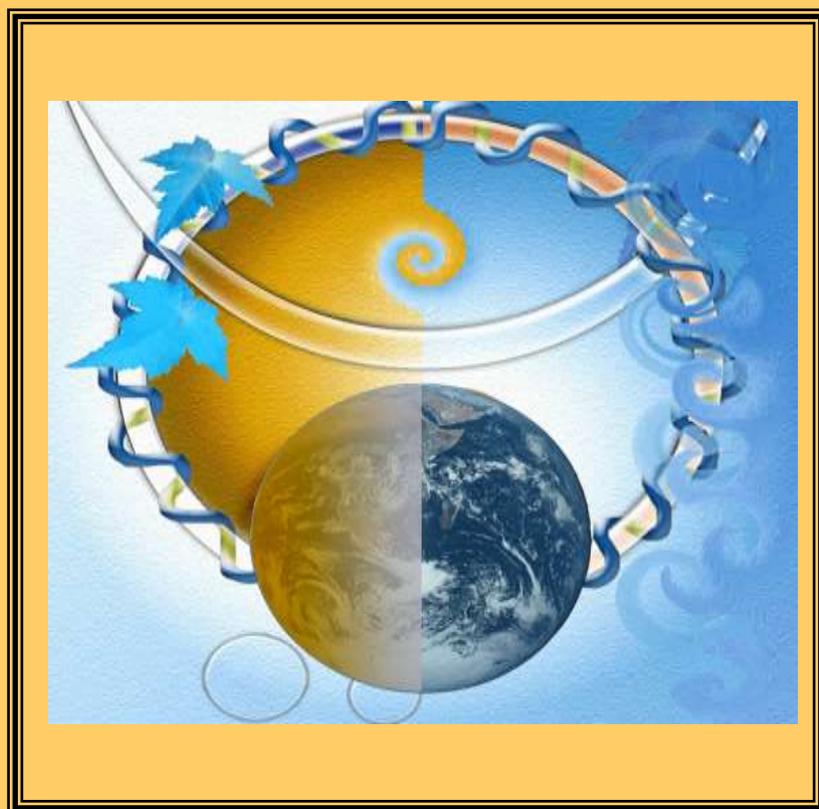


Министерство образования Российской Федерации  
Томский политехнический университет

**Н.В. Крепша**

# Науки о Земле



*Учебное пособие*

Томск 2004

УДК 55 (075.8)  
ББК 26. 3я73  
К 684

Крепша Н.В. **Науки о Земле: Учебное пособие** / Том. политехн. ун-т.  
– Томск, 2004. – 160 с.

Пособие написано в соответствии с программой, утвержденной научно-методическим советом по экологическому образованию УМО технических университетов в 2001 году. В доступной форме изложены основы строения, функционирования, развития и взаимосвязей природных систем, методов исследования и картографирования. Пособие подготовлено на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности ТПУ и предназначено для студентов специальности 330 200 «Инженерная защита окружающей среды» очного и заочного обучения.

Печатается по постановлению Редакционно-издательского Совета Томского политехнического университета

*Рецензенты*

Профессор кафедры инженерной геологии и геоэкологии Томского государственного архитектурно-строительного университета,  
доктор геолого-минералогических наук  
*В.Е. Ольховатенко*

Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института геологии и нефтегазового дела  
Томского политехнического университета  
кандидат геолого-минералогических наук  
*А.А. Лукин*

Темплан 2004

© Томский политехнический университет, 2004

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*На планете Земля, – для населения обширной,  
Но такой небольшой созерцающим Землю извне*  
Игорь Северянин

Экологические проблемы в последние десятилетия стали «вечными спутниками» процесса развития современной цивилизации. Острота этих проблем обусловлена массовым вовлечением природных ресурсов в сферу хозяйственной деятельности человечества. Поэтому «Науки о Земле», изучающие происхождение и закономерности распространения природных ресурсов Земли, включены Научно-методическим советом по экологическому образованию УМО технических университетов в 2001 году в учебные планы подготовки бакалавров по направлению 553 500 «Защита окружающей среды» и дипломированных специалистов по специальности 330 200 «Инженерная защита окружающей среды» как самостоятельная учебная дисциплина. Согласно ГОСу перечень разделов, формирующих цикл «Науки о Земле», входят: почвоведение, климатология, метеорология, общая геология, гидрогеология, ландшафтоведение и картография.

