

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
«Шуйский государственный педагогический университет»  
*Кафедра географии и методики обучения*

**Шептуховский М.В.**

# **Геология**

**Учебное пособие**

**Шуя 2012**

**УДК 551** Печатается по решению редакционно-издательского совета  
**ББК 26.3** ФГБОУ ВПО «Шуйский государственный педагогический университет»  
**Ш 48**

Шептуховский М. В.

**Геология:** учебное пособие / М. В. Шептуховский. – Шуя: Изд-во ФГБОУ ВПО «ШГПУ», 2012. – 57 с.

**Рецензенты:**

**Кочуров Б.И.** – ведущий научный сотрудник Института географии РАН, доктор географических наук, профессор.

**Журкина А.Я.** – ведущий научный сотрудник ФГОУ Института содержания и методов обучения РАО, доктор педагогических наук, профессор.

**Ситнова Е.В.** – доктор педагогических наук, профессор кафедры общей физики и методики преподавания ФГБОУ ВПО «ИвГУ».

Учебное пособие содержит конспекты лекций по курсу «Геология». В нем излагаются краткие материалы по составу и строению земной коры, характеризуются основные геологические процессы, протекающие в верхней части литосферы. Содержание лекций ориентировано на рассмотрение экологических процессов, протекающих в земной коре, что закладывает научно-теоретические основы в процесс подготовки будущих инженеров-экологов.

Учебное пособие написано для студентов, обучающихся по направлению подготовки 020800.62 – Экология и природопользование.

© Шептуховский М.В., 2012

© ФГБОУ ВПО «ШГПУ»

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	
Лекция 1. Геология – фундаментальная наука о Земле	
Лекция 2. Планета Земля в космическом пространстве	
Лекция 3. Внутреннее строение Земли	
Лекция 4. Минералы	
Лекция 5. Горные породы	
Лекция 6. Магматизм	
Лекция 7. Метаморфизм	
Лекция 8. Главные структурные элементы земной коры и тектоника литосферных плит	
Лекция 9. Выветривание. Экзогенные процессы на суше.	
Лекция 10. Понятие о гравитационных процессах. Геологическая деятельность ветра.	
Лекция 11. Геологическая деятельность временных и постоянных поверхностных водотоков. Образование озер и болот.	
Лекция 12. Историческая геология	
Литература	

## ВВЕДЕНИЕ

Учебный курс «Геология» изучается студентами, обучающимися по направлению подготовки 020800.62 – Экология и природопользование. По своему содержанию и структуре этот курс является очень трудным в силу специфики геологической науки и ее значения для будущих инженеров-экологов. Практика чтения лекций у студентов данного направления подготовки показала, что студенты лучше воспринимают учебный материал, если у него есть краткое сопровождение лекционного курса.

В практике преподавания курса «Геология» автором был использован методический прием предварительного сопровождения каждой лекции ее конспектом. При этом студенты могли накануне ознакомиться с кратким содержанием каждой лекции, а во время слушания лектора делать лишь краткие пометки, не отвлекаясь на записи. Учебное пособие «Геология (конспекты лекций)» написано с целью предварительного ознакомления студентов с кратким содержанием учебного курса по геологии и последующего обобщения его содержания.

Пособие включает конспекты 12 лекций. После темы курсивом указаны рассматриваемые основные вопросы. Рекомендуемая литература приводится в конце пособия.

### Лекция 1. Геология – фундаментальная наука о Земле.

*Предмет и задачи геологии. Геология и человек. Значение геологии для подготовки бакалавров экологии и природопользования. Разделы геологии.*

Вопросы для предварительного обсуждения:

1. Как Вы представляете себе науку геологию? Что Вам придется изучать? Напишите несколько геологических понятий, которые, на Ваш взгляд, наиболее полно будут характеризовать ту науку, которую Вам придется изучать.

2. Геология – «*geo γῆ*» - земля и «*логос λόγος*» - слово, знание, наука, учение. Геология – наука о Земле (изучает Землю).

География – «*geo*» - земля и «*γραφος*» - письмо. География – наука о Земле (описывает Землю).

Эти термины объясняются очень похоже. Чем геология отличается от географии?

3. Кратко охарактеризуйте следующие понятия, известные Вам со школы:

4. Как Вы думаете, зачем будущим экологам изучать геологию?

5. Где требуется работа геолога?

Строительство зданий, мостов, дорог, гидроузлов и прочих сооружений (что произойдет, если в их создании не будут участвовать геологи?).

Разведка и добыча полезных ископаемых: может ли этот процесс происходить без участия геологов? Почему?.

Проектирование территорий для различных нужд (создание парковых зон, выделение сельско-хозяйственных угодий и т.п.): может ли этот процесс происходить без участия геологов? Почему?

Решение проблемы подземного захоронения ядерных отходов.

Проблема военной геологии с наведенными (антропогенными) катастрофами направленного действия (в местах дислокации армии противника).

Сохранение жизни человека и его среды обитания от грозных явлений природы (вулканические извержения, землетрясения, сели, наводнения, оползни и т.п.). Нужна ли в этой сфере деятельность геологов?

Исследования того, что есть вокруг нас, в том числе и в Космосе – далеко и близко, и какие процессы происходят. Могут ли эти исследования проходить без участия геологов? Почему?.

6. Из чего делают: цемент, охру (краска от бежевых до коричневых тонов), оконное стекло, поваренную соль, инструмент для резки камня?

7. Зачем это все требуется знать экологу?

8. Геология – фундаментальная наука о Земле. Что означает слово «фундаментальная»?

Геология – комплекс наук о составе, строении, истории развития земной коры и размещённых в ней полезных ископаемых. В настоящее время под геологией понимают историю Земли в обширном смысле этого слова, т. е. не только жизнь минеральную нашей планеты и те физические и химические изменения, которые в ней произошли, но и естественную историю всего организованного мира, населяющего земную поверхность.

Геология не только в область естественных наук, но и в обширную область человеческих знаний внесла новый элемент — время, который дает возможность обнять более широким духовным взором экономию природы и показать, как длинен и последователен был путь, которым выработалась окружающая нас природа.

Ниже перечислены разделы геологии.

Геология полезных ископаемых изучает типы месторождений, методы их поисков и разведки.

Гидросфера - раздел геологии, изучающий жидкую оболочку планеты.

Геохимия - раздел геологии, изучающий химический состав Земли, процессы, концентрирующие и рассеивающие химические элементы в различных сферах Земли.

Геофизика - раздел геологии, изучающий физические свойства Земли, включающая также комплекс разведочных методов: гравиразведка, сейсморазведка, магниторазведка, электроразведка различных модификаций и пр.

Изучением Солнечной системы занимаются следующие разделы геологии: космохимия, космология, космическая геология и планетология.

Минералогия - раздел геологии, изучающий минералы, вопросы их генезиса, квалификации. Изучением пород, образованных в процессах, связанных с атмосферой, биосферой и гидросферой Земли, занимается литология. Эти породы не совсем точно называются ещё осадочными горными породами<sup>1</sup>. Многолетнемёрзлые горные породы приобретают ряд характерных свойств и особенностей, изучением которых занимается геокриология.

Литология - раздел геологии, изучающий породы, образованные в процессе, связанных с атмосферой, биосферой и гидросферой Земли.

Петрология - раздел геологии, изучающий происхождение горных пород.

Петрография - раздел геологии, изучающий происхождение горных пород, образованных при высоких температурах и давлениях.

Геобаротермометрия — наука, изучающая комплекс методов определения давления и температур образования минералов и горных пород.

Земля — «живая», активно меняющаяся планета. В ней происходят движения, различающиеся по масштабу на многие порядки. .

---

<sup>1</sup> Определение не совсем точное и строгое. Так, например, в «осадочные горные породы» не входит большая группа горных пород, образованная действием на сульфидные горные породы (называемые «рудами») специфической формы выветривания — окисление, и слагающих так называемые зоны окисления. С другой стороны петрография осадочных пород занимается изучением железистых кварцитов (джеспилитов), образованных в процессе высоко температурного метаморфизма, или различных туфов, являющихся прерогативой специального раздела геологии Вулканологии. Наконец, петрография осадочных пород изучает так называемые «аллиты» (бокситы), являющиеся продуктами метасоматоза, протекающего при низких Р-Т-параметрах. Кроме того оно не соответствует понятию «определение», существующему в теории познания (гносеологии).

Структурная геология - раздел геологии, изучающий нарушения земной коры.

Микроструктурная геология - раздел геологии, изучающий деформацию пород на микроуровне, в масштабе зёрен минералов и агрегатов.

Геодинамика - наука, изучающая процессы самого планетарного масштаба в результате эволюции Земли. Она изучает связь процессов в ядре, мантии и земной коре.

Тектоника - раздел геологии, изучающий движение Земной коры.

Историческая геология - отрасль геологии, изучающая данные о последовательности важнейших событий в истории Земли. Все геологические науки в той или иной степени имеют исторический характер, рассматривают существующие образования в историческом аспекте и занимаются в первую очередь выяснением истории формирования современных структур. История Земли делится на два крупнейших этапа — эона, по появлению организмов с твёрдыми частями, оставляющих следы в осадочных породах и позволяющих по данным палеонтологии провести определение относительного геологического возраста. С появлением ископаемых на Земле начался фанерозой — время открытой жизни, а до этого был криптозой или докембрий — время скрытой жизни. Геология докембрия выделяется в особую дисциплину, так как занимается изучением специфических, часто сильно и многократно метаморфизованных комплексов и имеет особые методы и следования.

Палеонтология изучает древние формы жизни и занимается описанием ископаемых остатков, а также следов жизнедеятельности организмов.

Стратиграфия — наука об определении относительного геологического возраста осадочных горных пород, расчленении толщ пород и корреляции различных геологических образований. Одним из основных источников данных для стратиграфии является палеонтологические определения.

Геохронология - раздел геологии, определяющий возраст пород и минералов.

Основные принципы геологии

Геология — наука историческая, и важнейшей её задачей является определение последовательности геологических событий. Для выполнения этой задачи с давних времён разработан ряд простых и интуитивно очевидных признаков временных соотношений пород.

Интрузивные взаимоотношения представлены контактами интрузивных пород и вмещающих их толщ. Обнаружение признаков таких взаимоотношений (зоны закалки, даек и т. п.) однозначно указывает на то, что интрузия образовалась позже, чем вмещающие породы.

Секущие взаимоотношения также позволяют определить относительный возраст. Если разлом рвёт горные породы, значит он образовался позже, чем они.

*Ксенолиты*<sup>2</sup> и обломки попадают в породы в результате разрушения своего источника, соответственно они образовались раньше вмещающих их пород, и могут быть использованы для определения относительного возраста.

---

<sup>2</sup> **Ксенолит** (др.-греч. ξένος — чужой и λίθος — камень), обломок горной породы, захваченный магмой. Если включающая ксенолит магматическая горная порода застыла на глубине (интрузивная), то ксенолиты обычно представляют собой сильно изменённые обломки вмещающих интрузию пород. Ксенолиты, встречающиеся в лаве, обычно являются обломками стенок вулканического канала (пород, через которые проходила лава). Размеры ксенолитов сильно колеблются: от отдельных кристаллов и их обломков, различаемых только под микроскопом (ксенокристаллы), до нескольких десятков и сотен метров. Ксенолиты являются важным источником информации о строении недр Земли, так как могут быть доставлены магматическими расплавами с глубин, недоступных для непосредственного изучения. Щелочные базальты содержат ксенолиты мантийных пород, поднятые с глубин 60—80 км, а в кимберлитах встречаются ксенолиты, принесённые с глубин 100—200 км. Ксенолиты из кимберлитов представляют собой наиболее глубинные горные породы, изученные человеком.



Принцип **актуализма** постулирует, что геологические силы, действующие в наше время, аналогично работали и в прежние времена. Джеймс Хаттон сформулировал принцип актуализма фразой «Настоящее — ключ к прошлому».

Утверждение не совсем точное. Понятие «сила» — понятие не геологическое, а физическое, к геологии имеющее опосредованное отношение. Правильнее говорить о геологических процессах. Выявление сил, сопровождающих эти процессы, могло бы стать главной задачей геологии, чего, к сожалению, нет.

«Принцип актуализма» (или метод актуализма) являются синонимом метода «**анalogии**». Но метод аналогии не является методом доказательства, он является методом формулирования гипотез и, следовательно, все закономерности, полученные методом актуализма, должны были бы пройти процедуру доказательства их объективности.

В настоящее время принцип актуализма стал тормозом в развитии представлений о геологических процессах.

Принцип первичной горизонтальности утверждает, что морские осадки при образовании залегают горизонтально.

Принцип суперпозиции заключается в том, что породы находящиеся в не нарушенном складчатостью и разломами залегании, следуют в порядке их образования, породы залегающие выше моложе, а те которые находятся ниже по разрезу — древнее.

Принцип финальной сукцессии постулирует, что в одно и то же время в океане распространены одни и те же организмы. Из этого следует, что палеонтолог, определив набор ископаемых остатков в породе, может найти одновременно образовавшиеся породы.

## **Лекция 2. Планета Земля в космическом пространстве**

*Образование Вселенной. Солнечная система, ее строение и происхождение. Форма и размеры Земли, ее орбитальное движение и осевое вращение. Строение Земли. Внешние и внутренние оболочки Земли. Строение земной коры, мантии, ядра. Состав и состояние вещества земной мантии и ядра.*

Геологическая история Земли начинается примерно 20 миллиардов лет назад с момента Большого взрыва и образования Вселенной.

Вселенная (Космос, Природа) – это весь материальный, энергетический и информационный мир.

Теория расширяющейся Вселенной, или Большого Взрыва, впервые была создана в России в 1922 г. А. А. Фридманом

Исходно Вселенная представляла собой сингулярность (это не вещество и не энергия).

Сингулярность в физике — точка пространства, содержащая бесконечное (либо очень большое) количество энергии или материи (например, космологическая сингулярность — состояние Вселенной в начальный момент Большого взрыва, характеризующееся бесконечной плотностью и температурой вещества). Время отсутствовало.

После Взрыва температура и плотность начали уменьшаться.

Модель «горячей» Вселенной:

Через 0,01 секунду после взрыва, по-видимому, должны были существовать фотоны, электроны, позитроны и некоторые другие частицы. При этом могли осуществляться обратимые реакции (аннигиляция):

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$$
 (электрон + позитрон  $\rightarrow$  2 кванта энергии - фотоны). Эта смесь существовала 8 секунд после взрыва (равновесное состояние).

Затем это равновесие (симметрия) нарушились и возникли нуклоны: протоны и нейтроны.

Через 3 минуты из нуклонов образовалась смесь ядер легких химических элементов (2/3 водорода и 1/3 гелия).

Впоследствии из этого дозвездного вещества образовались остальные химические элементы (в результате ядерных реакций).

Эта Модель «горячей» Вселенной была создана Г.Гамовым

Найдены свидетельства Большого Взрыва:

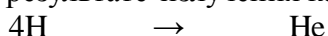
Разбегание галактик: Все галактики и звезды удаляются от нас, а самые далекие из них движутся с большей скоростью. (Эдвин Хаббл, 1929). Открытие сделано на основе эффекта Доплера. Реликтовое излучение. (Американские астрономы Арно Пензиас и Роберт Вилсон, 1964). Что же такое реликтовое излучение? Согласно теории большого Взрыва Вселенная возникла приблизительно 14 млрд. лет назад в результате грандиозного взрыва, создавшего пространство и время, всю материю и энергию, которые нас окружают. Новорожденная Вселенная прошла стадию чрезвычайно быстрого расширения, названного инфляцией, которая радикально изменила пейзаж младенческого космоса. До возраста приблизительно 300 тыс. лет Вселенная была кипящим котлом из электронов, протонов, нейтрино и излучения, которые взаимодействовали между собой и составляли единую среду, равномерно заполняющую всю раннюю Вселенную. Общее расширение Вселенной постепенно охлаждало эту среду, и, когда температура упала до значения нескольких тысяч градусов, наступило время для формирования стабильных атомов. Так же в результате расширения первоначальное излучение стало куда менее интенсивным, но не пропало совсем. Именно его и обнаружили будущие нобелевские лауреаты.

Реликтовое излучение равномерно заполняет всю Вселенную, и, если мы могли бы видеть микроволны, все небо пылало бы с поразительно одинаковой яркостью во всех направлениях. Эта однородность является одной из главных причин, по которой это излучение считают теплом, оставшимся от Большого Взрыва. Но как может локальный источник создать подобную однородность? Оказывается, этому способствует сам процесс расширения пространства. Чтобы наглядно понять, как это происходит, представьте себе такую большую и очевидную неоднородность, как гора Джомолунгма. Теперь начните мысленно растягивать эту гору в ширину, оставляя высоту неизменной. Если как следует постараться и растянуть ее в ширину, скажем, на миллион километров, то получится почти идеально плоская поверхность - перепад высот в 8 км (высота горы) будет практически незаметен на таком колоссальном масштабе. Именно это и происходит при расширении пространства после большого Взрыва - все неоднородности сглаживаются. Но возникшие после инфляции крошечные изменения в плотности материи в ранней Вселенной должны были оставить отпечаток на реликтовом излучении в форме температурных колебаний от точки к точке.

Далее сформировались огромные газовые облака, которые через 1 миллиард лет своего существования начали под воздействием гравитации сжиматься.

Так формировались звезды и их гигантские скопления – галактики.

Любая звезда возникает в результате коллапса космического облака газа и пыли. Когда сжатие в центре структуры приведет к очень высоким температурам, в центре «сгустка» начинаются ядерные реакции, т. е. происходит превращение  $H_2$  в He с выделением огромной энергии, в результате излучения которой звезда начинает светиться:





4,03252

4,00389

Четыре протона в атомных единицах весят - 4,03252. Но хорошо известно, что ядро атома гелия в тех же единицах весит 4,00389. Дефект массы равен 0,02863. Это вещество превращается в колоссальное количество энергии.

В таком случае ежесекундная потеря Солнцем 4 600 000 г. массы

Поскольку потеря массы в ходе превращения водорода в гелий составляет 0,73% всей массы сливающегося водорода, ежесекундная потеря 4 600 000 т массы означает, что каждую секунду 630 000 000 т водорода превращаются в гелий.

Эта модель лишь иллюстрирует процесс всеобщего расширения нашего трехмерного пространства. Две любые точки раздувающейся сферы убегают друг от друга, причем чем более они удалены, тем выше скорость разлетания.

### Лекция 3. Внутреннее строение Земли

*Внутреннее строение Земли и методы его изучения. Строение Земной коры.*

До сих пор мы рассматривали и изучали минералы и горные породы и процессы, влияющие на их образование и преобразование. Они доступны для изучения лишь в верхней части Земли. А что же представляет собой Земля в целом, каково ее строение и состав? Все эти и другие вопросы рассмотрим в этой лекции.

Итак - Земля является планетой Солнечной системы. По форме это *эллипсоид*, у которого экваториальный радиус = 6378,2 км; а полярный радиус = 6356,86 км. Средний радиус ~6371 км. Площадь поверхности Земли составляет ~510 млн. км<sup>2</sup>, из них 70,8% занимает Мировой океан.

*Внутреннее строение Земли*

Чтобы понять каким образом геологи создали модель строения Земли, надо знать основные свойства и их параметры, характеризующие все части Земли. К таким свойствам (или характеристикам) относятся:

1. Физические - плотность, упругие магнитные свойства, давление и температура.
2. Химические - химический состав и химические соединения, распределение химических элементов в Земле.

Исходя из этого, определяется выбор методов исследования состава и строения Земли. Кратко рассмотрим их.

Прежде всего, отметим, что все методы разделяются на:

прямые - опираются на непосредственное изучение минералов и горных пород и их размещении в толщах Земли;

косвенные - основаны на изучении физических и химических параметров минералов, пород и толщ с помощью приборов.

Прямыми методами мы можем изучить лишь верхнюю часть Земли, т.к. самая глубокая скважина (Кольская) достигла ~12 км. О более глубоких частях можно судить по вулканическим извержениям.

Глубинное внутреннее строение Земли изучается косвенными методами, в основном комплексом геофизических методов. Рассмотрим основные из них.

1. Сейсмический метод (греч. сеймос - трясение) - опирается на явление возникновения и распространения упругих колебаний (или сейсмических волн) в различных средах. Упругие колебания возникают в Земле при землетрясениях, падениях метеоритов или взрывах и начинают распространяться с разной скоростью от очага их возникновения (очага землетрясения) до поверхности Земли. Выделяют два типа сейсмических волн:

1-продольные Р-волны (самые быстрые), проходят через все среды - твердые и жидкие;

2-поперечные S-волны, более медленные и проходят только через твердые среды.

Сейсмические волны при землетрясениях возникают на глубинах от 10 км до 700 км. Скорость сейсмических волн зависит от упругих свойств и плотности горных пород, которые они пересекают. Достигая поверхности Земли, они как бы просвечивают ее и дают представление о той среде, которую пересекли. Изменение скоростей дает представление о неоднородности и расслоенности Земли. Кроме изменения скоростей, сейсмические волны испытывают преломление, проходя через неоднородные слои или отражение от поверхности, разделяющей слои.

