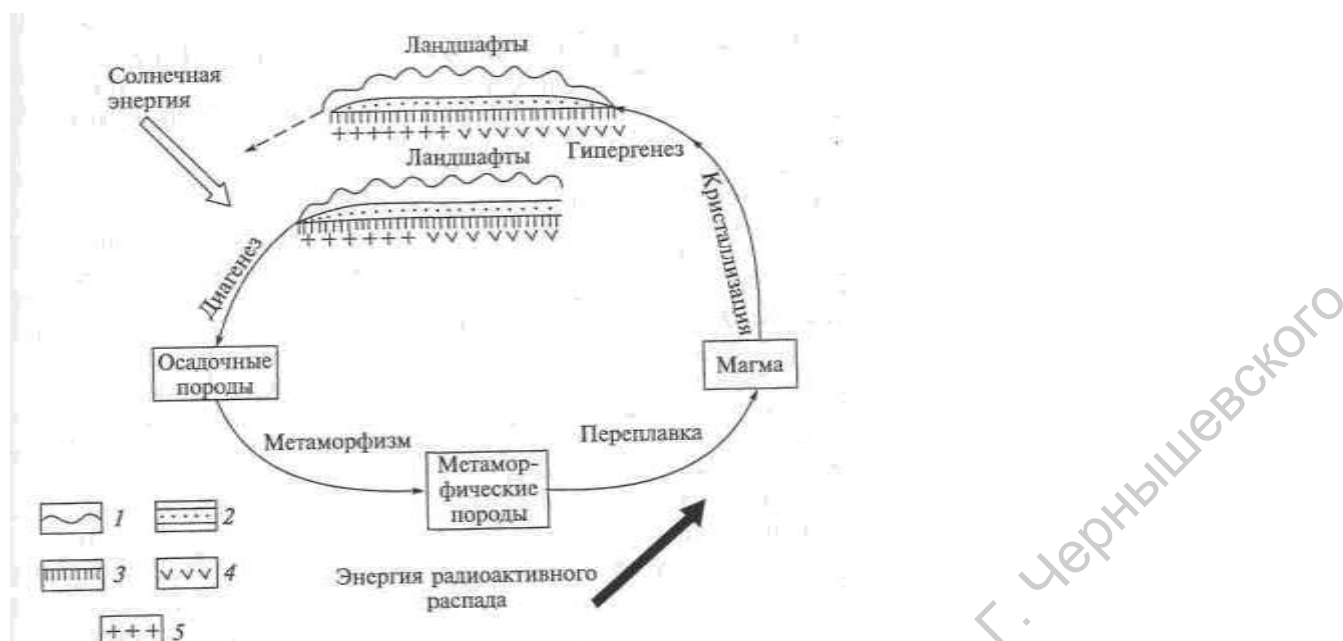


Рис. 3. Большой географический круговорот (Ф. Н. Мильков, 1990):

1 — приземные слои воздуха; 2 — область максимального скопления живого вещества (биостром); 3 — кора выветривания; 4 — изверженные породы; 5 — коренные породы другого состава.

Продукты выветривания переносятся водой, льдом или ветром и отлагаются (на суше или на дне водоемов) в виде рыхлых осадочных отложений, которые уплотняются. На продуктах выветривания формируются ландшафты — начальное звено нового общегеографического цикла.

Геохимический круговорот. Следствием многих круговоротов в литосфере является изменение химического состава горных пород вследствие *миграции* — переноса минерального вещества и перераспределения химических элементов. Этот процесс осуществляется потоками воды (твердый и ионный сток рек, перенос океаническими течениями), воздуха (вынос солей с моря на сушу, перенос в атмосфере пыли и продуктов горения и др.), ледниками, оползнями, грязевыми потоками, во время обвалов, а также растениями и животными.

Механической миграцией называют перемещение вещества, происходящее без изменения его химического состава. Этот процесс начинается с разрушения вещества — физического выветривания, и в дальнейшем осуществляется агентами миграции — воздухом, водой, ледниками и др. В результате механической миграции часть твердого вещества удаляется с континентов в океаны или перемещается от возвышенных участков суши к понижениям и формирует кластические горные породы (песок, конгломерат и др.), на которые приходится свыше 90 % массы осадочных горных пород. Механическая миграция составляет верхнюю (надземную) часть большого литосферного круговорота, или нисходящую часть литодинамического потока (по терминологии Н.А. Флоренсова). В течение года механическая миграция охватывает примерно 10^{10} т горных пород (за 10 млн лет этот процесс может переместить все вещество континентов, находящихся выше уровня моря). Из них $195 \cdot 10^9$ т попадает в моря, т.е. покидает континенты.