Необходимость написания этого учебного пособия продиктована отсутствием в России учебника, охватывающего все науки о Земле, т.е. отвечающего названию соответствующей учебной дисциплины в плане подготовки специалистов экологов. Поэтому автор стремилась соединить в едином тексте сведения по выше перечисленным наукам. По задачам и построению предлагаемое учебное пособие носит компилятивный характер.

При написании данного учебного пособия автор ставила перед собой несколько задач.

Во-первых, учебное пособие должно соответствовать требованиям вузовского государственного образовательного стандарта по учебной дисциплине «Науки о Земле». Эти требования, как разделы дисциплины, отражены в структуре учебного пособия, основанной на концепции изложения материала. Концепция сформировалась на трехлетнем опыте преподавания данного курса для студентов специальности «Инженерная защита окружающей среды».

Во-вторых, предлагаемый текст учебного пособия должен быть логичным, систематизированным, содержательным, научным, по-возможности, простым, максимально облегчающим изучение курса студентам заочникам. В учебном пособии приводятся последние данные в области наук о Земле, хотя многие циклы дисциплины имеют многовековую историю. Обозначена экологическая значимость некоторых земных процессов и явлений (выветривания, землетрясений и т.д.).

В-третьих, одна из самых сложных задач – создание учебного пособия по данной дисциплине, наиболее обобщенно отражающее концепцию единства

знаний о Земле, разбитых по разным направлениям и циклам. Для этого в первой главе приведена в качестве основы концепции единства логическая модель соподчинения основных природных систем (геосфер) Земли, предложенная А.А. Лукиным и С.С. Гудымовичем и в 1982 году и основанная на общеметодологических принципах системности и причинности. Эта модель соподчинения геосфер Земли научно обосновывает и определяет структуру данного учебного пособия и последовательность изучения основных разделов дисциплины. По модели наиболее «могущественной» системой является космос во всем его многообразии воздействия на Землю, что и рассматривается в главах 2 и 3. Учитывая, что эндогенные (внутренние) факторы Земли являются доминирующими для внешних оболочек, а сами эндогенные и экзогенные процессы – следствия взаимодействия Земли с Космосом, то в структуре далее идет последовательно изучение следующих геосфер: ядро и мантия, литосфера, гидросфера и атмосфера (гл. 4–8).

Автором сформулирована цель дисциплины «Науки о Земле» как целостное и системное изучение строения, функционирования и развития Земли, а комплексная оценка и рациональное использование ее ресурсов как важнейшее условие устойчивого существования человека на Земле.

Четвертую задачу автор видела в том, чтобы содержание учебного пособия было максимально наглядным, а усвоение его студентами – простым. Для отображения и иллюстрации тех или иных природных явлений и процессов широко используется наглядный материал в виде таблиц и рисунков (их более 50 штук), для закрепления – а также вопросы самоконтроля обучающихся и список литературных источников, которыми пользовался автор при написании каждой главы.

Насколько эти задачи удалось автору решить – судить читателям – студентам экологам. Автор рассматривает учебное пособие как первый вариант. Он признателен рецензентам данного учебного пособия профессору Ольховатенко В.Е. и доценту Лукину А.А. за замечания и конструктивные предложения, которые способствовали его улучшению.

Со своей стороны автор и издатели желают изучающим успехов в овладении непростым, но очень интересным учебным курсом, название которому «Науки о Земле». Желаем, чтобы Надежда, Вера и Добро во имя будущего не покидала молодое поколение экологов и всегда вдохновляла беречь нашу единственную Землю–матушку.

**Н.В. Крепша**

## Глава 1

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ, ИХ ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ

«Науки о Земле» относят к разряду естественных наук. Вряд ли можно указать все число наук, изучающих Землю. И давно сложившиеся, и совсем молодые, появившиеся недавно науки, принято объединять под общим названием «Науки о Земле».

В перечень обязательных дисциплин, образующих цикл «Науки о Земле» входят: общая геология, гидрогеология, почвоведение, климатология и метеорология, ландшафтоведение и т.д. Все они изучают геосферы (оболочки) или природные системы Земли как планеты.