2. Гравиметрический метод основан на изучении ускорения силы тяжести  $\Delta g$ , которое зависит не только от географической широты, но и от плотности вещества Земли. На основании изучения этого параметра установлена неоднородность в распределении плотности в разных частях Земли.

3. Магнитометрический метод - основан на изучении магнитных свойств вещества Земли. Многочисленные измерения показали, что различные горные породы отличаются друг от друга по магнитным свойствам. Это приводит к образованию участков с неоднородными магнитными свойствами, которые позволяют судить о строении Земли.

Сопоставляя все характеристики, ученые создали модель строения Земли, в которой выделяют три главные области (или геосферы):

1-Земная кора, 2-Мантия Земли, 3-Ядро Земли.

Каждая из них в свою очередь разделяется на зоны или слои. Рассмотрим их и основные параметры суммируем в таблице.

1. Земная кора (слой А)- это верхняя оболочка Земли, ее мощность колеблется от 6-7 км до 75 км.

3. Ядро - подразделяется на внешнее (слой Е) и внутреннее (слой G), между которыми располагается переходная зона - слой F.

Границей между земной корой и мантией является раздел Мохоровичича, между мантией и ядром также резкая граница- раздел Гуттенберга.

Из таблицы видно, что скорость продольных и поперечных волн возрастает от поверхности к более глубоким сферам Земли.

Особенностью верхней мантии является наличие зоны, в которой резко падает скорость поперечных волн до 0.2-0.3 км/сек. Это объясняется тем, что наряду с твердым состоянием, мантия частично представлена расплавом. Этот слой пониженных скоростей называют астеносферой. Его мощность 200-300 км, глубина 100-200 км.

На границе мантии и ядра происходит резкое снижение скорости продольных волн и затухание скорости поперечных волн. На основании этого сделано предположение, что внешнее ядро находится в состоянии расплава.

Средние значения плотности по геосферам показывают ее возрастание к ядру.

О химическом составе Земли и ее геосфер дают представление:

1- химический состав земной коры,

2 - химический состав метеоритов.

Химический состав земной коры изучен достаточно детально - известен ее валовый химический состав и роль химических элементов в минерало- и породообразовании. Труднее обстоит дело с изучением химического состава мантии и ядра. Прямыми методами мы этого пока сделать не можем. Поэтому применяют сравнительный подход. Исходным положением является предположение о протопланетном сходстве между составом метеоритов, упавших на землю, и внутренних геосфер Земли.

Все метеориты, попавшие на Землю, по составу делятся на типы:

1-железные, состоят из Ni и 90% Fe;

2-железокаменные (сидеролиты) состоят из Fe и силикатов,

3-каменные, состоящие из Fe-Mg силикатов и включений никелистого железа.

На основании анализа метеоритов, экспериментальных исследований и теоретических расчетов ученые предполагают (по таблице), что химический состав ядра - это никелистое железо. Правда, в последние годы высказывается точка зрения, что кроме Fe-Ni в

ядре могут быть примеси S, Si или O. Для мантии химический спектр определяется Fe-Mg силикатами, т.е. своеобразный оливино-пироксеновый пиролит слагает нижнюю мантию, а верхнюю - породы ультраосновного состава.

Химический состав земной коры включает максимальный спектр химических элементов, который выявляется в многообразии минеральных видов, известных к настоящему времени. Количественное соотношение между химическими элементами достаточно велико. Сравнение наиболее распространенных элементов в земной коре и мантии показывает, что ведущую роль играют Si, Al и O<sub>2</sub>.

Таким образом, рассмотрев основные физические и химические характеристики Земли, мы видим, что их значения неодинаковы, распределяются зонально. Тем самым, давая представление о неоднородном строении Земли.

### ***Строение Земной коры***

Рассмотренные нами ранее типы горных пород - магматические, осадочные и метаморфические участвуют в строении земной коры. По своим физико-химическим параметрам все породы земной коры группируются в три крупных слоя. Снизу вверх это: 1- базальтовый, 2-гранито-гнейсовый, 3-осадочный. Эти слои в земной коре размещены неравномерно. Прежде всего, это выражается в колебаниях мощности каждого слоя. Кроме того, не во всех частях наблюдается полный набор слоев. Поэтому более детальное изучение позволило по составу, строению и мощности выделить четыре типа земной коры: 1- континентальный, 2-океанский, 3-субконтинентальный, 4-субокеанский.

1. Континентальный тип - имеет мощность 35-40 км до 55-75 км в горных сооружениях, содержит в своем составе все три слоя. Базальтовый слой состоит из пород типа габбро и метаморфических пород амфиболитовой и гранулитовой фаций. Называется он так потому, что по физическим параметрам он близок базальтам. Гранитный слой по составу - это гнейсы и гранито-гнейсы.

2. Океанский тип - резко отличается от континентального мощностью (5-20 км, средняя 6-7 км) и отсутствием гранито-гнейсового слоя. В его строении участвуют два слоя: первый слой осадочный, маломощный (до 1 км), второй слой - базальтовый. Некоторые ученые выделяют третий слой, который является продолжением второго, т.е. имеет базальтовый состав, но сложен ультраосновными породами мантии, подвергшихся серпентинизации.

3. Субконтинентальный тип - включает все три слоя и этим близок к континентальному. Но отличается меньшей мощностью и составом гранитного слоя (меньше гнейсов и больше вулканических пород кислого состава). Этот тип встречается на границе континентов и океанов с интенсивным проявлением вулканизма.

4. Субокеанский тип - располагается в глубоких прогибах земной коры (внутриконтинентальные моря типа Черного и Средиземного). От океанского типа отличается большей мощностью осадочного слоя до 20-25 км.

### ***Проблема формирования земной коры.***

По Виноградову- процесс формирования земной коры происходил по принципу зонной плавки. Суть процесса: вещество Протоземли, близкое к метеоритному, в результате радиоактивного прогрева расплавлялось и более легкая силикатная часть поднималась к поверхности, а Fe-Ni концентрировалась в ядре. Таким образом, происходило формирование геосфер.

Следует отметить, что земная кора и твердая часть верхней мантии объединяются в литосферу, ниже которой располагается астеносфера.

Тектоносфера - это литосфера и часть верхней мантии до глубин 700км (т.е. до глубины самых глубоких очагов землетрясений). Названа так потому, что здесь происходят основные тектонические процессы, определяющие перестройку этой геосферы.

## **Лекция 4. Минералы**

*Химический состав земной коры. Понятие о минералах. Физические свойства минералов. Типы происхождения минералов. Классификация минералов.*

*Минералом* называют природное химическое соединение (или химический элемент), возникающее в результате определенных физико-химических процессов, протекающих в земной коре или на ее поверхности.

Минералы бывают:

Большинство минералов - твердые тела. Но (по мнению ряда геологов) минералы могут быть жидкими (вода, ртуть) и газообразными (углекислый газ, метан).

По своему внутреннему строению минералы подразделяют на *кристаллические* и *аморфные*.

Аморфные минералы

Для *аморфных* минералов характерно беспорядочное расположение слагающих их частиц (молекул или атомов). Аморфными являются все жидкие, газообразные и некоторые твердые минералы (опал, янтарь, обсидиан).

Кристаллические минералы

В *кристаллических* минералах атомы, ионы или молекулы располагаются в строго определенном порядке, образуя пространственную кристаллическую решетку. Это проявляется в их внешней правильной форме.

Кристаллическим веществам свойственны явления изоморфизма и полиморфизма

*Изоморфизм* (равноформенность) - свойство элементов заменять друг друга в химических соединениях родственного состава.

Минерал *вольфрамит*:

(Fe, Mn) [WO<sub>4</sub>]. Это изоморфная смесь, где атомы марганца замещают в структуре атомы железа.

*Полиморфизм* (многоформенность) - способность веществ одинакового состава образовывать минералы с разными структурами. Ярким примером полиморфизма являются алмаз, графит и шунгит.

***Физические свойства минералов***

А. Твердость - способность минерала противостоять внешнему механическому воздействию (царапанию, вдавливанию, шлифованию и т. д.).

Для определения *относительной твердости* минерала широко применяют *шкалу Мооса*, составленную австрийским минералогом Ф. Моосом в 1811 г. Твердость устанавливается путем сравнения исследуемого минерала с эталонным, твердость которого известна.

Шкала твердости Мооса:

Тальк Mg<sub>3</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>] (OH).

Гипс CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O

Кальцит CaCO<sub>3</sub>

Флюорит CaF<sub>2</sub>

Апатит Ca<sub>5</sub> [PO<sub>4</sub>]<sub>3</sub> (F, Cl, OH)

Ортоклаз (полевой шпат) K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

Кварц SiO<sub>2</sub>

Топаз Al<sub>2</sub> [SiO<sub>4</sub>] (F, OH)<sub>2</sub>

Корунд Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>

Алмаз C

В *полевых условиях* при отсутствии шкалы твердости используют широко распространенные предметы с известной твердостью.

Если минерал оставляет черту на бумаге, то его твердость - 1.

Ноготь имеет твердость приблизительно 2,5,

Железный гвоздь — 4-4,5,

Оконное стекло - 5,

Лезвие бритвы, стального ножа - 5-6,

Напильник - 7.

Б. Плотность - это масса единичного объема вещества. В минералогии обычно измеряется в г/см<sup>3</sup>.

По плотности минералы распределяют на три группы:

легкие - с плотностью до 2,5 (графит, сера);

средние - от 2,5 до 4 (кварц, полевые шпаты);

тяжелые - больше 4.

К последней группе относятся руды многих металлов: железа - гематит (плотность 5,2), свинца - галенит (7,5), ртути - киноварь (8). Большая плотность является важным диагностическим признаком самородных металлов: медь - 8,5-9, серебро - 10-11, золото - 15,6-19, платина - 14-21,5.

В. Цвет (окраска) - зависит от сложного сочетания различных факторов: основного химического состава, строения, наличия различных примесей, условий образования.

Если основная окраска минерала обычно определяется его основным химическим составом, то другие цвета и цветовые оттенки обусловлены различными примесями.

У большинства минералов *цвет непостоянный*.

Окраска некоторых минералов может меняться *в зависимости от освещения*.

Г. Цвет черты

Для определения некоторых минералов часто используют цвет черты - способность давать окрашенную черту на белой фарфоровой пластинке с шероховатой, не покрытой эмалью поверхностью. Цвет черты - это цвет минерала в тонком порошке.

Д. Блеск - интенсивность света, отраженного от поверхности минерала.

По характеру блеска минералы делятся на две группы: с металлическим блеском и нематаллическим блеском.

Е. Спайность

Спайность - способность минералов раскалываться по определенным направлениям с образованием ровных, гладких поверхностей. Спайность зависит от особенностей кристаллической решетки минерала.

Ж. Излом. Для некоторых минералов важным диагностическим признаком является излом - неровная поверхность, появляющаяся при раскалывании минерала не по плоскости спайности.

З. Прозрачность - способность минералов пропускать свет. По степени прозрачности различают: *прозрачные* минералы (топаз); *полупрозрачные*, через которые видны только расплывчатые очертания предметов (изумруд, халцедон); *просвечивающие* в тонких пластинках (полевые шпаты); *непрозрачные*, не пропускающие свет даже в тонких пластинках (пирит, магнетит).

Кристалл аквамарина (голубоватый берилл)

$Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$

Киноварь (HgS)

### **Типы происхождения минералов**

По происхождению (генезису) различают следующие типы минералообразования.

*Магматический* - минералы образуются из магмы при ее медленном остывании и кристаллизации на большой глубине или при излиянии и быстром застывании на поверхности.

*Пегматитовый* - минералообразование происходит в верхних частях магматических очагов, в условиях высокого давления и богатства магмы летучими компонентами (перегретыми водяными парами, газами).

Вопрос 4. Типы происхождения минералов

*Пневматолитовый* - минералы образуются из летучих соединений, выделившихся из магмы.

*Гидротермальный* - минералы образуются из горячих водных растворов при их охлаждении.

*Осадочный* - минералы образуются вблизи или на поверхности Земли при выветривании, накоплении и преобразовании осадков.

*Метаморфический* - в недрах под влиянием большого давления, высоких температур, химически активных растворов и газов происходит глубокое изменение вещества.

### **Классификация минералов**

#### **1. Самородные элементы**

Эти минералы состоят из одного химического элемента: золото, платина, серебро, медь, графит, алмаз, шунгит, сера и др.

Распространены в земной коре редко (занимают 0,1% по массе).

#### **2. Сульфиды**

Это соединения различных элементов с серой: пирит  $\text{FeS}_2$ , халькопирит  $\text{FeCuS}_2$ , галенит  $\text{PbS}$ , сфалерит  $\text{ZnS}$ , молибденит  $\text{MoS}$ , киноварь  $\text{HgS}$  и др. Распространены нешироко и в земной коре не играют ведущую роль.

#### **3. Галоидные соединения**

Минералы этого класса состоят из солей галоидно-водородных кислот ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ). К ним относятся галит (поваренная соль)  $\text{NaCl}$ , сильвин  $\text{KCl}$ , карналлит  $\text{MgCl}_2\text{KCl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  флюорит  $\text{CaF}_2$  и др.

#### **4. Оксиды и гидроксиды**

Эти минералы представляют собой соединение различных элементов с кислородом, гидроксильной группой и водой.

Эта группа минералов делится на две подгруппы:

Оксиды и гидроксиды кремния.

Оксиды и гидроксиды металлов.

#### **4. Оксиды и гидроксиды**

Оксиды и гидроксиды кремния представлены кремнеземом, или халцедоном, и кварцем  $\text{SiO}_2$ .

Эти минералы имеют очень много разновидностей. Они являются одними из самых распространенных минералов в земной коре (12% по массе).

Кремнезем входит практически во все типы горных пород.

#### **4. Оксиды и гидроксиды**

Оксиды и гидроксиды металлов. Это важнейшие рудные минералы: магнетит (магнитный железняк)  $\text{Fe}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_4$ , гематит (красный железняк)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , уранинит  $\text{UO}_2$ , гиббсит  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , бёмит  $\text{Al}(\text{OH})_2$ , диаспор  $\text{Al}(\text{OH})$

#### **5. Карбонаты**

Эта группа одна из наиболее распространенных минералов представлена минеральными солями угольной кислоты: кальцит  $\text{CaCO}_3$ , доломит  $\text{CaMgCO}_3$ , сидерит  $\text{FeCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ .

#### **6. Фосфаты**

Фосфаты – соли фосфорной кислоты. Наиболее известны апатит  $\text{Ca}_5(\text{F},\text{Cl})(\text{PO}_4)_2$ , фосфорит (близкая к апатиту скрытокристаллическая разновидность).

#### **7. Сульфаты**

Это соли серной кислоты: гипс  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ангидрит  $\text{CaSO}_4$ , мирабилит (глауберова соль)  $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , барит  $\text{BaSO}_4$

#### **8. Силикаты**

Это очень широко распространенные породообразующие минералы земной коры. Вместе с кремнеземом они составляют по массе 90% всей земной коры.

Кристаллическую решетку всех силикатов составляет ионная четырехвалентная группа  $\text{SiO}_2$ , образующая тетраэдры

Классификация силикатов

В зависимости от структур, которые образуют тетраэдры SiO<sub>2</sub>, силикаты разделяются на островные (а,б), кольцевые (в,г), цепочные (д,е), ленточные (ж), слоевые (з), каркасные (и).

**Островные силикаты**

Имеют структуру изолированных тетраэдров, к которым присоединены ионы других элементов. Самый распространенный минерал этой группы – оливин (Mg,Fe)<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)

**Цепочные силикаты**

В этих минералах тетраэдры образуют цепочки. К ним относится большая группа минералов, называемых пироксенами. Среди пироксенов имеются три минерала с очень сложным химическим составом, играющих большую роль в образовании горных пород: черно-бурый гиперстен (Fe, Mn)<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>], авгит Ca(Mg, Fe, Al)[(Si, Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] и диопсид CaMg [Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>].

**Ленточные силикаты**

Их кристаллическая структура обусловлена сцеплением лент, полос. К ним относится группа амфиболов, обладающая сложным и сильно меняющимся составом. Наиболее типичный амфибол – роговая обманка Ca<sub>2</sub>Na(Mg, Fe<sup>2+</sup>)<sub>4</sub>(Al, Fe<sup>3+</sup>)[(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sub>2</sub>[OH]<sub>2</sub>.

**Слоевые силикаты**

Структура представляет собой сцепление лент в плоскости. Наиболее значимые представители: слюды (мусковит, биотит), серпентин, тальк, хлорит.

**Каркасные силикаты**

В эту группу входят очень важные минералы – полевые шпаты. Эти минералы занимают 50% массы земной коры.

Полевые шпаты подразделяются на:

Калиево-натриевые (ортоклаз и микроклин) K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

Известково-натриевые, или плагиоклазы: альбит Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) и анортит Ca(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

## Лекция 5. Горные породы

*Понятие о горных породах. Классификация горных пород.*

Горные породы - природные *агрегаты минералов* относительно постоянного минералогического и химического состава, которые образуют самостоятельные геологические тела, слагающие земную кору.

Каждая горная порода образуется в строго определенных физико-химических условиях.

*Для определения любой горной породы используют внешние признаки:*

минеральный состав,  
структуру (строение).

По минеральному составу породы делятся на:

мономинеральные, состоящие из одного минерала  
полиминеральные, состоящие из нескольких минералов

Минералы, слагающие основную массу горной породы (*95% и более*), содержащиеся в ней в определенных количествах и влияющие на отнесение ее к тому или иному виду, являются главными породообразующими.

Кроме них, в горных породах могут присутствовать второстепенные минералы, часто ценные в практическом отношении, но не влияющие на их диагностику.

Альмандин-кварц-биотитовый сланец содержит главные породообразующие минералы: альмандин (гранат), кварц биотит (слюда).

Под структурой понимают строение породы, т.е. *степень кристалличности минерального агрегата, форму, размеры и взаимоотношения входящих в его состав зерен минералов.*

*Примеры разных типов строения:*

*Зернистое (минералы представлены зернами),  
Порфиоровое (на плотном фоне разбросаны вкрапления зерен),  
Обломочное (обломки разной величины, сцементированные плотной массой),  
Плотное (зерна неразличимы невооруженным глазом),  
Пористое (ясно видны поры),  
Сланцеватое (сланцеватость – способность горных пород при ударе раскалываться на плитки),  
Несцементированные обломки (обломки различной величины, формы и цвета находятся в сыпучем виде).*

По своему происхождению (генезису) горные породы подразделяются на три класса:

магматические (изверженные),  
осадочные,  
метаморфические.

### ***Магматические горные породы***

Магматические горные породы образуются при застывании природных силикатных растворов сложного состава (магм, лав). Они составляют более 60 % объема земной коры.

В зависимости от условий, в которых происходит застывание магмы, магматические горные породы делятся на две группы: *интрузивные и эффузивные*.

*Интрузивные, или глубинные*, горные породы образуются при застывании магмы, внедрившейся в земную кору.

Если магма, поднимаясь по тектоническим трещинам или через жерла вулкана достигает земной поверхности и изливается в виде лавы, которая быстро остывает, то образуются *эффузивные, или излившиеся, горные породы*.

#### *А. Интрузивные, или глубинные, горные породы*

На больших глубинах господствует *высокое давление, препятствующее отделению летучих компонентов* (газов, паров воды). *Застывание магмы происходит очень медленно* из-за плохой теплопроводности вмещающих магму пород. Такие условия способствуют лучшему росту кристаллов.

Поэтому *структура таких пород полнокристаллическая* (породы полностью состоят из зерен, входящих в них минералов, плотно прилегающих друг к другу), *равномернозернистая*.

#### *Интрузивные, или глубинные, горные породы*

В зависимости от величины зерен полнокристаллические породы могут иметь структуру *крупнозернистую* (зерна более 5 мм в поперечнике), *среднезернистую* (5-2 мм) и *мелкозернистую* (менее 2 мм). *Если зерна не различимы простым глазом, структуру называют скрытокристаллической*.

*Для глубинных пород характерна крупно-, реже среднезернистая структура*. Текстура их плотная, массивная (однородная).

#### *Интрузивные, или глубинные, горные породы*

*На небольших глубинах* магма застывает быстрее, поэтому условия кристаллизации менее благоприятны.

*Структура полуглубинных пород может быть средне- или мелкозернистой*.

Особенно характерна для них *порфировидная структура, представляющая собой вкрапления крупных зерен одного минерала в общую мелкозернистую массу*. Возникает порфировидная структура следующим образом: при движении магмы на больших глубинах в ней успевают выкристаллизоваться отдельные минералы.

Оставшаяся масса, достигая небольших глубин, быстро застывает, превращаясь в мелкозернистую массу.

Габбро-диабаз. Карелия. Основная порода, состоит из плагиоклаза и авгита. Некоторые ученые считают эту породу переходной от диабаза к габбро.