Химической миграцией называют изменение свойств перемещаемого вещества и его химического состава. Этот процесс начинается с разрушения вещества за счет химического выветривания воздушными и водными мигрантами. Среди *воздушных мигрантов* важное значение имеют элементы, которые могут образовывать химические соединения — водород, кислород, углерод, азот. Их атомы много раз «процеживаются» через живое вещество, почву и гидросферу, т. е. совершают очень быстрые круговороты. Исключительно активен кислород, поэтому от него зависит миграция большинства других элементов. Отдельную группу составляют *водные мигранты*. Среди них особенно подвижны анионы серы, хлора, бора, брома. Они образуют легкорастворимые соли, накапливаются в воде при испарении и легко поглощаются организмами (сера входит в состав белков). Результатом их аккумуляции являются залежи соли, гипса, мирабилита и солевые корки в пустынях.

Таблица 3. Современный баланс минерального вещества суши

| Статья баланса | Минеральное вещество, 10^{12} кг/год |
|--|--|
| Расход | |
| Твердый сток | 14,1 |
| Ионный сток | 1,6-1,7 |
| Денудация в областях развития современного покровного оледенения | 2,2-2,3 |
| Морская образия | 0,7-1,1 |
| Эоловый вынос | 2,0-4,0 |
| Сжигание минерального топлива | 2,6 |
| Всего | 23,2-25,7 |
| Приход | |
| Связывание воды и вещества атмосферы при выветривании | 1,1-1,6 |
| Вулканогенная аккумуляция | 1,8 |
| Биогенная аккумуляция | 1,0 |
| Аккумуляция вещества, поступающего из Космоса | $\leq 0,02$ |
| Всего | 2,9 |

Степень подвижности водных мигрантов не всегда объясняется их собственными свойствами (например, растворимостью в воде). Миграционную

способность элементов ослабляют поглощение их организмами в ходе биогенной аккумуляции и почвенными коллоидами, процессы адсорбции и осаждения. Усиливают миграционную способность процессы минерализации органических соединений, растворение и десорбция. В целом баланс минерального вещества континентов резко отрицательный (таблица 3). Он компенсируется в определенной мере общим поднятием континентов в связи с действием механизма изостатической компенсации уравнивания. Обращают на себя внимание большая доля эолового выноса вещества и сжигание минерального топлива в расходной статье баланса. Многие химические элементы земной коры при контактных реакциях выходят за ее пределы и участвуют в других круговоротах, совершая обмен между живым веществом, атмосферой, гидросферой и литосферой, а также внутри этих сфер. В таком случае понятие переноса минерального вещества по своему содержанию шире, чем геохимические круговороты, в связи с чем их часто выделяют в особую категорию и относят к *биогеохимическим круговоротам*.

Общие замечания о круговоротах. Круговороты в пространстве всегда трехмерны и их надо рассматривать по вертикали, горизонтали и во времени. Все описанные круговороты не вполне замкнуты, и конечная стадия круговорота вовсе не тождественна его начальной стадии. Разрыв между ними образует вектор направленного изменения — развитие. Растения, например, отдают почве больше веществ, чем получают от нее, так как их органическая масса создана в основном за счет углекислого газа атмосферы, а не за счет элементов, поступивших из почвы через корневую систему. Изверженную горную породу можно расплавить, но при этом не образуется исходная магма, так как материнская магма, кристаллизуясь и превращаясь в твердое тело, отдает многие летучие вещества в атмосферу и гидросферу.

Процессы фотосинтеза, идущие с помощью молекул хлорофилла, вливают в организм поток энергии солнечных лучей вместе с веществами неживой природы, создавая материальную и энергетическую базы всей жизни на Земле и отдавая в окружающее пространство часть свободного кислорода. Процессы дыхания, осуществляемые с помощью молекул гемоглобина, освобождают энергию, связанную фотосинтезом, и возвращают в неживую природу часть связанного кислорода, углерода и водорода. По современным расчетам, свободный кислород образуется со скоростью $1,55 \cdot 10^9$ т в год, а расходуется — $2,16 \cdot 10^{10}$ т, т.е. расход больше чем на порядок превышает приход. При этом учитывается только фотосинтетический кислород, а глубинный кислород, «извергаемый» из недр при процессах дегазации, из расчетов исключен. Его количества должны быть весьма значительными, так как изотопный анализ кислорода воздуха показал, что большая его часть состоит из глубинного кислорода.