К геосферам Земли относятся:

- ядро и мантия
- литосфера
- гидросфера
- атмосфера
- биосфера.

Геосферы Земли есть следствие ее развития как планеты. После образования твердой оболочки Земли и ее охлаждения появилась в жидком виде вода и стала формироваться гидросфера. В атмосфере появился кислород, что дало толчок зарождению жизни на Земле. Сейчас можно утверждать, что вода в океанах и атмосфера – «дочери» земных недр. Именно в такой последовательности, отвечающей истории развития геосфер, причинно-следственных связей их возникновения и взаимодействия целесообразно изучать дисциплины данного цикла.

Каждая из выше названных геосфер – мантия, литосфера, гидросфера, атмосфера – не может существовать отдельно. Согласно общеметодологическому принципу системности и причинности все геосферы находятся во взаимосвязи и взаимообусловленности.

Исходя из этого построена логическая цепь причинно-следственных связей природных систем, геосфер Земли, предложенная А.А. Лукиным и С.С. Гудымовичем в 1982 году. На основе некоторых общенаучных принципов системности и причинности выведены критерии соподчинения геосфер между собой и с космосом в отношении «причина – следствие» при их взаимодействии в истории развития Земли. Модель отражает все логическое множество прямых (воздействие причин на следствие) и обратных (следствия на причину) причинных связей природных систем (рис. 1).

В основе модели лежит соподчинение геосфер по соотношению массы и времени их образования. Согласно основному принципу причинности в этом взаимодействии большая система «управляет» меньшей. Наиболее «могущественной» системой является космос во всем многообразии воздействия его

на Землю. Следующей в схеме-модели выступает Земля с ее грави- и магнитосферами как единая система (рис.1).

Из этой модели следует, что эндогенные (внутренние) факторы Земли являются доминирующими для внешних оболочек, а сами эндогенные процессы – следствиями взаимодействия Земли с космосом. Модель соподчинения геосфер Земли позволяет научно определить название и последовательность изучения основных разделов дисциплины «Науки о Земле».

Соотношения геосфер и изучающих их наук о Земле отражено в табл. 1.

Выделить специальную дисциплину, изучающую литосферу, пожалуй, нельзя. Все протекающие в этой твердой оболочке процессы с давних пор являются предметом внимания *геологии*. Термин «геология» произошел от слияния двух греческих слов: «*гео*» – земля и «*логос*» – знание, наука. Она является фундаментальной наукой о Земле, включающая в себя множество взаимосвязанных областей исследования:

- о веществе земной коры (*геохимия, минералогия, петрография*),
- о строении коры (*геофизика, структурная геология, геотектоника*),
- об истории развития ее (*палеонтология, историческая геология, палеоботаника*).