#### *Б. Эффузивные, или излившиеся, горные породы*



Быстрое снижение температуры и давления, потеря уходящих в атмосферу газов и паров воды приводят к тому, что *расплав не успевает раскристаллизоваться полностью и затвердевает в виде аморфного вулканического стекла или в форме агрегата очень тонких зерен.*

*Эффузивные, или излившиеся, горные породы*

*Структура эффузивных пород может быть стекловатой (аморфной, лишенной зернистости), скрытокристаллической (кристаллы различимы только под микроскопом) и порфировой. Последняя возникает при медленном подъеме магмы с больших глубин к земной поверхности.*

*Текстура эффузивных пород может быть пористой, обусловленной выделением газов из застывающей лавы.*

Интрузивные и эффузивные породы, возникшие из аналогичной по составу магмы, имеющие близкий минеральный состав и отличающиеся только по структуре и текстуре, называют аналогами.

Магматические горные породы подразделяются по содержанию в них кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) на кислые, средние, основные и ультраосновные

### ***Осадочные горные породы***

*Осадочные породы формируются в поверхностных частях земной коры при разрушении ранее образованных пород и последующем механическом и химическом отложении продуктов этого разрушения, а также благодаря жизнедеятельности или отмиранию организмов.*

В целом осадочные породы занимают скромное место в земной коре, составляя около 8 % ее объема.

Мощность осадочных пород колеблется от нескольких метров до 15-20 км в областях прогибов и геосинклиналей.

Для большинства осадочных пород свойственна *слоистая текстура - результат длительного накопления осадков.*

Осадочные горные породы подразделяются на *три группы*: обломочные, хемогенные и органогенные.

1. Обломочные породы образуются в результате механического разрушения существовавших ранее горных пород, переноса и накопления обломков. Важной отличительной особенностью обломочных пород является размер обломков.

*грубообломочные* породы - обломки диаметром более 2 мм (глыбы, щебень, дресва, валуны, галька, гравий);

*среднеобломочные*, диаметром 2-0,1 мм (пески);

*мелкообломочные*, или пылеватые, диаметром 0,1-0,01 мм (лёсс, супеси, суглинки); тонкообломочные породы, диаметром частиц менее 0,01 мм (глинистые породы).

Все обломочные породы *подразделяются в зависимости от наличия или отсутствия цемента на рыхлые и цементированные.*

Вид *природного цемента* соответствует его минеральному составу. Он может быть *кремнистым* (кварц, халцедон, опал), *известковистым* (кальцит, доломит), *глинистым* и др.

Цементированные породы – песчаники. Это мелкозернистые породы, окрашенные в серые, бурые, розовые, коричневые и др. цвета.

Глыбы, щебень, дресва, валуны, гальки, галечник, гравий, пески, лёсс, супеси, суглинки, валунные суглинки, глина - рыхлые горные породы.

Валуны - *окатанные* водой обломки, диаметром более 100 мм.

Глыбы - скопления *угловатых* обломков, в поперечнике более 100 мм.

Валунный суглинок (морена)

Глина (триас). Окрестности Пучежа.

2. Хемогенные и органогенные породы. Большинство этих пород образуется в водной среде.

Хемогенные породы образуются при выпадении осадков из растворов, органогенные - в результате жизнедеятельности организмов или скопления их неразложившихся остатков.

Осадки в процессе последующего сложного преобразования (диагенеза) превращаются в горные породы химического и органического происхождения. Многие породы этой группы имеют смешанное (биохимическое) происхождение.

### **Метаморфические горные породы**

Метаморфические горные породы формируются в недрах земной коры *в результате глубокого изменения (метаморфизма) исходных магматических, или осадочных, пород под воздействием высокой температуры, большого давления и химически активных веществ глубинного происхождения (паров, газов, растворов).*

К метаморфическим породам относятся: глинистые сланцы, слюдистые сланцы, гнейс, мрамор, кварцит.

Глинистые сланцы - начальная стадия метаморфизации глинистых пород. Их можно отнести и к осадочным породам, и к метаморфическим.

Слюдистые сланцы состоят из слюд и кварца с примесью других минералов. Они имеют полнокристаллическую структуру и сланцеватую текстуру.

Гнейс - глубоко метаморфизованная порода. По минеральному составу похожа на гранит (также состоит из кварца, полевого шпата, слюды), но отличается от него по физическим признакам в связи с иными условиями образования.

Мрамор образуется при перекристаллизации известняков и доломитов. Мрамор имеет полнокристаллическую структуру и состоит из зерен кальцита, доломита.

Кварцит образуется при глубокой метаморфизации *кварцевых песков и песчаников*. Он состоит из прочно сцементированных зерен кварца с примесью полевых шпатов, слюд и некоторых других минералов.

## **Лекция 6. Магматизм**

*Понятие о магме. Интрузивный магматизм. Вулканизм: продукты извержения. Экологические последствия извержения вулканов. Наиболее распространенные магматические горные породы.*

### **Понятие о магме**

Магма (др. греч. - μάγμα — месиво, густая мазь) представляет собой природный, чаще всего силикатный, огненно-жидкий расплав, возникающий в земной коре или в верхней мантии, на больших глубинах, и при остывании формирующий магматические горные породы. Излившаяся магма — это лава.

Магматизм - геологические процессы, связанные с образованием магмы, перемещением ее в земной коре и излиянием ее на поверхность, в том числе деятельность вулканов (вулканизм).

### *Химический состав магмы*

В магме содержатся практически все химические элементы таблицы Менделеева, среди которых: Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Ti, Na, а также различные летучие компоненты (оксиды углерода, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>2</sub> и др.) и парообразная вода, но преобладают H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>

В редких случаях отмечаются магматические расплавы несиликатного состава, например щелочно-карбонатного (вулканы Восточной Африки) или сульфидного.

По мере продвижения магмы вверх, количество летучих компонентов сокращается. Дегазированная магма, излившаяся на поверхность, называется лавой.

### *Разновидности магмы:*

#### Базальтовая магма

Базальтовая (основная, толеитовая) магма, по-видимому, имеет большее распространение. В ней содержится около 50 % кремнезема, в значительном количестве присутствуют алюминий, кальций, железо и магний, в меньшем — К, Ti, Na, P.

При кристаллизации базальтовой магмы образуются темноцветные (черные, зеленые, бурые) горные породы.

#### Гранитная магма

Гранитная (риолитовая, кислая) магма содержит 60—65 % кремнезёма, она имеет меньшую плотность, более вязкая, менее подвижная, в большей степени чем базальтовая магма насыщена газами.

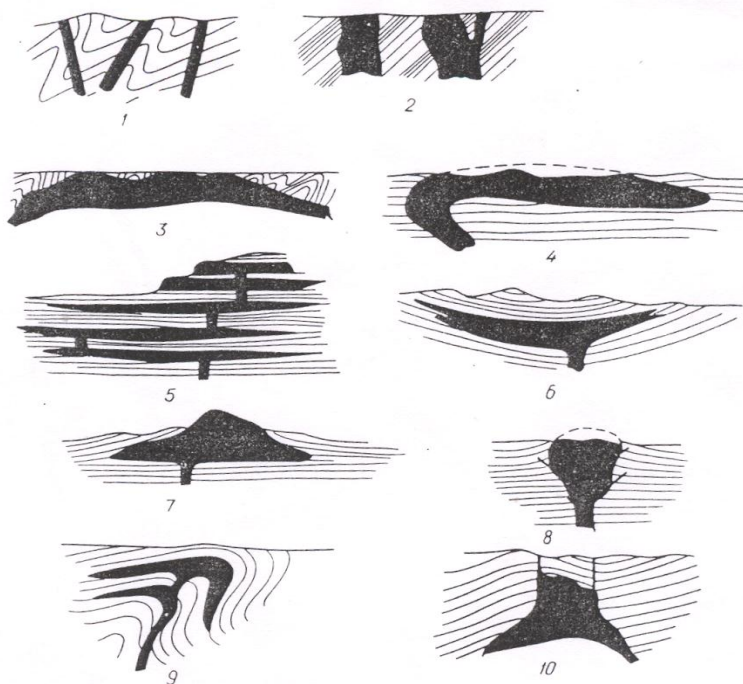
Цвет гранитной магмы более светлый, в окраске типичны белые, розовые, бежевые, серые минералы.

В зависимости от характера движения магмы и места её застывания различают два типа магматизма: интрузивный и эффузивный.

#### ***Интрузивный магматизм***

Интрузивный магматизм - процесс внедрения и застывания магмы в породах земной коры с образованием на разных глубинах своеобразных интрузивных форм.

#### Формы интрузивных тел



1 - дайки, 2 - штоки, 3- батолит, 4 – гарполит, 5 – силы (многоярусные), 6 – лополит, 7 – лакколит, 8 – диапир, 9 – факолит, 10 – бисмалит.

#### ***Вулканизм***

Если жидкий магматический расплав достигает дневной поверхности, то происходит извержение, характер которого определяется составом расплава, его температурой, давлением, концентрацией летучих компонентов и др. Одной из самых важных причин извержения магмы является ее дегазация. Именно газы, заключенные в расплаве, служат тем «движителем», который вызывает извержение.

Шире всего распространены основные – базальтовые лавы, которые при выходе на поверхность имеют высокую – до 1100-1200<sup>0</sup>С температуру и малую вязкость. Эта жидкая лава очень подвижна, может течь со скоростью 60 км/час при небольших уклонах.

Более кислые, вязкие и низкотемпературные лавы – андезиты, дациты, риолиты – образуют сравнительно короткие мощные потоки. Лавовый поток, быстро остывая с поверхности, покрывается коркой и глыбами. Во фронтальной части потока эта корка обрушивается вниз, образуя раскаленную осыпь, на которую накатывается лавовый поток. Так образуется лавобрекчия в подошве и кровле потока.

#### *Продукты вулканических извержений*

Твердые и частично первоначально жидкие вулканические продукты, имеющие различную форму и размеры, образуются во время эксплозивных (взрывных) извержений.

При слабых взрывах расплескиваемая лава образует по краям кратера скопления спекшихся «лепешек» и «капель» лавы, при этом формируются породы – агглютинаты (спекшиеся туфы).

При сильных взрывах раскаленные, еще жидкие лавы выбрасываются в воздух на десятки и сотни метров. Закручиваясь в воздухе и остывая, они падают на склоны вулкана, обладая грушевидной или крученой формой. При размерах от 5 см и более называются вулканическими бомбами.

Часто куски лавы, застывая в воздухе, превращаются в стекловатые шлаки, которые, падая на землю, спекаются в плотную массу. Скопления вулканических бомб называют агломератом.

Вулканический материал размерностью 1-5 см называется лапиллями, а более мелкий – вулканическим песком, пеплом и пылью.

Мощные взрывы, дробящие уже отвердевшие вулканические породы и распыляющие жидкую лаву, выбрасывают в воздух не только бомбы и обломочки вулканического стекла, но зерна минералов и их обломки. Такие мелкообломочные вулканические породы называются туфами (размер обломков которых от долей до 1-2 мм). В настоящее время для все рыхлых продуктов вулканических извержений используется термин «тефра».

#### *Экологические последствия извержения вулканов*

Экологические последствия вулканизма на локальном уровне, как и на региональном, могут быть и позитивными, и негативными.

Вулканический пепел — удобрение и источник питательных элементов для растений.

Так, во время пеплопада вулкана Безымянный в марте 1956 г. выпало около 20 кг пепла на 1 кв м, что сказалось на состоянии биоты в озере Азабачьем, расположенном в 80 км от него. Содержание фитопланктона в озере после пеплопада резко возросло. Вторичным звеном цепи являются ракообразные, питающиеся планктоном. Недостаток последнего негативно сказывается на воспроизводительной способности рачков. Однако и избыток водорослей не всегда благоприятен из-за выделений в воду большого количества, нарушающих химическое равновесие.

Численность ракообразных отразилась на рыбах, в частности, лососевых. В состоянии кормовой базы озера, а, следовательно, и рыб, с 1949 по 1963 г. прослеживаются три периода численности: средней (до пеплопада), низкой (4 года после пеплопада) и очень высокой (в последующие годы).

Вулканический пепел — удобрение и источник питательных элементов для растений.

Изучение свежих пеплов показало, что на их поверхности собирается большое количество подвижных фосфатов и (реже) калия, что вызывает вспышку урожайности. Однако с течением времени питательные вещества вымываются или переходят в неусвояемые формы.

После извержения вулкана Безымянный в 1956 г. в поселке Ключи и других местах, где

выпал пепел, резко возросли урожаи овощей. Расчеты показывают, что в пеплах, выброшенных Безымянным только за один день — 30 марта 1956 года, содержалось в виде легкорастворимых солей 450 тыс. т азота, 80 тыс. т калия, 36 тыс. т магния.

Благоприятные последствия извержений для жизнедеятельности человека связаны и с термальными водами. Термальные воды характеризуются высокими бальнеологическими свойствами, дают тепло, которое можно использовать для сельскохозяйственных, бытовых и промышленных целей. Районы современного вулканизма отличаются необычайным гигантизмом в растительном мире, связанным с высокой гидрофильностью почвы, высокими питательными свойствами и благоприятным фильтрационным режимом.

Планетарные негативные последствия вулканизма, по мнению ряда исследователей, связаны с выбросами ядовитых (иридия) и удушающих (углекислоты, сероводорода) веществ.

Мощные извержения вулканов сопровождаются массовыми выбросами пепла и аэрозолей. Соответствующие атмосферные явления, кислотные дожди, поступающие в почву тяжелые металлы и другие загрязнители оказывают ощутимое воздействие на биосферу.

Извержения вулканов, с их мощными эруптивными (вулканогенными) тучами, насыщенными вулканическим пеплом и газом, поднимающимися до 50 километров вверх, обильными камнепадами и пеплопадами, огненными фейерверками, раскаленными лавовыми и горячими потоками обломочных горных пород, спускающимися вниз по склонам вулканов, угрожают жизни людей и наносят материальный ущерб.

Основными поражающими факторами при извержении вулканов являются ударная волна, летящие вторичные снаряды (камни, деревья и т.д.), вулканический пепел, вулканические газы, тепловое излучение, пирокластические потоки. Часто извержение сопровождается образованием цунами, оползней и возникновением пожаров. Мелкий пепел, рассеянный в воздухе, может вызывать затруднение дыхания, обструкцию дыхательных путей, асфиксию и смерть. При некоторых извержениях образуются пирокластические потоки (раскаленные лавины) - газовые струи, содержащие в виде взвеси пепел и камни и движущиеся по склонам вулкана со скоростью 500-800 километров в час, их температура достигает 1 тысячи градусов Цельсия.

Вследствие вулканических извержений на крышах зданий накапливаются мощные слои пепла, что грозит их обрушением. Попадание в легкие мельчайших частиц пепла приводит к падежу скота. Взвесь пепла в воздухе представляет опасность для автомобильного и воздушного транспорта.

Вулканические газы, выделяемые вулканами любого типа, поднимаются в атмосферу и обычно не причиняют вреда, однако частично они могут возвращаться на поверхность Земли в виде кислотных дождей.

Вулканические газы могут наносить и косвенный вред. Так, содержащиеся в них соединения фтора, иридия захватываются пепловыми частицами, а при выпадении последних на земную поверхность заражают пастбища и водоемы, вызывая тяжелые заболевания скота. Таким же образом могут быть загрязнены открытые источники водоснабжения населения.

### ***Наиболее распространенные магматические горные породы***

#### ***А. Интрузивные, или глубинные, горные породы***

На больших глубинах господствует *высокое давление, препятствующее отделению летучих компонентов* (газов, паров воды). *Застывание магмы происходит очень медленно* из-за плохой теплопроводности вмещающих магму пород. Такие условия способствуют лучшему росту кристаллов.

Поэтому *структура таких пород полнокристаллическая* (породы полностью состоят из зерен, входящих в них минералов, плотно прилегающих друг к другу), *равномернозернистая*.

В зависимости от величины зерен полнокристаллические породы могут иметь структуру *крупнозернистую* (зерна более 5 мм в поперечнике), *среднезернистую* (5-2 мм)

и мелкозернистую (менее 2 мм). Если зерна не различимы простым глазом, структуру называют скрытокристаллической.

Для глубинных пород характерна крупно-, реже среднезернистая структура. Текстура их плотная, массивная (однородная).

На небольших глубинах магма застывает быстрее, поэтому условия кристаллизации менее благоприятны.

Структура полуглубинных пород может быть средне- или мелкозернистой.

Особенно характерна для них порфировидная структура, представляющая собой вкрапления крупных зерен одного минерала в общую мелкозернистую массу. Возникает порфировидная структура следующим образом: при движении магмы на больших глубинах в ней успевают выкристаллизоваться отдельные минералы.

Оставшаяся масса, достигая небольших глубин, быстро застывает, превращаясь в мелкозернистую массу.

#### Б. Эффузивные, или излившиеся, горные породы

Быстрое снижение температуры и давления, потеря уходящих в атмосферу газов и паров воды приводят к тому, что расплав не успевает раскристаллизоваться полностью и затвердевает в виде аморфного вулканического стекла или в форме агрегата очень тонких зерен.

Структура эффузивных пород может быть стекловатой (аморфной, лишенной зернистости), скрытокристаллической (кристаллы различимы только под микроскопом) и порфировой. Последняя возникает при медленном подъеме магмы с больших глубин к земной поверхности.

Текстура эффузивных пород может быть пористой, обусловленной выделением газов из застывающей лавы.

Интрузивные и эффузивные породы, возникшие из аналогичной по составу магмы, имеющие близкий минеральный состав и отличающиеся только по структуре и текстуре, называют аналогами.

Магматические горные породы подразделяются по содержанию в них кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) на кислые, средние, основные и ультраосновные:

Классификация пород	Содержание кремнезема ( $\text{SiO}_2$ )	Примеры горных пород-аналогов	
		Интрузивная	Эффузивная
Кислые	65-75 %	Гранит	Липарит, кварцевый порфир
Средние	55-65 %	Сиенит, диорит	Трахит, порфирит, андезит
Основные	40-55 %	Габбро	Базальт, диабаз
Ультраосновные	менее 40 %	Дунит, перидотит	-

## Лекция 7. Метаморфизм

*Понятие о метаморфизме. Факторы метаморфизма. Изменения в первичных породах при метаморфизме. Фации метаморфизма. Типы метаморфизма. Наиболее распространенные метаморфические горные породы.*

***Понятие о метаморфизме. Факторы метаморфизма.***

Главные факторы метаморфизма — *температура, флюиды, давление*

Эти факторы оказывают влияние на любые горные породы, находящиеся на различной глубине, при этом время не особенно важно при метаморфизме.

Например:

лавы раннего протерозоя (2,2 млрд лет) в Прибайкалье почти не отличаются от голоценовых лав (6 — 4 тыс. лет) Эльбруса;

глины кембрийского возраста (550 млн лет) под Санкт-Петербургом выглядят почти также, как и современные глинистые отложения;

многочисленными нефтяными скважинами вскрыты неизменные осадочные отложения на глубинах свыше 8 км.

Метаморфические изменения в горных породах начинаются при повышении температуры до 200 °С и увеличении всестороннего, т. е. *литостатического*, давления, вызванного весом вышележащих пород.

Не меньшее значение имеет *стресс*, боковое давление, обеспечивающее различное напряженное состояние горных пород, в результате которого открываются пути для миграции глубинных мантийных флюидов, являющихся главными переносчиками теплоты. Именно стресс вызывает появление характерной сланцеватости многих метаморфических образований.

Без флюидного потока вероятность метаморфизма невелика.

Известны случаи, например на о. Исландия, где по данным бурения начальные стадии метаморфизма установлены на глубинах всего 0,5 км. В то же время толщи пород на глубинах 20 км, если судить по данным сейсмических исследований, совсем не испытали метаморфических изменений. Поэтому флюиды являются одним из важнейших факторов метаморфизма.

***Изменения в первичных породах при метаморфизме. Фации метаморфизма.***

Из одних и тех же исходных, первичных пород, в зависимости от меняющихся температуры, давления, химического состава флюидов, могут образоваться различные метаморфические породы.

Этот комплекс новых минералов, или парагенезис (сонахождение), называют *метаморфической фацией*.

Первыми исследователями метаморфических комплексов было установлено, что можно выделить несколько характерных, широко распространенных ассоциаций, которые образовались в разных термодинамических условиях. Первое деление метаморфических пород по термодинамическим условиям образования сделал финский геолог П.Эскола (1920). В породах базальтового состава он выделил зеленые сланцы, эпидотовые породы, амфиболиты, гранулиты и эклогиты. Последующие исследования показали логичность и содержательность такого деления.

Полевые шпаты — одна из самых распространенных групп метаморфических минералов. Широко известный ряд Ca-Na полевых шпатов — плагиоклазов — встречается в метаморфических породах самого разного состава и во всем интервале P-T-условий метаморфизма.

Плагиоклазы — группа минералов ряда альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  — анортит  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

В низкотемпературных фациях метаморфизма устойчив альбит. С повышением температуры натрий в плагиоклазе постепенно замещается кальцием с параллельным замещением кремния алюминием.

В высоких температурных фациях (зеленосланцевой и амфиболитовой) плагиоклаз представлен уже олигоклазом и андезином.

При кислом составе пород андезин может сохраняться до высоких температур. В породах основного и карбонатного состава он достигает состава битовнита – анортита.