Круговороты охватывают все геосферы. Движение вещества в одной из систем географической оболочки носит подчас характер своеобразного «разделения труда». Так, кислородом дышат все аэробные организмы, а возвращением его в атмосферу занимаются только зеленые растения. В биогеоценозе продуценты (зеленые растения и ряд бактерий) создают органическое вещество из

минерального, *консументы* питаются готовыми органическими веществами, а *редуценты* (главным образом бактерии и грибы) разрушают живое или мертвое органическое вещество и переводят его в минеральное.

По степени сложности круговороты весьма различны: одни из них сводятся преимущественно к механическим движениям (циркуляция атмосферы, морские течения), другие сопровождаются сменой агрегатного состояния вещества (круговорот воды), в третьих происходит его химическая трансформация (биологический круговорот).

Вещество, вступившее в круговорот, нередко испытывает перестройку в промежуточных звеньях, изменяя свое физическое или химическое состояние. Свободный кислород, поглощенный из воздуха растением при дыхании, связывается внутри него, и перестает быть свободным. В атмосферу растение выделяет свободный кислород иного происхождения, полученный в процессе фотосинтеза путем расщепления молекулы воды. Представление о преобразованиях вещества и энергии в промежуточных звеньях круговорота органически входит в понятие круговорота. Поэтому разделять представление о круговороте от представления о взаимообмене вещества и энергии не совсем правильно.

При анализе круговоротов веществ следует помнить об их естественной изменчивости, связанной с разным состоянием геосфер и ритмичностью (циклическостью) природных процессов и явлений. Порядки и ритмика различных сред и процессов могут быть синхронными и асинхронными, что обуславливает наложение (интерференцию) или ослабление (релаксацию) эффектов.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные источники энергии географических процессов?
2. Какое влияние оказывают на географические процессы экзогенные источники энергии?
3. Какое влияние оказывают на биосферу эндогенные источники энергии?
4. Почему недра Земли называют «геохимическим аккумулятором»?
5. Как осуществляются межструктурные круговороты вещества и энергии?
6. В чем заключается трехмерность географических круговоротов?
7. В чем особенности геохимического круговорота?
8. В чем особенность биологического круговорота?
9. Почему круговороты не замкнуты?

Литература

1. Короновский Н.В. Геология: учебник для экологических специальностей вузов/Н.В.Короновский, Н.А.Ясаманов. - М.: Издательский центр «Академия», 2006.-445 с.
2. Ясаманов Н.А. Основы геоэкологии: учебное пособие для эколог. Специальностей вузов/ Н.А. Ясаманов. - М.: Издательский центр

- «Академия», 2003.- 352 с.
3. Селиверстов Ю.П. Земледелие: учебное пособие для студ. Вузов/Ю.П.Селиверстов, А.А. Бабков. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.
 4. Горелов А.А. Концепции современного естествознания : учеб. пособие / А. А. Горелов. - М. : Высш. образование, 2006. 334с.
 5. Хавкина Т.К. Антропогенные изменения окружающей среды и здоровье человека. Саратов. Изд-во «Научная книга», 2008. ООО «Метро-Принт» 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Часть 1. Планета Земля

- 1.1. Геология, ее предметы и задачи
- 1.2. Формы и размеры Земли
- 1.3. Внешние и внутренние оболочки Земли

Часть 2. Экзогенные процессы. Выветривание.

- 2.1. Физическое выветривание
- 2.2. Химическое выветривание
- 2.3. Биохимическое выветривание
- 2.4. Коры и профили выветривания
- 2.5. Почвы и почвообразование
- 2.6. Экологическое значение процессов выветривания
- 2.7. Гравитационные процессы
- 2.8. Экологические особенности гравитационных процессов

Часть 3. Эндогенные процессы

- 3.1. Источники энергии в биосфере
- 3.2. Круговорот вещества и энергии динамического процесса

Литература

Заключение