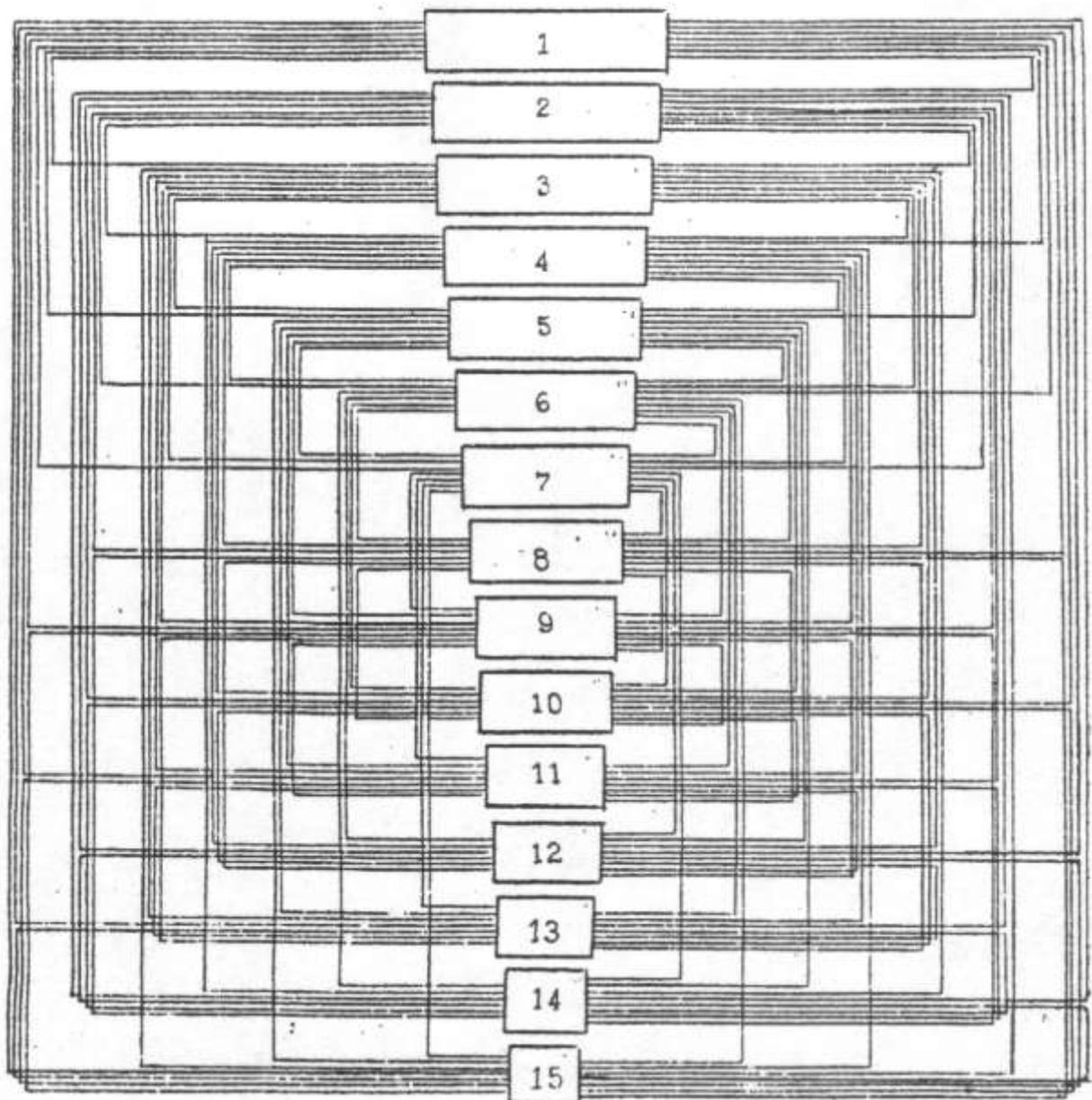
Водные покровы Земли изучает *гидрология*.

Воздушная оболочка планеты «подвластна» *метеорологии*: она познает физические явления и процессы, происходящие в атмосфере.

Казалось бы биосфера должна относиться к ведению биологии. Но, по словам В.И. Вернадского, «биосфера не есть только так называемая область жизни». *Биосфера* – это совокупность частей земных оболочек (лито-, гидро- и атмосферы), которая заселена живыми организмами, находится под их воздействием и занята продуктами их жизнедеятельности. С одной стороны, – это среда жизни, с другой – результат жизнедеятельности живых организмов. Биосфера – глобальная система. Она не образует сплошного слоя с четкими границами. Она как бы «пропитывает» другие геосферы Земли, охватывая всю гидросферу, верхнюю часть литосферы (2–3 км), нижнюю часть атмосферы (25 км). В пределах этой зоны жизни взаимодействуют: *солнечная энергия, вода, горные породы, живое вещество*. Такая сложная взаимосвязь и обеспечивает устойчивость жизненных процессов в биосфере. «Жизнь правит бал и в воздухе, и в воде, и на поверхности планеты, в самой тверди земной» (Вернадский, 1989). Поэтому изучать ее должен целый комплекс различных наук, объединяемый биологией и экологией.

Таким образом, *предметом* изучения дисциплины «Науки о Земле» является *исследование взаимосвязи геосфер как единого целого планеты Земля*.

*Цель* цикла дисциплин «Науки о Земле» – *целостное и системное изучение строения, функционирования и развития Земли, а комплексная оценка и рациональное использование ее ресурсов как важнейшее условие устойчивого существования человека на Земле*.