При повышении давления все более устойчивым оказывается альбит, а кальций переходит в минералы ряда эпидот – цоизит. При очень высоких давлениях альбит также становится неустойчивым: кальций переходит в лавсонит, а натрий – в глаукофаны, жадеиты и омфацит.

В связи с увеличением температуры начинается миграция, диффузия ионов сначала вдоль границ зерен минералов, а затем и внутри их, где небольшие ионы прокладывают себе путь между более крупными. Этот процесс происходит в твердом состоянии.

Но не только одни минералы замещаются другими. Происходит изменение структуры, текстуры и наступает полная перекристаллизация первичной породы.

В результате метаморфическая порода приобретает сланцеватую текстуру — тонкие пластинки, на которые порода разбивается при ударе молотком.

На образование сланцеватой текстуры особенное влияние оказывает стресс — одностороннее, а не литостатическое давление.

### **Типы метаморфизма**

Метаморфизм может проявиться на огромных площадях, поэтому называется региональным. В других случаях метаморфические изменения захватывают ограниченные участки, тогда метаморфизм называют локальным.

#### **А. Региональный метаморфизм**

*Региональный метаморфизм* является наиболее распространенным, проявляясь на площадях в сотни тысяч км<sup>2</sup>, что обусловлено погружением региона на глубины, достаточные для воздействия на первичные толщи пород высоких температур, всестороннего (литостатического) давления и флюидов.

Такие метаморфические толщи развиты на древних щитах платформ, например на Балтийском и Украинском в пределах Восточно-Европейской платформы, на Алданском — Сибирской платформе и др.

Архейские породы возрастом свыше 2,5 млрд лет метаморфизованы во всех регионах Земли; протерозойские возрастом 2,5— 0,57 млрд лет — избирательно, а фанерозойские породы моложе 0,57 млрд лет, — только в складчатых областях и в тех структурах, которые подверглись наибольшему давлению и температурному воздействию.

Поэтому в складчатых структурах можно наблюдать, как разновозрастные толщи аргиллитов переходят в глинистые сланцы, затем в филлиты, кристаллические сланцы и, наконец, в гнейсы.

#### **Б. Локальный метаморфизм**

*Локальный метаморфизм* проявляется на ограниченных площадях и подразделяется на контактовый и динамометаморфизм (дислокационный).

##### **Контактовый метаморфизм**

Контактовый метаморфизм развивается в интрузивных массивах, внедряющихся в любые толщи пород, воздействие на которые осуществляется температурой и флюидным потоком.

Если воздействию гранитов подвергаются карбонатные породы, то возникают скарны, метаморфические породы, которые образовались за счет метасоматоза (замещения) с привнесением  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

##### **Динамометаморфизм**

*Динамометаморфизм* связан с крупными разломами, в основном надвигами, покровами и сдвигами, при образовании которых всегда возникает стресс — напряжение сжатия, ориентированное в одном направлении.

На глубинах, где литостатическое давление велико, породы под влиянием стресса приобретают пластическое течение, напоминающее раздавливание пластилина в руках.



При этом раздавливаемый материал стремится выдавиться в сторону уменьшения градиента давления, а вновь образованные минералы, такие, как слюды, располагаются чешуйками параллельно поверхности смещения, создавая сланцеватость метаморфической породы.

Конгломераты в таких зонах сплющиваются, длинные оси сжатых галек принимают соответствующую ориентацию.

#### Ударный метаморфизм

На поверхность Земли всегда падали, падают и будут падать метеориты — космические «гости» из нашей Солнечной системы. При падении на Землю метеорита образуется кратер, или *астроблема* (греч. «астра» — звезда, «блема» — рана), которая всегда больше, чем упавший метеорит.

Соударение метеорита о поверхность Земли зависит от массы тела и его скорости при движении в атмосфере, так как последняя играет роль тормоза.

Образование большинства кратеров соответствует скорости сближения с поверхностью Земли в 3 — 4 км/с. При такой скорости образуется ударная волна со скоростью 3 — 5 км/с, сжимающая горные породы с силой до 100 ГПа, давление, как полагает В. И. Фельдман, возрастает в миллиардные доли секунды ( $10^{-9}$  с). Естественно, что это колоссальное мгновенное сжатие вызывает такой же быстрый нагрев пород до 10 000 °С и выше, причем нагрев происходит в момент разряжения сжатия, когда ударная волна исчезает.

Все это сопровождается дроблением, плавлением и испарением вещества мишени.

Горные породы, образующиеся при таком мгновенном ударном событии, называют *импактитами*.

Например, кварц ( $2,2 — 2,5$  г/см<sup>3</sup>) переходит в более плотную ( $2,85 — 3,0$  г/см<sup>3</sup>) модификацию, но его состав при этом не меняется. Углерод может переходить в алмаз, оливин и пироксен сменяются более плотными модификациями.

#### **Наиболее распространенные метаморфические горные породы.**

Выделяют две группы метаморфических пород, исходя из того, какие осадочные или магматические породы подвергаются метаморфизму:

1-я группа — парапороды, образовалась из первично осадочных пород, например из карбонатных пород получают мраморы, из песчаников — кварциты, из глин — аргиллиты и др.;

2-я группа — ортопороды, сформировалась из первично магматических пород, например, ортогнейсы — из гранитов, кварцевых диоритов и др..

Перечень некоторых пород (регионального метаморфизма) от менее метаморфизированных к более метаморфизированным):

Глинистые сланцы (сланцеватые, серые, голубоватые, бурые до черного). Минералы: глинистые минералы, биотит, хлорит, кварц.

Кристаллические сланцы (зернистые, глинистые минералы перекристаллизованы, сланцеватые, некоторые минералы ориентированы). Минеральный состав: слюды, кварц, гранат.

Перечень некоторых пород (регионального метаморфизма) от менее метаморфизированных к более метаморфизированным):

Кварцит (массивные, плотные, зернистые). Минералогический состав: кварц. Железистые кварциты, содержат гематит и магнетит.

Мраморы (зернистые, мономинеральные). Минералогический состав: кальцит.

Гнейсы — глубокометаморфизированные породы, сланцеватые. Состав: кварц, полевой шпат, слюда, роговая обманка и др.

*Выводы: Давление, теплота и глубинные флюиды изменяют горные породы в твердом состоянии, подвергая их метаморфизму. Основными типами метаморфизма являются региональный и локальный. Температура определяет три группы метаморфизма — низко-, средне- и высокотемпературный. Фаши метаморфизма выделяются на*

основе минерального состава измененных горных пород. Падение крупных метеоритов вызывает особый импактный метаморфизм.

Литература: Емельяненко П. Ф., Яковлева Е. Б. Петрография магматических и метаморфических пород. М., 1985. , Петрография / Под ред. А. А. Маракушева. Т. III. М., 1986.

## Лекция 8. Главные структурные элементы земной коры и тектоника литосферных плит

Наиболее крупными структурными элементами земной коры являются континенты и океаны, характеризующиеся различным строением земной коры. Эти структурные элементы надо понимать не в строго географическом плане, а в геологическом или, вернее, в геофизическом смысле. Во-первых, тип строения можно определить только сейсмическими методами, во-вторых, не все пространство, занятое водами океана, представляет собой океанскую структуру. Ведь обширные шельфовые области и значительная часть материкового склона слагаются континентальной корой.

Различия между этими крупнейшими структурными элементами земной коры не ограничиваются разным типом земной коры, а прослеживаются значительно глубже, в верхней мантии, которая под континентами построена иначе, чем под океанами. Эти различия охватывают всю литосферу, а местами прослеживаются до глубин 700 км.

В пределах океанов и континентов выделяются и менее крупные структурные элементы. В первую очередь это стабильные, устойчивые структуры — *платформы* (рис. 24.1). Они могут быть не только на континентах, но и в пределах океанов; характеризуются, как правило, выровненным спокойным рельефом, которому соответствует такое же положение поверхности на глубине. Только под континентальными платформами платформенные структуры прослеживаются до глубин 30 — 50 км, а под океанами — до 5 — 8 км, так как океанская кора гораздо тоньше континентальной.

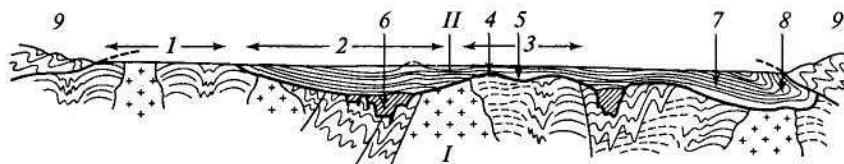


Рис. 24.1. Схема строения платформы:

*I* — фундамент; *II* — чехол; *I* — щит; 2 — синеклиза; 3 — антеклиза; 4 — свод; 5 — впадина; 6 — авлакоген; 7 — перикратонный прогиб; 8 — передовой прогиб; 9 — складчатая область

В океанах как крупнейших структурных элементах выделяются *срединно-океанские подвижные пояса*, представленные *срединно-океанскими хребтами с рифтовыми зонами* в их осевой части. Рифтовые зоны рассекаются *трансформными разломами*, по которым в горизонтальном направлении смещены осевые отрезки срединно-океанских хребтов. Рифтовые зоны в настоящее время, как и в геологическом прошлом, являются зонами *спрединга*, т. е. расширения океанского дна и наращивания новообразованной океанской коры. Следовательно, в океанах как в крупнейших структурных элементах земной коры выделяются устойчивые платформы и мобильные срединно-океанские пояса.

В пределах континентов находятся стабильные области — *платформы* и *эпиплатформенные орогенные пояса*. Последние сформировались в неоген-четвертичное время в пределах устойчивых структурных элементов после периода платформенного развития. К таким поясам можно отнести современные горные сооружения Тянь-Шаня, Алтая, Саян, Западного и Восточного Забайкалья, территорию Восточной Африки и др. Кроме того, подвижные складчатые пояса, которые подверглись складчатости и орогенезу в альпийскую тектоническую эпоху, т. е. в неоген-четвертичное время, составляют *эпигеосинкли-*

*нальные орогенные пояса.* К ним относятся Альпы, Карпаты, Динариды, Кавказ, Копетдаг, территория Камчатки и др.

На территории некоторых континентов, в зоне их перехода в океан (в геофизическом смысле), находятся *окраинно-континентальные подвижные геосинклинальные пояса*, представляющие собой сложное сочетание окраинных морей, островных дуг и глубоководных желобов. Это пояса высокой современной тектонической активности, выраженной в форме контрастности движений, высокой сейсмичности и активного вулканизма. В геологическом прошлом развивались и межконтинентальные геосинклинальные пояса, например Урало-Охотский, связанный с закрытием древнего Палеоазиатского океана, и др.

В 1873 г. американский геолог Д.Дэна ввел в геологию учение о геосинклиналях, основы которого были сформулированы американским геологом Дж. Холлом в 1857 г. Он показал, что горно-складчатые структуры возникли на месте прогибов, заполнявшиеся разнообразными морскими отложениями. В силу того что общая форма этих прогибов была синклинальной, а масштабы прогибов огромными, их назвали *геосинклиналями*.

В течение последних 150 лет это учение набирало силу, дорабатывалось, детализировалось и благодаря совместным усилиям ведущих геологов многих стран сформировалось в стройную концепцию, представляющую собой эмпирическое обобщение огромного фактического материала. Однако учение страдало одним существенным недостатком — отсутствием геодинамической интерпретации наблюдаемых конкретных закономерностей развития отдельных геосинклинальных систем и не было способно указать место геосинклиналей в современном структурном плане земной коры, а также определить, где, в каком месте находятся в настоящее время современные геосинклинали. Устранить этот недостаток смогла новая концепция — концепция *тектоники литосферных плит*. Она возникла на рубеже 60—70-х годов XX в. и быстро превратилась в ведущую геотектоническую теорию. С точки зрения тектоники литосферных плит, или новой глобальной тектоники, геосинклинальные пояса возникают на границах взаимодействия различных континентальных и океанских литосферных плит.

### ***Тектоника литосферных плит***

В 50-е и 60-е годы XX в. геологические и геофизические исследования Земли проводились очень интенсивно. Особенно это касалось океанов, о строении дна которых и тем более о структуре земной коры в их пределах и ее свойствах мало что было известно. Накопление новых данных началось еще в первой половине XX в., но прошло еще много времени, прежде чем полученные факты помогли рождению новой геологической теории. Именно теории, а не гипотезы.

В чем разница между теорией и гипотезой? Теория обладает функцией «предсказуемости». С ее помощью, если теория правильна, можно прогнозировать те или иные свойства вещества, его строение, явления и т.д. Если прогноз подтверждается, следовательно, теория имеет право на существование. Гипотеза этими свойствами не обладает и не может объяснить появляющиеся новые данные.

Решающий вклад в современную геологическую теорию тектоники литосферных плит внесли следующие открытия:

установление грандиозной, около 60 тыс. км, системы срединно-океанических хребтов и гигантских разломов, пересекающих эти хребты;

обнаружение и расшифровка линейных магнитных аномалий океанского дна, дающих возможность объяснить механизм и время его образования;

установление места и глубин гипоцентров (очагов) землетрясений и решение их фокальных механизмов;

развитие палеомагнитного метода, основанного на изучении древней намагниченности горных пород, что дало возможность установить перемещение континентов относительно магнитных полюсов Земли.

Заслуга в создании «тектоники плит», которая была сформулирована к концу 60-х годов XX в., принадлежит Тузо Уилсону (Канада), Ксавье Ле Пишону (Франция) и Джейсону Моргану (США).

Основная идея новой теории базировалась на признании разделения литосферы, т.е. верхней оболочки Земли, включающей земную кору и верхнюю мантию до астеносферы, на семь самостоятельных крупных литосферных плит, не считая ряда мелких. Эти плиты в своих центральных частях лишены сейсмичности, они тектонически стабильны, а вот по краям плит сейсмичность очень высокая и там постоянно происходят землетрясения разной силы. Следовательно, краевые зоны плит испытывают большие напряжения, так как перемещаются относительно друг друга.

Определив характер напряжений в очагах землетрясений на краях плит, удалось выяснить, что в одних случаях это растяжение, т.е. плиты расходятся и растяжение происходит вдоль оси срединно-океанских хребтов, где развиты глубокие ущелья — рифты (от англ. «рифт» — расщелина). Подобные границы, маркирующие зоны расхождения литосферных плит, называют *дивергентными* (от англ. «дивергенс» — расхождение).

На других границах плит в очагах землетрясений, наоборот, выявлена обстановка тектонического сжатия, т.е. в этих местах литосферные плиты движутся навстречу друг другу со скоростью 10 — 12 см/год. Такие границы получили название *конвергентных* (от англ. «конвергенс» — схождение), а их протяженность также близка к 60 тыс. км.

Существует еще один тип границ литосферных плит, где они смещаются горизонтально относительно друг друга, как бы сдвигаются, о чем говорит и обстановка скалывания в очагах землетрясений этих зон. Они получили название *трансформных разломов* (от англ. «трансформ» — преобразовывать), поскольку передают и преобразуют движения от одной зоны к другой.

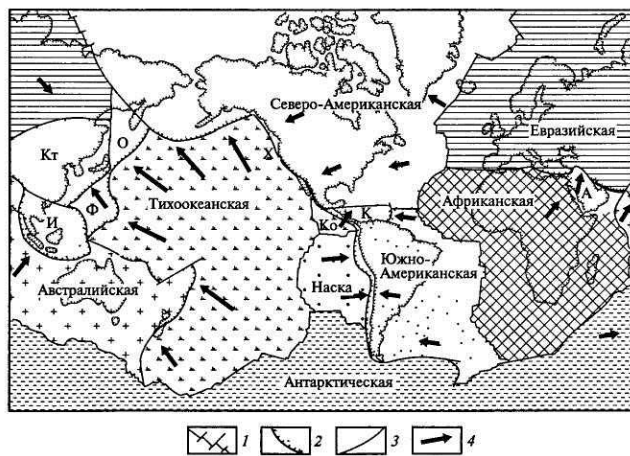


Рис. 24.2. Основные литосферные плиты (по В. Е. Хаину и М. Г. Ломизе):

1 — оси спрединга (дивергентные границы); 2 — зоны субдукции (конвергентные границы); 3 — трансформные разломы; 4 — векторы «абсолютных» движений литосферных плит. Малые плиты. X — Хуан-да-Фука; Ко — Кокос; К — Карибская; А — Аравийская; Кт — Китайская, И — Индокитайская; О — Охотская; Ф — Филиппинская

Некоторые литосферные плиты сложены как океанской, так и континентальной корой одновременно. Например, Южно-Американская единая плита состоит из океанской коры западной части южной Атлантики и из континентальной коры Южно-Американского континента. Только одна Тихоокеанская плита целиком состоит из коры океанского типа. Когда говорим о плитах, следует помнить, что Земля шарообразная, поэтому плиты напоминают вырезанную арбузную корку. Иными словами, они перемещаются по сфере.

Современными геодезическими методами, включая космическую геодезию, высокоточные лазерные измерения и т.п., установлены

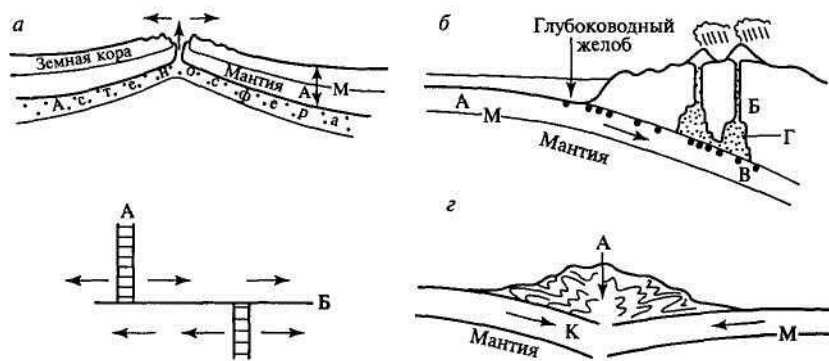


Рис. 24.3. Типы границ литосферных плит:

*a* — раскрытие океанских рифтов, вызывающих процесс спрединга (дивергентные границы): М — поверхность Мохоровичича; А — литосфера; *б* — субдукция (погружение) океанской коры под континентальную (конвергентные границы): А — океанская кора; Б — континентальная кора; В — гипоцентры землетрясений; Г — первичные магматические очаги; *в* — трансформные границы: А — рифты; Б — трансформный разлом; *г* — коллизионные границы: А — складчатая толща горных пород; К — континентальная кора. Стрелками показано перемещение блоков коры

скорости движения литосферных плит и доказано, что океанские плиты движутся быстрее тех, в структуру которых входит континент, причем чем толще континентальная литосфера, тем скорость движения плиты ниже.

Почему перемещаются литосферные плиты? Общепринятой точкой зрения считается признание конвективного переноса вещества мантии. Поверхностным выражением такого явления служат рифтовые зоны срединно-океанских хребтов, где относительно более нагретая мантия, поднимаясь к поверхности, подвергается плавлению. Она изливается в виде базальтовых лав в рифтовой зоне и застывает. Далее в эти застывшие породы вновь внедряется базальтовая магма и раздвигает в обе стороны более древние базальты. И так происходит много раз. При этом океанское дно как бы наращивается, разрастается. Подобный процесс получил название *спрединга* (от англ. «спрединг» — развертывание, растилание). Таким образом, спрединг имеет скорость, измеряемую по обе стороны осевого рифта срединно-океанского хребта. Скорость разрастания океанского дна колеблется от нескольких миллиметров до 18 см в год.

Строго симметрично по обе стороны срединно-океанских хребтов во всех океанах расположены линейные магнитные положительные и отрицательные аномалии. Везде видна одна и та же последовательность аномалий, в каждом месте они узнаются, всем им присвоен свой порядковый номер.

Ф. Вайн и Д. Мэтьюз из Кембриджского университета Великобритании в 1963 г. показали, что этот странный рисунок магнитных аномалий, не встречающийся на континентах, отражает последовательность внедрения базальтовой магмы в рифтовой зоне хребта. Застывая, базальты, проходя точку Кюри, приобретают намагниченность данной эпохи. Каждая новая порция магмы, внедряясь в уже застывшие, симметрично раздвигает их в обе стороны. Поэтому и магнитные аномалии располагаются симметрично относительно оси хребта. Иными словами, по обе стороны срединно-океанского хребта имеются две одинаковые «записи» изменения магнитного поля на протяжении длительного времени. Нижний предел этой «записи» — 180 млн лет. Древнее коры, чем океанская, не существует. Подобный процесс и есть спрединг.

Если спрединг происходит быстро, то полосы магнитных аномалий находятся дальше друг от друга, они как бы растянуты. А если спрединг более медленный, то аномалии располагаются ближе. Это обстоятельство позволяет вычислить скорость спрединга на любом пересечении срединно-океанского хребта, так как расстояние от полосы маг-

нитной аномалии до осевой зоны рифта в хребте, поделенное на время, и даст скорость спрединга.

Когда был установлен процесс спрединга, сразу же встал вопрос о том, куда же исчезает океанская кора, если радиус Земли не увеличивается, а древнее чем 180 млн лет океанической коры не существует? Где-то она должна поглощаться, но где? И такие конвергентные зоны были найдены и названы зонами *субдукции* (от англ. «саб-дакшн» — погружение). Располагаются они по краям Тихого океана и на востоке Индийского. Тяжелая и холодная океанская литосфера, подходя к более толстой и легкой континентальной, уходит под нее, как бы подныривает. Если в контакт входят две океанские плиты, то погружается более древняя, так как она тяжелее и холоднее, чем молодая плита.

Зоны, где происходит субдукция, морфологически выражены глубоководными желобами, а сама погружающаяся океанская холодная и упругая литосфера хорошо устанавливается по данным сейсмической томографии — объемного «просвечивания» глубоких недр планеты. Угол погружения океанских плит различный, вплоть до вертикального, и плиты прослеживаются до границы верхней и нижней мантий в 670 км. Некоторые плиты останавливаются на этом уровне, иногда выполаживаясь и как бы скользят по границе. Другие — пересекают ее и погружаются в нижнюю мантию, местами достигая практически поверхности внешнего ядра на глубине 2900 км.

Когда океанская плита при подходе к континентальной начинает резко изгибаться, в ней возникают напряжения, которые, разряжаясь, провоцируют землетрясения. Гипоцентры или очаги землетрясений четко маркируют границу трения между двумя плитами и образуют наклонную сейсмофокальную зону, погружающуюся под континентальную литосферу до глубин 700 км. Впервые эту зону обнаружил японский геофизик К. Вадати в 1935 г., а американский сейсмолог Х. Беньоф в 1955 г. подробно описал эти зоны, которые с тех пор стали называться *зонами Беньофа*.

Гипоцентры землетрясений в зоне Беньофа не везде достигают границы верхней и нижней мантий. Иногда их глубина, например под Каскадными горами на западе США, не превышает первых десятков километров. Происходит это в тех случаях, когда холодная пластина океанской литосферы разогревается и в ней уже не могут происходить сколы, вызывающие землетрясения.

Погружение океанской литосферы приводит еще к одним важным последствиям. При достижении литосферы глубины 100—200 км в области высоких температур и давлений из нее выделяются флюиды — особые, перегретые минеральные растворы, которые вызывают плавление горных пород континентальной литосферы и образование магматических очагов, питающих цепи вулканов, развитых параллельно глубоководным желобам на активных окраинах Тихого и на восточной окраине Индийского океанов. Вулканические цепи располагаются тем ближе к глубоководному желобу, чем круче наклонена субдуцирующая океанская литосфера.

Таким образом, благодаря субдукции на активной континентальной окраине наблюдаются сильно расчлененный рельеф, высокая сейсмичность и энергичная вулканическая деятельность.

Говоря о субдукционных процессах, нельзя не сказать о судьбе осадков, перекрывающих океанскую литосферу. Край плиты, под которую субдуцирует океанская, подрезает скопившиеся на ней осадки, как нож скрепера или бульдозера, деформирует эти отложения и приращивает их к континентальной плите в виде *аккреционного клина* (от англ. «аккрешион» — приращение). Какая-то часть осадочных отложений погружается вместе с плитой в глубины мантии. В различных местах этот процесс идет разными путями. Так, у побережья Центральной Америки, где пробурены скважины, почти все осадки пододвигаются под континентальный край, чему способствует сверхвысокое давление воды, содержащейся в порах осадков. Поэтому и трение очень мало. В ряде других мест погружающаяся океанская литосферная плита разрушает, эродирует край континентальной литосферы и увлекает за собой вглубь ее фрагменты. Были произведены подсчеты количества

материала, ежегодно увлекаемого на глубину (1,0—1,5 км<sup>3</sup>), задерживаемого у края нависающей плиты при аккреции (0,2 — 0,4 км<sup>3</sup>), и вещества тектонической эрозии (~0,6 км<sup>3</sup>).

Кроме явления субдукции существует так называемая *обдукция*, т. е. надвигание океанской литосферы на континентальную, примером которой является огромный тектонический покров (500 x 100 км) на восточной окраине Аравийского полуострова, сложенный типичной океанской корой, перекрывающей древние докембрийские толщи Аравийского щита.

Следует также упомянуть о столкновении, или *коллизии*, двух континентальных плит, которые в силу относительной легкости слагающего их материала не могут погрузиться друг под друга, а сталкиваются, образуя горно-складчатый пояс с очень сложным внутренним строением. Например, возникли Гималайские горы, когда 50 млн лет назад Индостанская плита столкнулась с Азиатской. Так сформировался Альпийский горно-складчатый пояс при коллизии Африкано-Аравийской и Евразийской континентальных плит.

Тектоника литосферных плит позволила совершенно точно восстановить картину распада последнего суперматерика Пангеи-2, существование которого в 1912 г. впервые предсказал выдающийся немецкий геофизик Альфред Вегенер — основатель гипотезы дрейфа материков, которая в наши дни трансформировалась в концепцию новой глобальной тектоники. Рассчитанные абсолютные и относительные движения литосферных плит с момента начала распада Пангеи-2 хорошо известны и отличаются большой точностью.

Воссоздана картина раскрытия Атлантического и Индийского океанов, которое продолжается и в наши дни со скоростью около 2,0 см в год. Выяснена возможность некоторого проворачивания литосферы Земли по отношению к нижней мантии в западном направлении, что позволяет объяснить, почему на западной и восточной активных окраинах Тихого океана условия субдукции неодинаковы и возникает известная асимметрия Тихого океана с задуговыми, окраинными морями и цепями островов на западе и отсутствием таковых на востоке.

Теория тектоники литосферных плит впервые в истории геологии носит глобальный характер, так как касается всех районов земного шара и позволяет объяснить их историю развития, геологическое и тектоническое строение. На сегодняшний день этой теории нет разумной альтернативы и она вполне закономерно сменила господствовавшую до этого геосинклинальную концепцию, вобрав все наиболее ценное.

### ***Основные структурные элементы платформ***

На континентах различают по времени своего образования древние и молодые платформы. Последние иногда называют плитами. Древние платформы возникли в докембрийскую эпоху, а молодые плиты были сформированы за счет консолидации (объединения, сращения) складчатых поясов в мезозое и кайнозое. Древние платформы являются устойчивыми глыбами земной коры, которые сформировались в архее или в раннем протерозое. Их отличительная черта — двухэтажное строение. Нижний этаж, или фундамент, сложен складчатыми, глубококоматоморфизованными толщами пород, прорванными гранитными интрузивами, с широким развитием гнейсовых и гранито-гнейсовых куполов или овалов — специфической формой метаморфогенной складчатости. Фундамент платформ формировался в течение длительного времени (более 2 млрд лет) и впоследствии подвергся очень сильному размытию и денудации. В результате этих процессов вскрылись породы, залегавшие ранее на незначительной глубине. Площадь древних платформ велика. Таковыми являются Восточно-Европейская, Северо-Американская, Африканская, Сибирская платформы. Для них характерны угловатые очертания. Прямолинейные участки, которые выражены глубинными разломами или краевыми швами, сходятся под различным углом. Соседние складчатые системы либо надвинуты на платформы, либо граничат с ними через передовые прогибы, на которые, в свою очередь, надвинуты складчатые орогены. Границы древних платформ резко нарушают их внутренние структуры, что свиде-

тельствует об их вторичном характере в результате расколов древних суперматериков Пангеи-0 и Пангеи-1 в докембрии.

Верхний этаж платформ представлен *чехлом*, или покровом, полого залегающих толщ осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Они располагаются с резким угловым и стратиграфическим несогласием на сильно дислоцированном фундаменте. Поверхность между чехлом и фундаментом отражает самое важное структурное несогласие в пределах платформ.

Строение платформенного чехла оказывается сложным, и на многих платформах на ранних стадиях образования чехла возникли грабены, грабенообразные прогибы — *авлакогены* (от греч. «авлос» — борозда, ров; «ген» — рожденный, т.е. рожденные рвом) (см. рис. 24.1). Авлакогены чаще всего возникали в конце протерозоя, в рифее, и образовали в теле фундамента протяженные системы. Мощность континентальных и реже морских отложений в авлакогенах достигает 5 — 7 км, а глубокие разломы, ограничивающие авлакогены, способствовали проявлению щелочного, основного и ультраосновного магматизма, а также развитию специфического для платформ траппового магматизма, выраженного в виде покровов, силлов и даек континентальных толеитовых базальтов. Этот нижний структурный ярус платформенного чехла, соответствующий авлакогенному этапу развития, сменяется формированием сплошного чехла платформенных отложений, чаще всего начинающихся с отложений вендского яруса.

Среди наиболее крупных структурных элементов платформ выделяются щиты и плиты. *Щит* — это выступ на поверхность фундамента платформы, который на протяжении всего платформенного этапа испытывал тенденцию к поднятию. *Плита* — часть платформы, перекрытая чехлом отложений и обладающая тенденцией к прогибанию. В пределах плит различают более мелкие структурные элементы. В первую очередь это *синеклизы* — обширные плоские впадины, под которыми фундамент прогнут, и *антеклизы* — пологие своды с приподнятым фундаментом и вследствие этого с относительно угловатым чехлом.

По краям платформ, т.е. там, где они граничат со складчатыми поясами, часто образуются глубокие впадины, которые называют *перикратонными* — располагающимися на краю кратона или платформы. Нередко антеклизы и синеклизы бывают осложнены второстепенными структурами меньших размеров. Такими являются *сводьы, впадины, валы*. Последние возникают над зонами глубинных разломов, крылья которых испытывают разнонаправленные движения. В чехле эти разломы выражены выходами древних отложений из-под более молодых. Углы наклона крыльев валов не превышают нескольких градусов. Часто встречаются *флексуры* — изгибы слоев чехла без разрыва их сплошности и с сохранением параллельности крыльев, возникающие над зонами разломов в фундаменте при подвижке его блоков. Все платформенные структуры очень пологие, и в большинстве случаев измерить наклоны их крыльев невозможно.

Состав отложений платформенного чехла разнообразен, но чаще всего преобладают осадочные породы морского и континентального генезиса. Они образуют выдержанные пласты и толщи, протягивающиеся на значительные расстояния. Весьма характерны для платформ карботные толщи, например толщи белого писчего мела, органогенных известняков, типичных для гумидного климата, и доломитов с сульфатными осадками, которые именуются эвапоритами (от англ. «эвапорайт» — выпаривать, сгущать), образующимися в аридном климате. Широко развиты континентальные терригенные толщи, приуроченные, как правило, к основанию крупных осадочных комплексов, отвечающих определенным этапам развития платформенного чехла. На смену им приходят эвапоритовые или угленосные паралические толщи в зависимости от климатических условий и терригенные — песчаные с фосфоритами и песчано-глинистые. Карбонатные толщи знаменуют собой «зенит» развития комплекса, а далее нередко происходит смена толщ в обратном порядке. Для многих платформ характерны покровно-ледниковые, тиллитовые отложения,



которые образовались в вендском периоде, в конце ордовика или в конце каменноугольного периода.

Платформенный чехол в процессе своего формирования неоднократно претерпевал перестройку структурного плана, приуроченную к рубежам крупных геотектонических циклов: *байкальского*, *каледонского*, *герцинского*, *киммерийского* и *альтйского*. Участки платформ, испытавшие максимальные погружения, как правило, примыкают к той пограничной с платформой подвижной области или системе, которая в это время активно развивалась.

Для платформ характерен специфический магматизм, который проявляется в моменты их тектонической активизации. Наиболее типична трапповая формация, объединяющая вулканические продукты — лавы, туфы и интрузивы, сложенные толеитовыми базальтами континентального типа, которые так называются вследствие того, что по отношению к океанским базальтам обладают несколько повышенным содержанием оксида калия, но все же не превышающим 1 — 1,5 %. Объем продуктов трапповой формации может достигать 1 — 2 млн км<sup>3</sup>, как это наблюдается на Сибирской платформе. Очень важное значение имеет щелочно-ультраосновная (кимберлитовая) формация, содержащая алмазы в продуктах трубок взрыва (Сибирская платформа, север Восточно-Европейской и юг Африканской платформ).

Кроме древних платформ выделяют молодые платформы — плиты. Они сформировались либо на байкальском, либо каледонском или герцинском фундаментах. Их характерной особенностью являются сильная дислоцированность чехла, меньшая степень метаморфизма пород структур фундамента. Примерами плит являются эпи-байкальская Тимано-Печорская, эпигерцинская Скифская, эпипа-леозойская Западно-Сибирская плиты.

#### ***Основные структурные элементы подвижных поясов***

Подвижные геосинклинальные пояса являются чрезвычайно важным структурным элементом земной коры. Они обычно располагаются в зоне перехода от континента к океану и в процессе своей эволюции формируют континентальную кору. Смысл эволюции геосинклинали заключается в образовании прогиба в земной коре в условиях тектонического растяжения. Этот процесс сопровождается подводными вулканическими излияниями, накоплением глубоководных терригенных и кремнистых отложений. В процессе формирования геосинклиналей возникают частные поднятия, структура прогиба усложняется и за счет размыва поднятий, сложенных вулканитами, формируются граувакковые пески и песчаники. С течением времени появляются рифовые постройки, возникают лагуны, формируются карбонатные толщи, а вулканизм становится все более дифференцированным. Наконец, поднятия разрастаются, происходит своеобразная инверсия прогибов, внедряются гранитные интрузивы и все отложения сминаются в складки. На месте геосинклинального прогиба возникает горное поднятие, перед фронтом которого растут передовые прогибы, заполняемые молассами — грубообломочными продуктами разрушения гор, а в последних развивается наземный вулканизм, поставляющий вулканические продукты среднего и кислого состава — андезиты, дациты, риолиты. В дальнейшем горноскладчатое сооружение разрушается, а так как темп поднятия падает, то ороген превращается в пенепленизированную равнину. Такова вкратце идея геосинклинального развития.

В результате спрединга в океанах происходит наращивание океанской коры (рис. 24.6). Поскольку радиус Земли существенно не меняется, новообразованная кора должна поглощаться и уходить под континентальную, т.е. происходит ее субдукция (погружение). Эти районы отмечены необычайно высокой сейсмической активностью и мощной вулканической деятельностью, наличием островных дуг, окраинных морей, глубоководных желобов. Все эти процессы фиксируют *активную континентальную окраину*, т.е. зону взаимодействия океанской и континентальной коры. Напротив, те участки континентов, которые составляют с частью океанов единую литосферную плиту, как, например, по западной и восточной окраинам Атлантического океана, называют *пассивной континентальной окраиной*. Они лишены всех перечисленных для активной окраины признаков, но, в свою

очередь, характеризуются наличием мощной осадочной толщи, которая формируется над материковым склоном.

Сходство вулканогенных и осадочных пород ранних стадий развития геосинклиналей, так называемой офиолитовой ассоциации с разрезом коры океанского типа, позволило предположить, что последние закладывались на океанской коре и дальнейшее развитие океанского бассейна приводило сначала к его расширению, а затем и к закрытию с формированием мощной континентальной коры и образованием вулканических островных дуг и глубоководных желобов. *В этом состоит сущность геосинклинального процесса, благодаря которому происходит развитие геосинклиналей.*

Исходя из этого под геосинклинальным подвижным поясом (окраинным или межконтинентальным) понимается подвижный пояс протяженностью в тысячи километров, закладывающийся на границе литосферных плит, характеризующийся длительностью проявления разнообразного вулканизма, активного осадконакопления и на конечных стадиях развития превращающийся в горно-складчатое сооружение с мощной континентальной корой. Примерами таких глобальных поясов являются межконтинентальные и окраинно-континентальные. К первым относятся Урало-Охотский палеозойский, Средиземноморский (Альпийско-Гималайский) кайнозойский и Атлантический палеозойский. К окраинно-континентальным поясам относится Тихоокеанский подвижный пояс.

*Орогенный этап* развития подвижных поясов состоит в том, что вначале перед фронтом растущих поднятий возникают *передовые прогибы*, в которых накапливаются мощные толщи тонкообломочных пород с угленосными и соленосными толщами — тонкие молассы. В заключительную стадию горное сооружение растет быстрее, а передовые прогибы как бы «накатываются», смещаются в сторону платформ и заполняются грубообломочной молассой. В самих горных сооружениях возникают *межгорные впадины*. Для орогенно-го этапа характерен наземный андезитовый вулканизм, формируются крупные стратовулканы. Возникают краевые *вулканические пояса*, которые маркируют крупные разломы.

## Лекция 9. Выветривание. Экзогенные процессы на суше.

Коренные (магматические, метаморфические) породы возникли на некоторой, иногда значительной глубине в недрах Земли или на дне морей и океанов.

Оказываясь в совершенно иных условиях в приповерхностной части Земли, они попадают в совершенно иные физико-химические условия и под влиянием различных внешних факторов (атмосферы, гидросферы, биосферы) начинают разрушаться.

### ***Понятие о выветривании***

*Выветривание* — это изменение горных пород любого состава и структуры, которое происходит в поверхностных условиях под совокупным действием физических, химических и биохимических процессов. Под действием этих процессов горные породы и слагающие их минералы в приповерхностной части земной коры преобразовываются.

*Подумайте*, чем процесс выветривания отличается от метаморфизма горных пород?

В процессе выветривания возникают своеобразные образования, которые называются корой выветривания.

Процессы выветривания играют исключительную роль в образовании осадочного материала и предшествуют возникновению подавляющего большинства осадочных горных пород.

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

### ***Физическое выветривание***

#### *1.1. Температурное выветривание*

Механизм температурного выветривания определяется: суточными и сезонными колебаниями температур; разными коэффициентами теплового расширения, сжатия и теплопроводности минералов;

Это приводит к *возникновению напряжений* между минералами и нарушению сил сцепления. Минеральные зерна в разной степени температурного выветривания сжимаются и расширяются, а потому возникают сжимающие и расширяющиеся усилия.

Особенно ярко этот процесс температурного выветривания проявляется среди полиминеральных горных пород, и в частности, среди гранитов, сиенитов, габбро, гнейсах и кристаллических сланцев.

У кварца и кальцита температурный коэффициент линейного расширения в направлении, перпендикулярном тройной оси, в два раза превышает тот же коэффициент в направлении, параллельном ей. Возникающие местные напряжения приводит к разрушению минеральных зерен.

Вследствие этого даже мономинеральные горные породы, такие как кварцевые песчаники, кварциты, известняки, известковые песчаники, мрамора и другие, быстро разрушаются из-за температурных колебаний.

*На интенсивность температурного выветривания влияют:*

цвет горных пород: темноцветные минералы нагреваются и остывают быстрее и больше, чем бесцветные. Поэтому темноокрашенные горные породы быстрее разрушаются.

размеры слагающих ее минеральных зерен. Чем крупнее зерна, тем быстрее они разрушаются.

Процесс температурного выветривания наиболее интенсивно протекает в областях с резкими контрастами температур, сухостью воздуха и слабым развитием или полным отсутствием растительности.

Из-за температурного фактора и при наличии влаги поверхность горных пород начинает шелушиться.

От поверхности отслаиваются чешуи или различной толщины пластины. Этот процесс особенно хорошо выражен на отдельных глыбах или валунах.

Температурное выветривание 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.

Под действием замерзающей воды легко раскалываются трещиноватые и пористые породы.

В жарких районах механическое воздействие на горные породы и их дезинтеграция происходят в результате роста кристаллов солей в капиллярных трещинах и порах. В дневное время поверхность пород сильно прогревается, капиллярная вода притягивается к поверхности и испаряется, а соли, содержащиеся в ней, кристаллизуются. Под давлением растущих кристаллов трещины и поры расширяются.

Особенно сильным разрушающим фактором при механическом выветривании оказывает замерзающая вода.

Сильное механическое воздействие на толщи горных пород оказывают корневая система деревьев, трав, а также животные (муравьи, земляные черви, норные звери).

### ***Химическое выветривание***

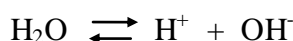
Главными факторами химического выветривания являются вода, кислород, углекислота и органические кислоты.

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. И, следовательно, в данном типе выветривания принимают участие и биохимические процессы.

Важнейшим фактором химического и биохимического выветривания является вода, которая не только растворяет химические элементы и соединения, находящиеся в горной породе, но и обуславливает миграцию наиболее подвижных химических соединений.

### *Окисление*



Диссоциация воды

Ионы  $\text{H}^+$  способны извлекать и удалять из кристаллов различные ионы.

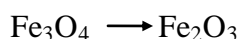
Скорость воздействия на горные породы во время химического выветривания возрастает в том случае, когда в растворе присутствуют углекислота и органические кислоты.

Химическое воздействие на минералы и горные породы оказывают находящиеся в растворенном в воде виде такие ионы, как  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и др. Они замещают заряженные атомы в кристаллах или взаимодействуют с ними, тем самым нарушая единство кристаллической решетки.

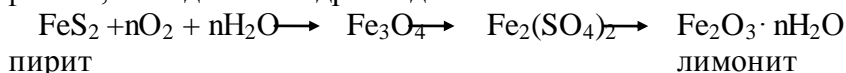
Процессы химического выветривания последовательно происходят в следующих основных химических реакциях: окислении, гидратации, растворении и гидролизе.

Этот процесс наиболее интенсивно протекает в горных породах, содержащих минералы, состоящие из соединений железа(III), марганца.