**Рис. 1. Модель причинно-следственного соподчинения основных систем Земли**

- 1 – Космос (во всем многообразии воздействия на Землю);
- 2 – Земля и ее глобальная энергосфера (грави- и магнитосферы);
- 3 – Ядро и нижняя мантия Земли;
- 4 – Тектоносфера Земли и ее региональные геофизические поля (гравитационные, волновые, тепловые, магнитные и др.);
- 5 – Геоморфосфера (рельеф Земли);
- 6 – Гидрогеосфера (подземная гидросфера);
- 7 – Гидросфера; 8 – Подземная газовая оболочка; 9 – Атмосфера;
- 10 – Кора выветривания; 11 – Почвенная оболочка суши Земли (педосфера);
- 12 – Протистосфера (сфера обитания микроорганизмов);
- 13 – Фитосфера; 14 – Зоосфера; 15 – Ноосфера.

## Соотношение геосфер и наук о Земле

Геосферы	Науки и направления	Определения
Тектоносфера (литосфера и верхняя мантия)	<b>Геология</b>  1. Геотектоника, вулканология и геодинамика  2. Историческая геология  3. Геофизика 4. Геохимия, минералогия, петрография 5. Прикладная геология	<b>Наука о строении Земли, ее происхождении и развитии, основанная на изучении горных пород литосферы и глобальных геофизических полей</b> 1. Науки о динамике Земли (тектонические движения, магматизм, деятельность морей, рек, подземных вод, ледников, ветра и т.д.) 2. Наука об истории развития Земли с момента ее образования до настоящего времени (стратиграфия, палеонтология, формационный анализ и т.д.) 3. Наука о физических полях Земли 4. Науки, изучающие состав Земли на разных уровнях (атомном, минеральном и породном) 5. Наука о практическом использовании недр нашей планеты (инженерная геология, месторождения полезных ископаемых – угля, нефти, газа, строительных материалов и т.д.)
Геоморфосфера	Геоморфология	Геолого-географическая наука о формах земной поверхности (рельефе)
Гидрогеосфера (подземная гидросфера)	Гидрогеология	Наука о подземных водах
Гидросфера	Гидрология	Наука о поверхностных водах
Атмосфера	Метеорология и климатология	Наука о физических процессах и явлениях в атмосфере
Педосфера (верхняя почвенная оболочка суши)	Почвоведение	Наука о происхождении, свойствах и рациональном использовании почв
Биосфера	Биология и экология	Науки о взаимодействии биоценоза (продуцентов, консументов, редуцентов) и биотопы, человека и Природы.

В дисциплине «Науки о Земле» существует более ста различных специализаций. Одни из них тесно связаны с химией (геохимическое направление), другие – с физикой (геофизическое направление), третьи с биологией (палеонтологическое и палеобиологическое направления), четвертое – с математикой и кибернетикой (компьютерное моделирование геологических процессов), пятое – с астрономией и астрофизикой (космическая геология) и т.д.

Из прикладных наук геологии следует отметить наиболее экологическую – инженерную геологию (табл.1). Нельзя построить здания, мосты, плотины, атомные станции, дороги, аэродромы и т.д., не зная геологических усло-

вий места строительства. Сложным является строительство в зоне вечной мерзлоты, занимающей более 60% площади России. Задачей инженерной геологии является обеспечить устойчивость и функционирование зданий и сооружений в сложных геологических условиях.

В недрах Земли находятся залежи полезных ископаемых, вопросами поиска которых занимается геология. Длительная и интенсивная добыча отдельных видов минерального сырья привела к истощению многих месторождений. Актуальной является проблема взаимодействия человека с природой при производстве геологоразведочных работ и добыче полезных ископаемых. Можно выделить две наиболее важные проблемы, связанные с рациональным отношением к минеральным ресурсам и соблюдением экологической безопасности:

- 1) разработка эффективных и экологически чистых способов извлечения ценных компонентов из земных недр таким образом, чтобы экологические нарушения оказались наименьшими;
- 2) использование обедненных руд и облагораживание экологической обстановки на рудниках, шахтах, горных карьерах.