Например, при окислении магнетит переходит в более устойчивую форму — гематит:



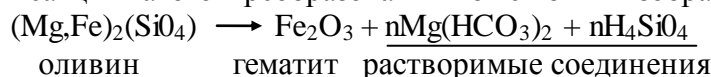
Сульфиды в кислой среде становятся неустойчивыми и постепенно замещаются сульфатами, оксидами и гидроксидами.



Бурый железняк (лимонит) – это сложный полиминеральный агрегат, состоящий из гётита ( $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) и гидрогётита ( $\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

Устойчивый в поверхностных условиях гематит возникает и при выветривании таких минералов, как оливин, пироксены, амфиболы под действием воды, кислорода и углекислоты.

Реакция такого преобразования может быть изображена следующим образом:

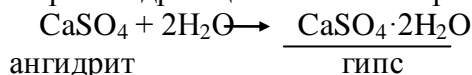


В результате процесса преобразования железосодержащих минералов и их перехода в лимонит многие горные породы, в частности пески, песчаники, глины, мергели, окрашиваются в бурый или охристый цвет, что свидетельствует об окислении включений, содержащих железистые минералы.

### *Гидратация*

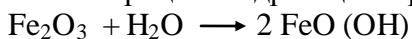
Данный процесс заключается в присоединении воды к веществу. В результате этого осуществляется закрепление молекул воды на поверхности некоторых участков кристаллической решетки.

Примером гидратации является переход ангидрита в гипс:



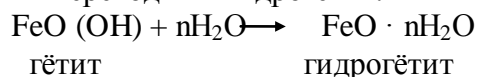
При изменении условий реакция обратима и гидратация превращается в дегидратацию.

Процесс гидратации происходит при переходе гематита в гидроксиды железа.



гематит гётит

Далее гётит переходит в гидрогётит.



### *Растворение*

Горные породы растворяются водами, содержащими углекислоту или органические кислоты.

Особенно интенсивно этот процесс проявляется в осадочных горных породах, которые представлены 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, создающие карстовые формы рельефа.

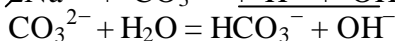
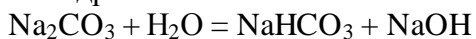
### *Гидролиз*

Сущность этого процесса заключается в разложении минералов и выносе отдельных элементов и соединений и присоединении к оставшимся соединениям гидроксильных ионов и гидратации.

При этом существенным образом нарушается структура кристаллов, которая заменяется совершенно новой.

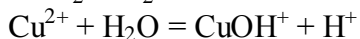
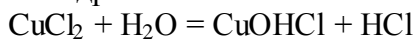
Различают несколько вариантов гидролиза солей:

1. Гидролиз соли слабой кислоты и сильного основания:



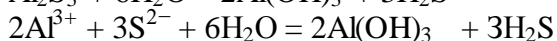
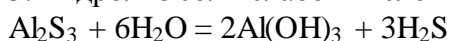
(раствор имеет щелочную реакцию, реакция протекает обратимо)

2. Гидролиз соли сильной кислоты и слабого основания:



(раствор имеет кислую реакцию, реакция протекает обратимо)

3. Гидролиз соли слабой кислоты и слабого основания:



(Гидролиз в этом случае протекает практически полностью, так как оба продукта гидролиза уходят из сферы реакции в виде осадка или газа).

4. Соль сильной кислоты и сильного основания не подвергается гидролизу, и раствор нейтрален.

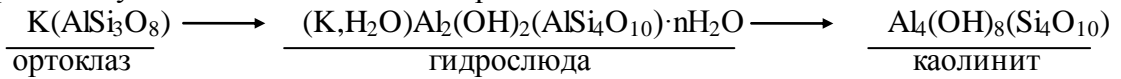
В гипергенных условиях каркасная структура полевых шпатов превращается в слоистую, которая характерна для различных глинистых минералов.

Из кристаллической решетки полевых шпатов выносятся ионы калия, натрия и кальция (в виде  $K_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $CaHCO_3$ ,  $CaCO_3$ ) в результате их взаимодействия с углекислотой.

Процесс идет в условиях влажного и жаркого климата.

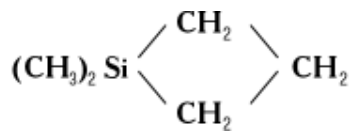
Если климат сухой, то карбонаты остаются в глинах.

Стадии разложения полевых шпатов в условиях влажного теплого климата. В этих условиях полевые шпаты вначале переходят в гидрослюда, а затем в более устойчивый в гипергенных условиях глинистый минерал каолинит:

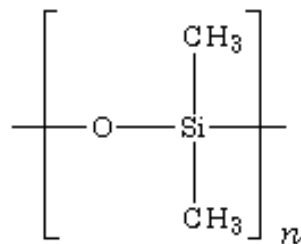


Судьба кремнезема в этом процессе:

$SiO_2$  выносятся в форме истинных растворов или комплексных кремнийорганических соединений (соединения, в которых Si связан с углеродом, как, например, в силанах:  $(CH_3)_4Si$ ,  $CH_3SiH_2SiH_2CH_3$ ,  $(CH_3)_3SiCl$ ).



Структурная формула силана



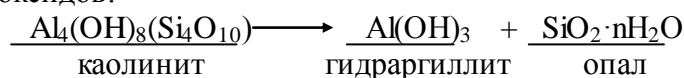
Структурная формула силикона (кислородсодержащее кремнийорганическое соединение).

Значительная часть кремнезема в водах сравнительно быстро переходит в коллоидальное (от греч. «колла» — клей) состояние и выпадает из раствора в виде аморфного гидратированного осадка  $SiO_2 \cdot nH_2O$ .

Это аморфный минерал при высыхании и частичной потере воды превращается в опал. Но часть кремнезема остается в связанном состоянии в каолинитовой молекуле.

[Опал – аморфный диоксид кремния  $SiO_2 \cdot nH_2O$  Формы выделения: гроздьевидные или почковидные агрегаты аморфного кремнезёма, выполнение трещин. По происхождению осадочный, гипергенный или низкотемпературно-гидротермальный. Встречается в виде прожилок, заполняя трещины вмещающих пород].

В условиях влажного тропического и экваториального климата при большом количестве атмосферных осадков, высоких среднегодовых температурах и большом растительном опаде выветривание горных пород на каолинитовой стадии не прекращается и происходит дальнейшее разложение каолинитовой молекулы до свободных оксидов и гидроксидов:



Гидрагиллит -  $Al(OH)_3$  - или гиббсит — один из главных рудоносных минералов, представляющих алюминиевую руду.

Непосредственно над материнскими выветрелыми породами располагаются латериты, главной составной частью которых являются полуторные оксиды алюминия и железа ( $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$ ) с небольшой примесью кремнезема ( $SiO_2$ ).

Переотложенные и преобразованные латериты называют бокситами.

[Латерит - своеобразная красноцветная горная порода, образуется в результате выветривания алюмосиликатов в условиях жаркого и влажного климата в зонах переменного влажных субэкваториальных, тропических и частично субтропических географических поясов. Латерит — сильнопористая твердая кора выветривания, состоящая из каолина, окислов железа, алюминия].

### ***Биохимическое выветривание***

В химическом разложении первичного вещества принимают участие и химические кислоты и соединения, образующиеся в результате жизнедеятельности организмов.

Таким образом, выявляется величайшая роль живого вещества в преобразовании горных пород.

Впервые понятие о живом веществе в науку ввел акад. В. И. Вернадский. Он считал, что живое вещество является аккумулятором и перераспределителем солнечной энергии.

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 саму породу. К числу извлекаемых элементов относятся P, S, K, Ca, Mg, Na, Sr, B, Fe, Si.

При анализе зольного остатка растений выявлено, что в растениях содержится в десятки раз больше фосфора и серы, чем в субстрате, в несколько раз больше Ca, Mg, Sr и ряда микроэлементов.

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.

Часть организмов в процессе своей деятельности создают кислую среду (углекислота и органические кислоты), выделяя органические кислоты, под действием которых ускоряется процесс выветривания (значительно усиливается растворение и гидролиз породообразующих минералов).

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

## **Лекция 10. Понятие о гравитационных процессах. Геологическая деятельность ветра.**

### ***Понятие о гравитационных процессах.***

### 1.1. Место гравитационных процессов в экзогенных процессах



#### Коллювий.

Коллювий, коллювиальные отложения (лат. *colluvio* — скопление, беспорядочная груда) — обломочный материал, накопившийся на склонах гор или у их подножий путем перемещения с расположенных выше участков под влиянием силы тяжести. Коллювиальные отложения состоят из разнообразных по составу и размеру обломков пород: глыб, щебня, песков, алевритов, глин.

Для них характерны плохая сортированность материала, неясно выраженная слоистость и очень изменчивая мощность.

Большую роль в гравитационных процессах кроме *гравитации* играют подземные и поверхностные воды. Насыщая рыхлые образования, они способствуют их скольжению по склону в виде вязких или жидких потоков.

В зависимости от процесса, вызвавшего накопление, выделяют:

- коллювий обрушения,
- коллювий оползания,
- коллювий смывания (делювий).

#### Коллювий обрушения

*Обваливание* и *обсыпание* преобладают на склонах, крутизна которых больше крутизны естественного откоса ( $35—37^\circ$ ).

Выше снеговой границы обвалы наравне с лавинами являются единственными склоновыми процессами.

Если размер обломков имеют объем более  $10 \text{ м}^3$ , процесс называется *обваливанием*, если меньше — *обсыпанием*.

Конус выноса таких отложений имеет веерообразную форму и ограниченное пространство.

Представляет собой несортированный, неокатанный и неслоистый (нестратифицированный) материал.

#### Обвальные отложения

Обвалы, особенно крупные, происходят редко и стремительно, однако подготовка к ним может занимать многие тысячелетия.

Обвальные отложения (дерупций) состоят из больших масс не сортированного не стратифицированного материала местных пород однородного состава и небольшого количества мелкозема (алеврита)

алеврит — рыхлая мелкообломочная осадочная порода, состоящая преимущественно из минеральных зерен размером  $0,01 — 0,1 \text{ мм}$  (по др. авторам.  $0,005 — 0,05 \text{ мм}$ ).

Размер самых крупных обломков может достигать в диаметре десятков метров. Осыпные отложения



Осыпные отложения (десерпций) формируются в процессе смещений больших масс в виде конусов рыхлого материала.

В отличие от обвалов, процесс накопления осыпных отложений идет постоянно, но неравномерно во времени.

Содержат большее, по сравнению с обвалами, количество мелкозема, обычно замытого. При этом в верхней части осыпи остается более мелкий, щебенчатый или даже дресвяный материал, а на периферии конуса — крупные глыбы, поскольку по инерции они скатываются дальше мелких.

#### Провальные образования

Карстовые процессы - процессы выщелачивания водорастворимых горных пород подземными и атмосферными водами и образования в них различных пустот.

Предварительным условием провальных процессов является наличие подземных полостей или пустот, которые возникли вследствие выноса подземными водами минеральных частиц в растворенном или во взвешенном состоянии.

Выщелачиваются соленосные толщи (хлориды), гипс, мел, известняк, мергель, доломит.

На месте провалов возникают ямы, колодцы, котловины, т.е. отрицательные формы рельефа.

#### Коллювий оползания

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 отклоняет деревья вниз по склону («пьяный» лес). Может нарушиться линейность шоссе и железнодорожного полотна.

Оползень — сползание, связанное с отрывом масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести.

#### Солифлюкционные отложения – один из видов коллювия оползания

Солифлюкционные отложения (от лат. *solum* — почва и *fluctio* — истечение), образуются в результате жидкого или вязкотекучего движения грунта, перенасыщенного водой и богатого коллоидами, на склонах в 2 - 3° по мерзлой поверхности еще не протаявшего основания.

Скорости обычно измеряются несколькими см или мм в год.

Солифлюкция наиболее эффективно развивается в горных районах выше уровня развития древесной растительности и в областях развития многолетне-мерзлых грунтов.

#### Курумы

Курумы (древне-тюркское *gorum* — «каменистые россыпи») — вид земной поверхности сложного строения, представляющий собой сомкнутую группу каменных глыб крупного размера с острыми обломанными краями, расположенную на нерасчлененной подстилающей поверхности различного наклона и имеющую способность перемещаться.

Место, где курумы образуются, иногда называют «областью питания» курума. Со временем курум может разрастаться, увеличиваясь в размерах, двигаться по подстилающей его поверхности и занимать все большую и большую площадь.

#### Коллювий смывания (делювий)

Делювиальные отложения формируются мелкими струйками и ручейками талых или дождевых вод, через рытвины осуществляющих «плоскостной» смыв и выколачивание рельефа. Накапливаются у подножий склонов. Толщина накоплений может составлять десятки метров.

*Сели*, или грязекаменные потоки, по своей природе похожи на солифлюкцию, но перемещаются быстрее.

Причины селей:

Наличие гористой местности.

Наличие разрушенных пород, образующих русло водотока.

Наличие редких и сильных ливней при малом в общем годовом количестве осадков.

*Лахары* возникают на склонах вулканов, которые покрыты слоем пепла, во время сильных грозных ливней.

#### ***Экологические последствия гравитационных процессов***

Неожиданность возникновения и молниеносность проявления, например обвалов и оползней, приводят к катастрофам, заранее предупредить о появлении которых не бывает времени.

Необходим длительный экологический мониторинг за режимом всех факторов, вызывающих возникновение гравитационных процессов.

Образование трещин на краю склонов, их рост, наличие водоупорного горизонта служат хорошими предвестниками обвальных и оползневых процессов.

#### ***Меры по борьбе с оползнями***

Пассивные, запрещающие: подрезать оползневые склоны, производить взрывные работы вблизи оползневой зоны, уничтожать лес, сбрасывать на оползневые склоны поверхностные и подземные воды.

Активные меры, обуславливающие ликвидацию или снижение причин развития оползней.

Осушение горных пород в массиве данного склона с помощью дренажа.

Укрепление склонов с применением подпорных стенок или свайшпонок. Свайшпонки – это ж/б или металлические столбы, которые вставляют в предварительно пробуренные на оползне скважины;

Проведение разгрузочных работ в активной зоне (полный съём оползневых масс, срезка активной части оползня, очистка скальных откосов, террасирование и уполаживание склона, общая планировка склона) и пригрузки в пассивной зоне (отсыпка и отвал грунта).

Защита от селей

Фитомелиоративные: посадка лесонасаждений и восстановление травянистого покрова на склонах,

Агротехнические: обработка земли поперек максимального наклона склонов, предотвращение эрозии почв,

Гидротехнические: строительство инженерных сооружений для предупреждения обвалов, оползней, а также строительство дамб, плотин для уменьшения продольного уклона русла.

#### ***Геологическая деятельность ветра***

Геологическая работа ветра - это изменение поверхности земли под влиянием движущихся воздушных масс. Явления, связанные с деятельностью ветра, носят название эоловых процессов.

Чем выше скорость ветра, тем значительнее производимая им работа:

Ветер силой 3—4 балла (скорость ветра 4,4 — 6,7 м/с) несет пыль,

5—7-балльный ветер (скорость 9,3 — 15,5 м/с) переносит песок,

8-балльный (скорость 18,9 м/с) — галька и гравий.

Во время сильных бурь и ураганов, (скорость ветра - от 22,5 до 58 м/с) могут перемещаться и переноситься мелкие валуны.

Наиболее ярко эоловая деятельность проявляется в пустынях, которые занимают около 20 % поверхности континентов.

Пустынные ландшафты характеризуются сочетанием сильных ветров с малым количеством выпадающих атмосферных осадков и резкими колебаниями суточных температур.

Все эти факторы очень хорошо способствуют интенсивному физическому выветриванию.

Не менее интенсивно ветровая деятельность протекает на открытых выровненных пространствах: на полях, на побережьях океанов, морей, в широких речных долинах, не покрытых растительностью.

Смерчи (торнадо)

Наибольшие скорости ветра возникают в грозовых облаках. На краях грозовых облаков струи воздуха, закручиваясь, поднимаются вверх, создавая своеобразный нанос. Они образуют *смерч* — вращающуюся воздушную воронку, которая суживается к земной поверхности. Скорость ветра в воронке достигает нескольких сотен километров в час. Самая большая скорость, зафиксированная в смерче, оказалась равной 1300 км/ч.

Геологическая работа ветра включает:

разрушение горных пород (это дефляция и коррозия);

перенос или транспортировку разрушенного материала;

отложение (это аккумуляция)

создание своеобразной формы рельефа, которая называется эоловой.

Дефляция

Развевание рыхлых или слабосцементированных пород происходит только на обнаженной поверхности земли.

Даже слабый растительный покров защищает почву от развевания.

Причины развития дефляционных процессов в аридных областях:

Испарение засоленных вод и отложение солей на поверхности.

Кристаллизация солей и разрыхление верхнего слоя почвы растущими кристаллами. Почва превращается в солончаковую пыль.

Возникновение мощных турбулентных потоков восходящего воздуха в жаркие безветренные дни над солончаковыми котловинами вследствие разницы в нагреве различных элементов поверхности и разной экспозиции склонов. Они выносят легкий рыхлый материал, освобождая пространство для следующей дефляции.

Коррозия

Коррозия производит разрушение обнаженных горных пород песчаными частицами и иногда мелким щебнем, которые переносятся ветрами.

Коррозия выражается в обтачивании, шлифовании, высверливании поверхности горных пород, при этом мельчайшие трещины расширяются. Этот процесс очень похож на применяемый в практике метод чистки каменных облицовок зданий и набережных пескоструйными аппаратами.

Эоловая транспортировка

Объем переносимой ветром пыли и песка огромен. Согласно подсчетам

А.П.Лисицына, ежегодно общее количество переносимого эолового материала с суши в океаны превышает 1,6 млрд т.

При скорости ветра до 7 м/с около 90 % песчаных частиц переносится в слое 5 — 10 см от поверхности Земли. При сильных ветрах до 20 м/с песок поднимается на несколько метров. Сильные ветры и ураганы поднимают песок на десятки метров и перекачивают гальки и плоский щебень диаметром более 5 см.

Например, пыль из пустынь Африки сильными ветрами переносится на запад на расстояние 2000 — 2500 км и участвует в строении осадков Атлантического океана.

Известны случаи, когда эоловая пыль из пустыни Сахары переносилась через Средиземное море и была обнаружена в некоторых странах Западной Европы.

Замечено, что частицы чернозема, подхваченные ветром на Украине, обнаруживаются затем в странах Балтии, в Балтийском море и даже в Германии.

### Эоловая аккумуляция

Аккумуляция (накопление) эолового материала приводит к формированию эоловых отложений (их разновидности: глинистые, пылеватые, песчаные).

Осадки с большими размерностями эоловых частиц возникают вблизи от областей дефляции и корразии.

Среди эоловых отложений выделяют два главных генетических типа: эоловые пески и эоловые лёссы.

#### Эоловые пески

Хорошо отсортированы.

Зерна хорошо окатаны.

Преобладает матовая поверхность граней.

Размер зерен преимущественно 0,25 — 0,1 мм.

Самый распространенный минерал – кварц.

Менее стойкие минералы полевые шпаты и слюды не выдерживают длительной транспортировки эоловым путем, истираются и исчезают.

Цвет эоловых отложений различен. Преобладают желтая, серая, белая, реже красноватая окраски.

Эоловые отложения характеризуются наклонной, косой и перекрещивающейся слоистостью, по которым можно определить преобладающее направление их транспортировки.

#### *Лёсс*

Лёсс (от нем. «лёсс» — желтозем) — это своеобразный генетический тип континентальных отложений. Он представляет собой мягкую, пористую породу желтовато-бурого, желтовато-серого цветов, которая на 90 % состоит из пылеватых зерен кварца, глинозема и некоторых устойчивых к выветриванию минералов.

Характерной особенностью лёссов является:

сложение их пылеватыми частицами при подчиненном значении глинистой и тонкопесчаной фракций и полным отсутствием более крупных частиц;

отсутствие слоистости и однородность по всей толще;

наличие тонко рассеянного карбоната кальция и известковых стяжений;

разнообразие минерального состава пылеватых частиц (кварц, полевой шпат, роговая обманка, слюда);

пронизанность лёссов многочисленными короткими вертикальными трубчатыми микропорами; повышенная пористость породы, в ряде случаев достигает 70 %;

высокая просадочность под нагрузкой и при увлажнении;

столбчатая вертикальная отдельность в естественных обнажениях.

#### *Эоловые формы рельефа*

*Барханами* называют асимметричные серповидные в плане песчаные формы, расположенные перпендикулярно господствующему направлению ветра

Эоловая рябь покрывает наветренные стороны барханов и выровненные участки песчаных отложений

На выровненных побережьях океанов, морей и крупных озер, где происходит принос песка на пляжи волнами, а также на пойменных и древних террасах рек возникают своеобразные формы песчаного рельефа - дюны -асимметричные песчаные валы или гряды, поперечные господствующему ветру.

#### *Экологическая роль эоловой деятельности*

В результате эоловой деятельности уничтожаются плодородные земли, выносятся и засыпается почва, разрушаются и засыпаются хозяйственные и жилые постройки, транспортные коммуникации, массивы зеленых насаждений и т. д.