Правильное решение прикладных геологических и экологических задач требует глубокого знания общих закономерностей строения и развития отдельных геосфер. Знание происхождения и эволюции Земли, ее строения и состава во взаимодействии с внешними оболочками – водной (гидросферой) и воздушной (атмосферой), а также с внутренними оболочками – земным ядром и мантией – составляет необходимое звено экологического мировоззрения. Оно позволяет понять, как в истории Земли осуществлялся переход от неживого к живому, от неорганического к органическому, как эволюционируют живые системы и т.д.

В чем состоит уникальность планеты Земля? Земля – это чудо Вселенной. «Своеобразным, единственным в своем роде, отличным и неповторимым в других небесных телах представляется нам лик Земли» (Вернадский, 1989). Эта уникальная планета, вращающаяся вокруг Солнца и своей оси, окутанная собственной голубой атмосферой, где кислорода содержится 21%. Избыток его угрожал бы нашему существованию; азот (78%) служит для разряжения атмосферы. Только на Земле есть жизнь. Она поддерживается солнечно-земным взаимодействием с оптимальным соотношением света, воздуха, тепла, воды, пищи.

Земля находится для жизни на «правильном» расстоянии от Солнца (145–152 млн км), чтобы не было ни слишком холодно, ни слишком жарко и могла существовать вода.

Периоды вращения вокруг своей оси (24 часа, 1 сутки) и вокруг солнца (365.25 суток) определили главные биологические ритмы всех живых организмов.

Земле надо было возникнуть таким образом, чтобы достаточный запас радиоактивных элементов служил «горючим» для поддержания работы гигантской тепловой машины, которой и является наша планета.

Земля имеет также наиболее подходящий радиус (диаметр 12756 км), такой, который позволяет веществу мантии медленно перемешиваться, а внешней части ядра – сохраняться жидким. Это создает над землей защитное магнитное поле. Другую защиту для биосферы создает озоновый слой, не пропускающий к Земле губительное для всего живого ультрафиолетовое излучение.

Сочетания подобных условий нет больше ни на одной планете земной группы. Появление разумных существ на планете является вершиной эволюции жизни. Вот насколько мудра природа в создании уникальности планеты.

Земля, как природный объект настолько сложна, что применять для ее изучения обычные методы исследования, например, эксперименты, как в технических науках, почти невозможно. Специфической особенностью геологических объектов являются их исключительно большие масштабы и длительности (десятки и сотни млн лет) протекающих в них процессов.

Поэтому в геологических исследованиях широко применяется принцип *актуализма*: наблюдение над современными процессами позволяет судить о ходе тех же процессов в далеком геологическом прошлом.

Основной традиционный метод геологических исследований заключается в *маршрутном* изучении естественных выходов горных пород (обнажений) на поверхность. Изучение начинается с описания состава горных пород, условий залегания и т.д. Для более точного определения состава пород отбирают соответствующие образцы (пробы), которые затем тщательно изучают в лабораторных условиях различными физико-химическими методами.

Кроме маршрутного описания и картирования геологами используются материалы *аэрофотосъемок, космических съемок, бурения скважин* и многое другое.

Специалисты по инженерной защите окружающей среды должны хорошо знать и изучать Землю, на которой живет и творит человек. И только изучив внутреннее строение планеты, историю ее формирования, химический состав, развитие геосфер, главных природных систем Земли, структуру и эволюцию земной коры и еще много других вопросов, человек сможет приблизиться к пониманию причин, сделавших нашу маленькую планету Земля столь уникальной для нашего проживания.

Земля живет своей «беспокойной жизнью», предначертанной ей законами природы и Вселенной. Интерес к Земле как единому целому в настоящее время неизмеримо возрос. Будущим специалистам экологам при изучении данной дисциплины необходимо осознать главное – засоряя свой Дом, Землю, мы вредим не столько природе (Природа Земли и без нас «проживет» еще сотни миллионов лет), а, прежде всего и *только* себе – ведь человек без созданного Землей «качества» Природы действительно обречен на вымирание.

## Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите главные природные системы Земли согласно классификации по принципу «причина- следствие»?
2. Что положено в основу модели соподчинения геосфер Земли?
3. Приведите соотношение геосфер и наук о Земле?
4. Что изучают геология, геоморфология, гидрогеология, гидрология, метеорология, почвоведение и экология?
5. Сформулируйте цель изучения дисциплины «Науки о Земле»
6. Перечислите методы изучения Земли как планеты?
7. В чем состоит уникальность планеты Земля?