Другие возможные негативные последствия включают в себя: снижение видимости, влияющее на авиа- и автотранспорт; снижение количества солнечного света, достигающего поверхности Земли; неблагоприятное воздействие на дыхательную систему живых организмов.

Пыль также может принести пользу в местах осаждения:

Сельва Центральной и Южной Америки получает большинство минеральных удобрений из Сахары,

восполняется недостаток железа в океане,

пыль на Гавайях помогает расти банановым культурам.

На севере Китая и на западе США почвы с осадками древних бурь, называемые лёссом, очень плодородны, но также являются источником современных пылевых бурь, при нарушении связывающей почву растительности.

Лёсс является материнской породой, на которой формировались черноземы степей России.

Защитные мероприятия от негативных последствий эоловой деятельности

Эоловая деятельность обычно наносит вред хозяйству и причиняет ущерб здоровью человека. В результате эоловой деятельности уничтожаются плодородные земли, выносятся и засыпаются почва, разрушаются и засыпаются хозяйственные и жилые постройки, транспортные коммуникации, массивы зеленых насаждений и т. д. (рис. 10.11).

Как свидетельствуют археологические и геологические данные, значительная часть современной Сахары — Ливийская пустыня — немногим более 5 тыс. лет назад была плодородным краем. Здесь располагались озера, текли полноводные реки. Однако нарушение экологического равновесия привело к тому, что наступающие с юга пески превратили ее в пустыню. Ряд районов Средней Азии, Закаспия и Калмыкии в настоящее время подвергается нашествию песков. Пески засыпают сады и огороды, дома, водоемы. Понижается уровень грунтовых вод, и люди вынуждены уходить с обжитых мест. Интенсивно развивающаяся дефляция на Украине уничтожает огромные площади посевов. В поселениях, расположенных на окраинах современных пустынь, вследствие корразии быстро мутнеют стекла, стены домов покрываются царапинами и трещинами, на каменных фундаментах и памятниках появляются бороздки.

Разработаны специальные меры по защите от эоловой деятельности. Пассивные методы борьбы направлены на закрепление эоловых отложений. На движущихся барханах, дюнах и на всем пространстве перемещающихся песков высаживают деревья и кустарники. Корни их скрепляют рыхлые образования, а сам растительный покров защищает коренные породы от прямого действия ветра.

К числу активных мер защиты от эоловой деятельности относятся те, благодаря которым ослабляется ветровое воздействие. На пути преобладающего направления ветра строятся преграды, которые ослабляют силу ветра и изменяют его направление. Для борьбы с ветрами-суховеями создаются специальные посадки — лесозащитные полосы. Они в значительной степени уменьшают силу ветра, ограждают поля и сады от песчаных потоков и снижают разрушающую (дефляционную) способность ветровых потоков.

## **Лекция 11. Геологическая деятельность временных и постоянных поверхностных водотоков. Образование озер и болот.**

*Геологическая деятельность плоскостного стока и временных русловых потоков. Геологическая деятельность рек. Происхождение озерных впадин и типы озер. Происхождение и типизация болот*

***Геологическая деятельность плоскостного стока и временных русловых потоков***

Временные водные потоки бывают плоскостными и русловыми.

### 1.1. Плоскостной склоновый сток (временный)

Он приводит у формированию делювия и обеспечивается силой воды тонких струек или пелены.

Максимальные мощности делювия 15-20 метров и более, а ширина шлейфа может достигать сотни метров.

Под влиянием плоскостного смыва постоянно уменьшается крутизна склонов.

Наиболее благоприятные условия для делювиального процесса:

Наличие кратковременных сезонов выпадения дождей или таяния снега.

Наличие склонов.

Наличие рыхлых продуктов выветривания.

Это происходит в пределах равнинных степных районов умеренного и субтропического поясов и зоне сухих саванн.

### 1.2. Русловый склоновый сток (временный)

Временные потоки могут образовывать русла - продолговатые углубления в земной поверхности, ложа, по которым текут водные потоки.

Среди временных русловых потоков выделяются:

Временные потоки оврагов равнинных территорий.

Временные горные потоки.

#### Овраги

*Ovrag* — форма рельефа в виде относительно глубоких и крутосклонных незадернованных ложбин, образованных временными водотоками.

Овраги возникают на возвышенных равнинах или холмах, сложенных рыхлыми, легко размываемыми породами, а также на склонах балок. Длина оврагов от нескольких метров до нескольких километров.

На склоне образуется рытвина или промоина. Постепенно на всем протяжении ее происходит интенсивная глубинная эрозия. Эта стадия оврагообразования называется регрессивной или попятной эрозией.

Помимо роста оврага вверх, происходит энергичная эрозия вниз по склону до тех пор, пока его устье не достигнет реки, озера или моря, куда впадает овражный поток.

Уровень реки или какого-либо бассейна, в который выходит овраг, носит название базиса эрозии.

В последнюю стадию уменьшается глубинная эрозия, сглаживается обрыв вершины, склоны оврага постепенно осыпаются, приобретают угол устойчивого естественного откоса и зарастают растительностью.

В ряде районов овраги, поверхности которых сложены рыхлыми породами, очень быстро разрастаются. В результате возникает сложная ветвящаяся овражная система, захватывающая огромные площади.

#### Временные горные потоки

Верховья горных склонов представлены системой множества сходящихся рытвин и промоин, образующих водосборный бассейн. Из этого бассейна вниз по склону вода движется уже в едином русле, которое называется каналом стока.

В период выпадения дождей или снеготаяния все промоины и канал стока заполняются водой, которая с большой скоростью движется вниз по склону. При этом движении вода захватывает обломочный материал, который усиливает разрушительную работу потока.

При выходе потока на подгорную равнину в канале стока скорость течения резко уменьшается, откладывается обломочный материал, образуя конус выноса в виде предгорного шлейфа. Отложения конусов выноса образуют генетический тип континентальных отложений и названы пролювием.

## *Геологическая деятельность рек*

Питание рек бывает: снеговое (в степях, где нет собственной речной сети), ледниковое (горные реки), дождевое, смешанное, за счет подземных вод.

Для каждой реки в течение года характерно чередование периодов высокого и низкого уровня воды. Состояние низкого уровня называется меженью, а высокого – паводком или половодьем.

Движение воды в реках всегда турбулентное (беспорядочное, вихревое).

В поперечном сечении потока максимальные скорости наблюдаются в наиболее глубокой части потока – стержне, меньше – у берегов.

Речные потоки производят донную, или глубинную эрозию, направленную на врезаание потока в породы, слагающие дно русла, и боковую эрозию, ведущую к подмыву берегов и, в целом, к расширению долины.

На первой стадии геологической деятельности реки характерно преобладание глубинной эрозии и каньонообразный, или V - образный, поперечный профиль долины, называется стадией морфологической молодости.

Вторая стадия называется морфологической зрелостью. Ей соответствует выработанный продольный профиль реки, приближающийся к кривой равновесия, и широкий плоскостной U - образный поперечный профиль долины с хорошо развитой поймой.

Выработанный продольный профиль реки, приближающийся к кривой равновесия. При несущественных изменениях климата и тектонических движений земной коры совместное действие смежных рек (с системой протоков) и склонового смыва приводит к понижению и выравниванию рельефа. Так возникает выровненная поверхность суши, названная американским ученым В. М. Дэвисом - пенеплен, то есть почти равнина: волнистая или холмистая, иногда с отдельными возвышенностями - останцами, сложенными очень твердыми породами.

#### Транспортная деятельность рек

Водный поток при своем движении захватывает продукты разрушения горных пород и переносит их:

- а) волочением по дну,
- б) во взвешенном состоянии,
- в) в растворенном виде.

Влекомые по дну и взвешенные частицы принято называть *твердым стоком рек*.

Грубый обломочный материал усиливает донную эрозию, но и сам измельчается, истирается и окатывается, образуя гальку, гравий, песок.

#### Аккумуляционная деятельность рек

Уже на первых стадиях развития реки при явном преобладании процессов эрозии и переноса на отдельных участках частично откладывается обломочный материал. Отложения, накапливающиеся в речных долинах в результате деятельности водного потока, называются аллювиальными отложениями или аллювием.

#### Строение речной долины

В основании аллювиальных отложений каждой террасы всегда располагается цоколь, сложенный коренными горными породами. В зависимости от высотного положения цоколя и мощности аллювия выделяются три типа террас.

Эрозионные террасы (размыта), в которых почти вся террасовидная площадка и уступ слагаются коренными породами, и лишь местами на поверхности сохраняется аллювий. Они образуются в молодых горных сооружениях в результате интенсивных тектонических движений.

Аккумулятивные террасы, в которых площадка и уступ полностью сложены аллювиальными отложениями, а цоколь из коренных пород всегда ниже уровня реки и никогда не обнажается. Они образуются в пределах низменных платформенных равнин, в межгорных и предгорных впадинах.

Цокольные или смешанные, эрозионно-аккумулятивные террасы характеризуются тем, что в нижней части уступа выходит на поверхность цоколь, а верхняя часть уступа и

площадка сложены аллювием. Они образуются в переходных зонах от поднятий к погружениям, реже к равнинам.

#### Устьевые части рек

Различают два типа устьев рек – дельты и эстуарии.

Дельты – это плоские низменные равнины, полого наклоненные в сторону моря, часто имеющие форму, близкую к треугольной. В их пределах река распадается на многочисленные радиально расходящиеся рукава и потоки, образуя аллювиально-дельтовые равнины.

Дельты образуются при относительно небольшой глубине моря, обилии обломочного материала, отсутствии приливов и отливов и сильных вдольбереговых течений и сравнительно медленных колебательных тектонических движений.

#### *Отложения дельт*

В речных дельтах встречаются различные по своему составу и генезису отложения: аллювиальные отложения русловых потоков (на равнинах – пески и глины, более грубый материал – в горах);

озерные отложения, в отшнурованных руслах (глинистые осадки, богатые органическим веществом);

болотистые отложения (торфяники, на месте зарастающих озер);

морские осадки.

#### *Эстуарии*

Эстуарии – воронкообразные заливы, глубоко вдающиеся в долину реки.

Для образования эстуариев благоприятны условия там, где наблюдаются приливы и отливы, вдольбереговые течения и прогибание земной коры.

Во время приливов море далеко вдается в устьевые части рек, а во время отливов морская вода вместе с речной образуют мощный поток, движущийся со значительной скоростью. При этом обломочный материал, принесенный рекой, выносится в море, где подхватывается береговыми течениями.

#### *Лиманы*

С эстуариями по форме сходны лиманы – расширенные устья рек, затопленные водами моря, не имеющие приливов и отливов, и превращенные в заливы. Их образование связано с прогибанием земной коры в устьевых частях рек.

### ***Происхождение озерных впадин и типы озер***

Древнейшие и самые глубокие из ныне существующих озер возникли под влиянием тектонической активности.

Тектонические процессы проявляются по-разному.

Например, Каспийское море приурочено к прогибу на дне древнего моря Тетис.

В неогене произошло поднятие, в результате которого обособилась Каспийская впадина.

Тектоническая активность часто приводит к образованию разломов (трещин в земной коре), которые могут превратиться в озерные котловины. Такое происхождение имеют несколько озер в пределах Восточно-Африканской рифтовой системы. К грабенам приурочен также Байкал, вмещающий крупнейшую в мире массу пресной воды (23 тыс. куб. км), в Сибири.

Вулканическая деятельность приводит к образованию разнообразных озерных котловин - от небольших кратеров округлой формы с низкими бортами (мааров) до крупных глубоких кальдер, формирующихся при излиянии магмы через боковой кратер, расположенный вблизи вершины вулкана, что приводит к обрушению вулканического конуса.

### ***Происхождение и типизация болот***

Болото (также топь, трясина, зыбкое место) — участок суши, характеризующийся избыточным увлажнением,



повышенной кислотностью  
низкой плодородностью почвы,  
выходом на поверхность стоячих или проточных грунтовых вод.

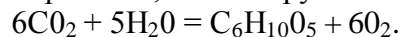
Для болота характерно отложение на поверхности почвы неполно разложившегося органического вещества, превращающегося в дальнейшем в торф. Слой торфа в болотах не менее 30 см, если меньше, то это заболоченные земли.

Торф представляет собой сложный комплекс продуктов разложения растений в виде остатков растительных тканей, различных промежуточных продуктов разложения растений, гумусовых (гуминовые кислоты) и минеральных веществ.

#### *Образование болот*

Непременным условием образования болот является постоянная избыточная влажность. Одна из причин избыточной увлажнённости и образования болота состоит в особенностях рельефа — наличие низин, куда стекаются воды осадков и грунтовые воды; на равнинных территориях отсутствие стока — все эти условия приводят к образованию торфа.

Главным источником накопления торфа и угля служит растительная клетчатка, образующаяся за счет крахмала, синтезируемого зелеными растениями.



Для превращения растительных остатков в торф необходимы особые условия, препятствующие их полному окислению:

Процесс изменения перегнивающей растительной массы в основном сводится к обугливанию, т. е. к постепенному выделению свободного углерода, который вместе с гумусом окрашивает растительную массу в бурый цвет. Так возникает торф.

#### *Типы болот*

В зависимости от условий водно-минерального питания болота подразделяют на:

1. Низинные (эвтрофные) — тип болот с богатым водно-минеральным питанием, в основном за счёт грунтовых вод. Расположены в поймах рек, по берегам озёр, в местах выхода ключей, в низких местах. В районах с умеренным климатом — это часто лесные (с берёзой и ольхой) или травяные (с осоками, тростником, рогозом) болота.

2. Верховые (олиготрофные) — расположены обычно на плоских водоразделах, питаются только за счёт атмосферных осадков, где очень мало минеральных веществ, вода в них резко кислая, растительность — господствуют сфагновые мхи, много кустарничков и трав; встречаются болотные формы лиственницы и сосны, карликовые берёзки. Из-за накопления торфа поверхность болота со временем может стать выпуклой.

Переходные (мезотрофные) — по характеру растительности и умеренному минеральному питанию находятся между низинными и верховыми болотами. Из деревьев обычны берёза, сосна, лиственница. Травы те же, что и на низинных болотах, но не так обильны; характерны кустарнички; мхи встречаются как сфагновые, так и зелёные.

Они образуются по окраинам низинных болот, встречаются в притеррасной части поймы на поверхности надлуговых террас, в понижениях на водоразделах, где имеется подток слабоминерализованных грунтовых вод и т. п.

## **Лекция 12. Историческая геология**

### ***Задачи исторической геологии***

Историческая геология в хронологическом порядке рассматривает геологическое прошлое Земли.

Геологическим наблюдениям доступна пока *земная кора*.

Для восстановления истории земной коры решаются следующие задачи:

Определение возраста горных пород. Включает изучение состава, места и времени образования пластов горных пород и их корреляцию. Ее решает раздел исторической геологии - стратиграфия.

Восстановление физико-географических условий земной поверхности прошлого. Рассматривает - климат, рельеф, развитие древних морей, рек, озер и т.д. в прошлые геологические эпохи. Все эти вопросы рассматривает палеогеография.

Восстановление тектонических движений и различных тектонических структур. Тектонические движения изменяют первичное залегание горных пород. Они происходят вследствие горизонтальных или вертикальных движений отдельных блоков земной коры. Определением времени, характера, величины тектонических движений занимается геотектоника. Тектонические движения сопровождаются проявлением магматической деятельности. Время и условия образования магматических пород восстанавливает петрология.

Определение строения и закономерностей развития земной коры. Решается на основе анализа и синтеза результатов решения первых трех задач.

Все основные задачи тесно связаны между собой и решаются параллельно с помощью различных методов.

### ***Методы определения возраста горных пород***

Изучением продолжительности и последовательности геологических событий занимается геохронология (от греч. *geo+chronos+logos* – земля+время+учение). Она в свою очередь подразделяется на *абсолютную и относительную*.

Абсолютная геохронология устанавливает время возникновения горных пород и других геологических явлений в астрономических единицах (годах).

Абсолютная геохронология

Абсолютные датировки были «подвешены» к геохронологической шкале много позже, когда появились радиометрические, а затем и другие методы определения абсолютного возраста. Эти методы относятся как бы к другой епархии — соответствующие анализы проделывают химики и физики, а вовсе не геологи с палеонтологами. Анализы эти дороги и сложны, и делают их достаточно редко. Да и не нужно делать их часто. Достаточно один раз точно датировать каждую стратиграфическую границу, чтобы затем легко переводить «нормальный», то есть относительный, определенный по флоре-фауне возраст в столь любимые читателями научно-популярных изданий миллионы лет.

Проблема в том, что все эти физико-химические методы пока еще не очень точны. Вот что написал в 1986 году в журнале «Знание-Сила» один из крупнейших российских стратиграфов Сергей Викторович Мейен:

*«Еще в начале тридцатых годов в одном из авторитетных стратиграфических руководств было сказано, что по разным методам подсчета возраст земной коры получается от 40 миллионов до 7 миллиардов лет. Такой разброс цифр, конечно, обесценивает их».*

Но еще более показательна другая цитата:

*«Теперь мы знаем, что весь фанерозой продолжался примерно 570 миллионов лет... ошибка измерений для начала палеозоя составляет десять—пятнадцать миллионов лет».*

Действительно, по шкалам образца 80-х годов XX века абсолютный возраст границы протерозоя и палеозоя оценивался как 570 млн лет с ожидаемой ошибкой не более 15 млн лет, то есть 555–585 млн лет.

Однако шкала образца 2004 года (см. в предыдущем разделе Глобальную геохронологическую шкалу палеозойской эры) дает датировку 542 плюс-минус 1 млн лет! Таким образом, если считать нынешнюю шкалу правильной, приходится признать, что в 1986 году ошибка составляла не 10-15, а целых 28 миллионов лет! За два десятилетия интенсивного развития абсолютной геохронологии нижняя граница раннего кембрия сме-

стилась на величину, равную (по современным представлениям) продолжительности всей раннекембрийской эпохи!

При этом, заметьте, изучение палеонтологии раннего кембрия шло своим чередом, кембрий оставался кембрием, археоциаты — археоциатами, и, если честно, специалистам по кембрию от всех этих пертурбаций ни жарко, ни холодно. Но теперь, я думаю, читателю легче понять, почему палеонтологи больше доверяют своим периодам, эпохам, векам, горизонтам и свитам, чем пресловутым «миллионам лет».

Есть два фундаментальных принципа (фактически - это аксиомы, принимаемые без доказательства), которыми пользуются геологи при изучении истории. Во-первых, это принцип Стено, или закон напластования: если один слой (пласт) горных пород лежит на другом, то верхний слой образовался позднее, чем нижний. Во-вторых - принцип Гексли, или закон фаунистических и флористических ассоциаций: слои, содержащие ископаемые остатки одних и тех же видов животных и растений, образовались в одно и то же время.

Методы определения абсолютного возраста

1. Радиометрический метод. Радиоактивный распад элементов (их нестабильных изотопов), например,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ , идет с постоянной скоростью и не зависит ни от каких внешних воздействий. Это своего рода «атомный часовой механизм», позволяющий измерять возраст интересующего нас геологического объекта.

Экспериментально была выявлена скорость распада нестабильных изотопов (обычно ее характеризуют периодом полураспада, т.е. временем, в течение которого распадается половина атомов данного нестабильного изотопа).

Период полураспада обозначается  $T_{1/2}$ .

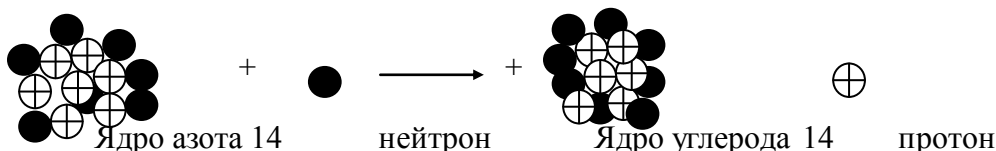
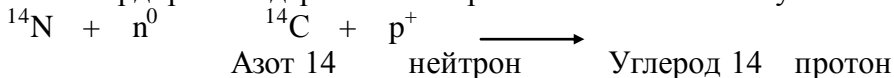
*Рассмотрим примеры.*

Определение абсолютного возраста заключается в том, чтобы найти отношение массы вновь образованного химического элемента к массе материнского изотопа.

Отсчет времени в «атомных часах» начинается сразу же после кристаллизации данного минерала, который все последующее время вел себя как замкнутая система и сохранял все продукты распада и то количество исходного материнского изотопа, которое осталось после распада.

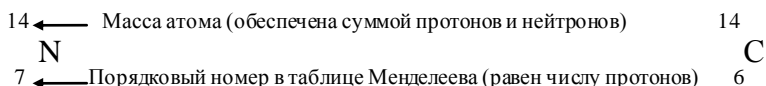
Радио-углеродный метод. Он используется для определения абсолютного возраста самых молодых отложений (не старше 100 тысяч лет), особенно для сохранившихся в них органических материалов. Это связано с тем, что  $T_{1/2}$  изотопа  $^{14}\text{C}$  небольшой и равен 5730 лет.

Радиоактивный изотоп углерода  $^{14}\text{C}$  образуется в верхних слоях атмосферы в результате бомбардировки ядер азота нейтронами космических лучей:



Обозначения:

- - нейтрон (частица, имеющая массу 1 углеродную единицу и не имеющая заряда)
- ⊕ - протон (частица, имеющая массу 1 у. е. и заряд  $1^+$ , иначе, это ядро атома водорода).



Углерод  $^{14}\text{C}$  окисляется до  $^{14}\text{CO}_2$  и распространяется в атмосфере. Растения используют  $^{14}\text{CO}_2$  в ходе фотосинтеза наравне со стабильным изотопом  $^{12}\text{C}$  для производства органики. В результате соотношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  в живых организмах оказывается таким же, как в атмосфере (порядка  $10^{-12}$ ).

После смерти организма приток углерода в него прекращается (система становится условно замкнутой), и начинается неуклонное экспоненциальное<sup>3</sup> снижение соотношения  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  за счет распада радиоактивного изотопа  $^{14}\text{C}$ .

Калий-аргоновый метод. При распаде нестабильного изотопа  $^{40}\text{K}$  его небольшая часть (11%) превращается в аргон  $^{40}\text{Ar}$ , а остальные атомы - в изотоп  $^{40}\text{Ca}$ .

Поскольку K присутствует в породообразующих минералах (полевые шпаты, слюды, пироксены и амфиболы), метод широко применяется. Период полураспада  $\sim 1.3$  млрд. лет.

Свинцовый метод - используется процесс распада  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  на изотопы  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ . Используются минералы: монацит, ортит, циркон и уранинит. Период полураспада  $\sim 4,5$  млрд. лет.

Рубидий-стронциевый - используется изотоп рубидия  $^{87}\text{Rb}$  с образованием изотопа стронция  $^{87}\text{Sr}$  (используемые минералы - слюды содержащие рубидий). Из-за большого периода полураспада (49.9 млрд. лет) применяется для наиболее древних пород земной коры.

Благодаря этим методам установлено, что возраст Земной коры превышает 4.6 млрд. лет, тогда как до применения этих методов он оценивался лишь в десятки и сотни млн. лет.

2. Метод ленточных глин – это метод определения абсолютного возраста пород основан на явлении изменения состава осадков, которые отлагаются в спокойном водном бассейне при сезонном изменении климата. За 1 год образуется 2 слоя. В осенне-зимний сезон отлагается слой глинистых пород, а в весенне-летний образуется слой песчаных пород. Зная количество таких пар слоев, можно определить - сколько лет формировалась вся толща.

Относительная геохронология определяет возраст пород и последовательность их образования стратиграфическими методами, а раздел геологии, изучающий взаимоотношения горных пород во времени и пространстве называется стратиграфией (от лат. *stratum* – слой + греч. *grapho* - пишу).

Методы относительной геохронологии распространяются только на время существования жизни на планете; они свидетельствуют о том, какой геологический слой старше и позволяют приблизительно определять время возникновения слоя.

Методы относительной геохронологии подразделяются на:  
биостратиграфические или палеонтологические,  
не палеонтологические.

Палеонтологические методы (биостратиграфия)

В основе метода лежат следующие идеи:

В древних геологических отложениях находятся остатки *простых* организмов, а в более молодых - организмы *сложного строения*. Этот принцип, называемый «принципом суперпозиции», сформулировал датский натуралист Николаус Стенон более 300 лет назад. Он справедлив для пород, находящихся в ненарушенном состоянии.

Границы эволюционных преобразований - это границы геологического времени накопления осадочных слоев и горизонтов. Значит, каждому геологическому слою – вре-

---

<sup>3</sup> Выражение «**экспоненциальный рост**» вошло в наш лексикон для обозначения быстрого, как правило безудержного увеличения. Оно часто используется, например, при описании стремительного роста числа городов или увеличения численности населения.

мени соответствуют лишь определенные живые организмы. Эта особенность используется для определения возраста пород.

Остатки живых организмов встречаются лишь в осадочных горных породах.

### 1. Метод руководящих ископаемых

Ископаемые организмы подразделяются на 2 типа.

К первому относятся такие, которые существовали длительное время без особых изменений и встречаются в нескольких пластах осадочной толщи.

Второй тип - это организмы, которые обитали в узком отрезке времени и встречаются в отдельных пластах осадочных пород. Их называют руководящие ископаемые или руководящие формы.

#### Требования к выделению руководящих форм:

Они должны часто и в больших количествах встречаться в слое;

Должны легко распознаваться;

Должны иметь узкий возрастной (или вертикальный) интервал распространения, но широкое горизонтальное распространение, чтобы можно было сравнить отдаленные разрезы.

Например, для мезозойских отложений важной руководящей группой являются аммониты, для среднего кембрия — мелкие слепые трилобиты—агностиды, и т. д. «Руководящие формы» должны удовлетворять нескольким требованиям, из которых можно выделить два главных:

— глобальная (или хотя бы очень широкая) распространенность — иначе не удастся скоррелировать слои из удаленных регионов;

— быстрая эволюция (от организмов, не меняющихся в течение десятков миллионов лет, стратиграфам нет никакого толку).

Желательно также, чтобы представители данной группы встречались в отложениях разных типов. Например, как скоррелировать морские и континентальные отложения, если в море жили одни виды животных и растений, а на суше, естественно, совершенно другие? На помощь приходят пыльца и споры растений: они хорошо сохраняются в ископаемом состоянии, а главное, их носит ветром, и поэтому они встречаются как в морских, так и континентальных отложениях. Споро-пыльцевой анализ — один из наиболее эффективных палеонтологических методов датировки древних осадочных пород.

Метод определения относительного возраста слоев с помощью руководящих ископаемых так и называется методом руководящих ископаемых.

Согласно этому методу одновозрастными являются слои, в которых содержатся близкие руководящие формы. Этот метод стал первым палеонтологическим методом определения возраста пород. На его основе была разработана стратиграфия многих регионов.

### Метод палеонтологических комплексов

Чтобы избежать ошибок, наряду с этим методом используется метод палеонтологических комплексов. В этом случае используется весь комплекс вымерших организмов, встреченный в исследуемой толще. При этом могут быть выделены:

1-ископаемые формы, жившие только в одном слое;

2-формы, впервые появившиеся в изучаемом слое и переходящие в вышележащий (проводится нижняя граница слоя);

3-формы, переходящие из нижнего слоя и закончившие свое существование в изучаемом слое (доживающие формы);

4-формы, жившие в нижнем или верхнем слое, но не встреченные в изучаемом слое (верхняя и нижняя границы слоя).

### Не палеонтологические методы

Основные из них подразделяются на:  
литологические  
структурно-тектонические  
геофизические

Литологические методы разделения толщ опираются на различия отдельных слоев, составляющих изучаемую толщу *по цвету, вещественному составу (минералогическому), текстурным особенностям*. Среди слоев и пачек в разрезе находят такие, которые резко отличаются по этим свойствам.

Такие слои и пачки легко определяются в соседних обнажениях и прослеживаются на большие расстояния. Их называют *маркирующим горизонтом*. Метод разделения осадочной толщи на отдельные пачки и слои называется *метод маркирующих горизонтов*. Для отдельных регионов или возрастных интервалов маркирующим горизонтом могут быть прослой известняка, кремнистых сланцев, конгломераты и т.п.

Минералогический метод применяется, когда отсутствует *маркирующий горизонт и осадочная толща по литологическому составу достаточно однообразна*, тогда для сопоставления в разрезе отдельных слоев и их относительного возраста опираются на минералогические особенности отдельных слоев.

Например, в нескольких слоях песчаника были установлены такие минералы как *рутил, гранат, циркон и определили их % содержание*. По количественному соотношению этих минералов разделяют толщу на отдельные слои или горизонты. Такую же операцию проводят в соседнем разрезе, а затем сопоставляют результаты между собой и проводят корреляцию слоев в разрезе. Метод трудоемкий - необходимо отобрать и проанализировать большое количество образцов. В тоже время *метод применим для небольших площадей*.

Структурно-тектонический метод - в его основе лежит *представление о существовании перерывов в осадконакоплении* на крупных участках земной коры. Перерывы в осадконакоплении наступают тогда, когда *участок морского бассейна, где накапливалась осадочная толща, становится приподнятым и на этот период здесь прекращается формирование осадков*.

В последующее геологическое время данный участок может вновь начать погружение, снова стать морским бассейном, в котором происходит накопление новых осадочных толщ. Граница между толщами представляет собой поверхность несогласия. По таким поверхностям проводят расчленение осадочной толщи на пачки и сопоставляют их в соседних разрезах. Толщи, заключенные между одинаковыми поверхностями несогласия рассматриваются как *одновозрастные*.

В отличие от литологического метода структурно-тектонический *метод используется для сопоставления крупных стратиграфических подразделений* в толщах.

Определение относительного возраста магматических пород и рудных жил (или даек)

Процесс формирования магматических тел сопровождается их внедрением в осадочную толщу пород. Поэтому в основе определения их возраста лежит изучение взаимоотношений между магматическими и жильными телами и пачками осадочных пород, которые они пересекли, и возраст которых установлен.

Рассмотренные методы абсолютной и относительной геохронологии позволили определить возраст и последовательность образования горных пород, а также установить периодичность геологических явлений и выделить этапы в длительной истории Земли.

В каждый этап последовательно накапливались толщи пород, и это накопление происходило в определенный промежуток времени. Поэтому всякая геохронологическая классификация содержит двойную информацию и объединяет две шкалы - стратиграфическую и геохронологическую.

Стратиграфическая шкала отражает последовательность накопления толщ, а геохронологическая шкала - соответствующий этому процессу период времени.

На основе большого количества данных по различным регионам и континентам была создана общая для земной коры Международная геохронологическая шкала, отражающая последовательность подразделений времени, в течение которых формировались определенные комплексы отложений и эволюцию органического мира.

Основные стратиграфические подразделения

1. Общие (участвуют в построении Международной и Общей стратиграфической шкал, в скобках даны геохронологические аналоги)

Стратиграфические подразделения	Геохронологические (временны́е) аналоги
<u>Акротема</u> – стратиграфическое подразделение, объединяющее <u>горные породы</u> , образовавшиеся в течение <u>акрона</u> .	<u>Акрон</u> - геохронологическое подразделение, объединяющее несколько <u>эонов</u> . Выделяют <i>три акрона</i> : <b><u>архей</u></b> (от 2600 млн. лет и древнее), <b><u>протерозой</u></b> (от 2600 до 570 (530) млн. лет) третий, начинающийся с <b><u>палеозоя</u></b> , не имеет собственного названия.
<u>Эонотема</u> – крупнейшая единица общей международной <u>стратиграфической</u> шкалы; отложения, образовавшиеся в течение <u>зона</u> . Выделяются <b><u>криптозойская</u></b> эонотема докембрий) и <b><u>фанерозойская</u></b> эонотема, объединяющая <u>палеозойскую</u> , <u>мезозойскую</u> и <u>кайнозойскую</u> <u>эратемы</u> .	<u>Эон</u> – длительный период времени, состоящий из нескольких <u>эр</u> .
<u>Эратема</u> (палеозойская, мезозойская, кайнозойская)	<u>Эра</u>
<u>Система</u> . В палеозойской эратеме 6 систем: кембрийская, ордовикская, силурийская, девонская, каменноугольная, пермская. В мезозойской эратеме 3 системы: триасовая, юрская, меловая. В кайнозойской эратеме 3 системы: палеогеновая, неогеновая, четвертичная (квартер).	<u>Период</u>
<u>Отдел</u>	<u>Эпоха</u>
<u>Ярус</u>	<u>Век</u>

Итак, например, пермский период следует определить как время, когда на Земле образовывались горные породы такого же типа, что ныне выходят на поверхность в окрестностях уральского города Пермь.

Юрская система подразделяется на 3 отдела и 11 ярусов:

<u>Период</u> (система)	<u>Эпоха</u> (отдел)	<u>Век</u> (ярус)	Млн. лет назад
<b>Юрский период</b>	<u>Верхняя юра</u> ( <u>Мальм</u> )	<u>Титонский</u>	145,5–150,8
		<u>Кимериджский</u>	150,8–155,7
		<u>Оксфордский</u>	155,7–161,2

	<u>Средняя юра</u> ( <u>Доггер</u> )	<u>Келловейский</u>	161,2–164,7
		<u>Батский</u>	164,7–167,7
		<u>Байосский</u>	167,7–171,6
		<u>Ааленский</u>	171,6–175,6
	<u>Нижняя юра</u> ( <u>Лейас</u> )	<u>Тоарский</u>	175,6–183,0
		<u>Плинсбахский</u>	183,0–189,6
		<u>Синемюрский</u>	189,6–196,5
<u>Геттангский</u>		196,5–199,6	

## 2. Региональные

Горизонт

Слои с географическим названием. Например: *паршинские слои*.

Горизонты могут являться картируемыми подразделениями при среднемасштабной геологической съемке.

## 3. Местные (литостратиграфические)

Комплекс

Серия

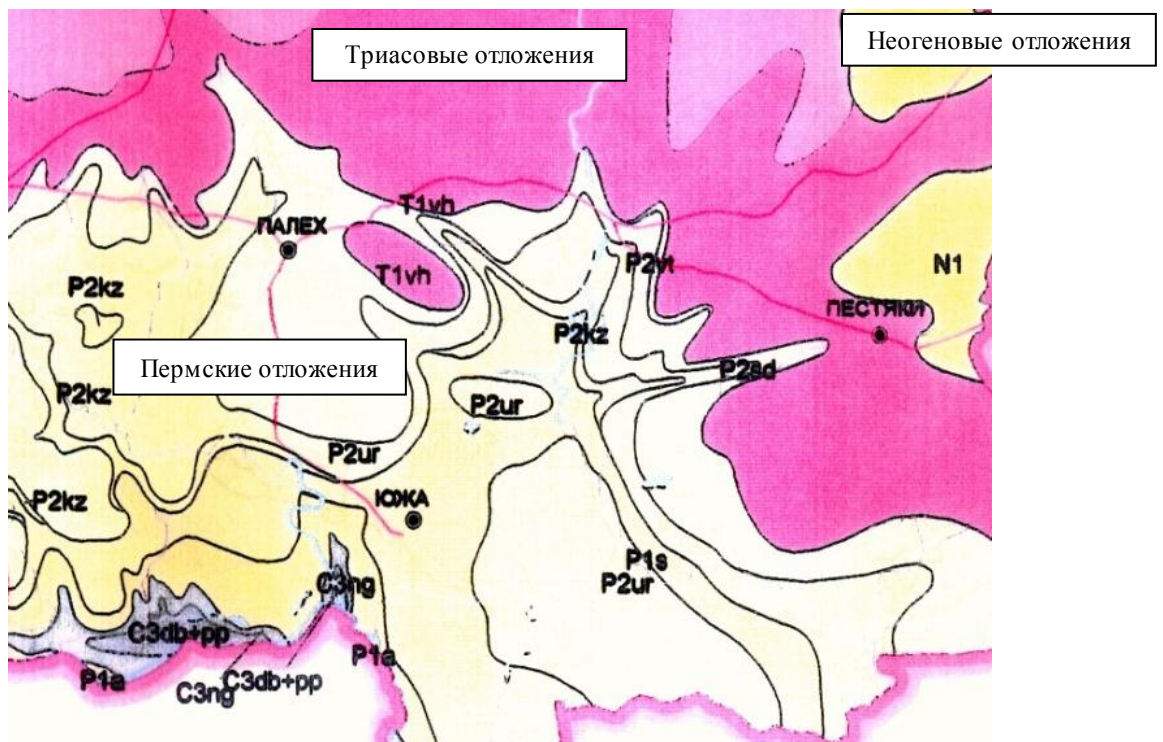
Свита

Пачка

Местные стратиграфические подразделения выделяются в основном по литолого-петрографическим данным для удобства картирования, палеонтологическая характеристика в данном случае имеет подчиненное значение, из-за этого их часто называют *литостратиграфическими подразделениями*. Местные подразделения являются картируемыми подразделениями при средне- и крупномасштабной геологической съемке.

Каждое подразделение в геохронологической шкале имеет свое название. Названия происходят от греческих слов (археос - древний и т.д.) или от места, где они впервые были выделены. Кроме того, каждое подразделение имеет свой цвет и индекс, который состоит из начальных букв названия подразделения и цифр. Например: D<sub>2</sub>ef означает - эйфельский ярус среднего девона. Такими индексами удобно пользоваться при составлении геологической карты или геологического разреза. Геологическая карта отражает распространение горных пород и их возраст на поверхности Земли.





Поэтому она составляется на топооснове различного масштаба. Геологические разрезы показывают распространение горных пород от поверхности Земли до определенных глубин, спроектированных на вертикальную плоскость. В зависимости от поставленных геологических задач, разрезы также составляются в различном масштабе.

### Литература

#### а) основная литература:

1. Короновский, Н. В. Геология : учебник для студентов высших учебных заведений / Н. В. Короновский, Н. А. Ясаманов. - 5-е изд. ; стер. - Москва : Академия, 2008. - 448 с.
2. Практическое руководство по общей геологии : учебное пособие для вузов / А. И. Гуцин [и др.] ; под ред. Н. В. Короновского. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Академия, 2010. - 160 с.
3. Сластенов, Ю. Л. Геология Ивановской области : монография / Ю. Л. Сластенов, Д. С. Марков ; Министерство образования и науки РФ; ГОУ ВПО "Шуйский государственный педагогический университет"; ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы. - Шуя : Изд-во ГОУ ВПО "ШГПУ", 2010. - 135 с.

#### б) дополнительная литература:

1. Карлович, И. А. Геология : учебное пособие для вузов / И. А. Карлович. - Москва : Академический Проект : Трикта, 2005. - 704 с.
2. Практическое руководство по общей геологии : учебное пособие для вузов / А. И. Гуцин [и др.] ; под ред. Н. Ф. Короновского. - Москва : Академия, 2004. - 160 с.
3. Основы геологии : учебное пособие / Ю. П. Балабанов [и др.] ; науч. ред. Р. Р. Хасанов. - Казань : Изд-во КГУ, 2000. - 200 с.
4. Добровольский, В. В. Геология : учебник / В. В. Добровольский. - Москва : ВЛАДОС, 2001. - 320 с.
5. Караулов, В. Б. Геология. Основные понятия и термины : справочное пособие / В. Б. Караулов, М. И. Никитина. - 4-е изд. ; испр. - Москва : УРСС, 2007. - 152 с.

6. Алексеенко, В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых : учебник / В. А. Алексеенко. - 2-е изд. ; перераб. и доп. - Москва : Логос, 2000. - 354 с.
7. Войлошников, В. Д. Книга о полезных ископаемых / В. Д. Войлошников. - Москва : Недра, 1991. - 175 с.
8. Друянов, В. А. Загадочная биография Земли / В. А. Друянов. - 3-е изд. ; перераб. и доп. - Москва : Недра, 1989. - 158 с.
9. Зверев, В. Л. Каменная радуга : о минеральных ресурсах Земли / В. Л. Зверев. - 2-е изд. ; перераб. и доп. - Москва : Недра, 1990. - 156 с.
10. Кузнецов, С. С. Геологические экскурсии / С. С. Кузнецов. - Ленинград : Недра, 1978. - 176 с.
11. Милановский, Е. Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии) : учебник / Е. Е. Милановский. - Москва : Изд-во МГУ, 1996. - 448 с.
12. Обручев, В. А. За тайнами Плутона / В. А. Обручев ; сост., авт. сопровод. текста А. В. Шумилов. - Москва : Молодая гвардия, 1986. - 239 с.
13. Чарыгин, М. М. Общая геология / М. М. Чарыгин. - 3-е изд. ; перераб. и доп. - Москва : Государственное научно-техническое издательство, 1963. - 376 с.
14. Апродов, В. А. Дыхание земли. Вулканы и землетрясения / В. А. Апродов. - Москва : Географгиз, 1963. - 111 с.
15. Сластенов, Ю. Л. Учебная полевая практика по геологии с основами геоморфологии на берегах Волги : учебное пособие / Ю. Л. Сластенов, Д. С. Марков ; Федеральное агентство по образованию; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Шуйский государственный педагогический университет"; Кафедра географии и методики обучения. - Шуя : Изд-во ГОУ ВПО "ШГПУ", 2009. - 38 с.
16. Даминова, А. М. Породообразующие минералы / А. М. Даминова. - 2-е изд. ; перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 1974. - 205 с.

#### в) Интернет-ресурсы

1. Геология России [http://atlantic.ginras.ru/education/russia\\_geology.html](http://atlantic.ginras.ru/education/russia_geology.html) - на сайте размещены конспекты лекций "Геология России" (краткий курс) и "Геология морей и океанов" для студентов Геологического факультета МГУ, которые читает Мазарович А.О.
2. Минералы России <http://www.mindat.ru/> - на сайте приведены справочные материалы по минералам и месторождениям минерального сырья.
3. Геология <http://www.krugosvet.ru/taxonomy/term/53> - Онлайн-энциклопедия по геологии, в которой содержатся краткие определения большинства геологических понятий.