## Литература

- Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. – М.:Наука, 1989.– 250 с.
- Лукин А.А., Гудымович С.С.* Положение рельефа как системы в причинно-следственном ряду других важнейших систем Земли /В Сб. Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа. – Новосибирск: Наука, 1982.– С. 42-50.

## Глава 2.

# Планета Земля в космическом пространстве

## 2.1. Строение солнечной системы

Многие тысячи лет на Земле живет человек (30-50 тыс. лет), и, по крайней мере всегда были даны ему два чуда природы: *день*, освещенный Солнцем, и *ночь* с манящими россыпями звезд на небесном своде. Солнечная система состоит из центральной звезды – Солнца. Вокруг него вращаются 9 планет и малые тела – астероиды и кометы (рис.2). Они удерживаются на своих орбитах притяжением Солнца. Границей Солнечной системы считается внешняя граница *Облака Оорта*.

Параметры солнечной системы следующие:

- 1) диаметр солнца равен 1,4 млн. км;
- 2) расстояние от солнца до Земли равно 1 астрономической единице (а.е.) 149, 6 млн. км;
- 3) расстояние от Солнца до самой удаленной планеты Солнечной системы – *Плутона* – 39,4 а.е.;
- 4) расстояние до *Облака Оорта* – 100 000 – 150 000 а.е.

Наглядное представление о размерах Солнечной системы можно получить, если представить Солнце в виде крупного апельсина диаметром 10 см, тогда в 10 м от него увидим маковое зерно – *Землю*, в 50 м – мелкую вишню – *Юпитер*, в 400 м – кусочек макового зерна – *Плутон*. Граница Солнечной

системы (Облако Оорта) будет находиться на расстоянии 1,0 – 1,5 тыс. м от нашего апельсина.

**Солнце** – это звезда спектрального класса **G 2**, таких много в нашей Галактике. Солнце является постоянным источником тепла и света на Земле. Температура на поверхности слоя яркого свечения равна  $5500^{\circ}\text{C}$ , в центре, вероятно достигает  $15\,000\,000^{\circ}\text{C}$ . Солнце гудит как колокол. Частота звуковых волн низка для человеческого уха, но приборы ее улавливают. Химический состав вещества на Солнце следующий: водород – 73% (по массе), гелий – 25%, остальное – кислород, углерод, железо и т.д. Источник энергии Солнца – термоядерная реакция слияния ядер водорода с образованием ядра гелия. Газы оказываются в сильно сжатом состоянии и имеют плотность в 14 раз больше, чем свинец. Солнце имеет сильное магнитное поле, полярность которого меняется каждые 11 лет. *Одиннадцать лет* – цикл солнечной активности. На поверхности солнца также происходят локальные вспышки по 22 – летним циклам. Они соответствуют периодичности изменения полярности магнитного поля Солнца.

От солнца во все стороны радиально исходит *солнечный ветер* – поток плазмы, состоящий в основном из протонов и электронов. Вблизи Земли скорость частиц солнечного ветра равна 300-700 км/с. Магнитное поле Земли отклоняет большинство частиц, но часть их вблизи магнитных полюсов попадает в верхние слои атмосферы, заставляя их светиться. Это полярное сияние.

Предположительно, солнце будет светить около 7 млрд. лет, пока весь водород не превратится в гелий. Тогда звезда вздуется, превратится в красного гиганта, а затем станет белым карликом. Интересно, что солнечный свет, падающий сейчас на Землю, покинул светило 8 минут назад, а отраженный от Луны попадает к нам всего за 1,3 секунд.

Из-за непрерывного вращения Земли вокруг своей оси происходит смена дня и ночи. Почему происходит смена времен года на Земле?

Смена времен года вызвана обращением Земли вокруг Солнца. Времена года меняются потому, что земная ось наклонена относительно перпендикуляра к плоскости земной орбиты на угол  $23,5^{\circ}$ . Количество солнечного тепла, получаемого Землей в разные месяцы неодинаково. Пока наша планета совершает свой путь в течение года по орбите, Северное полушарие Земли оказывается повернуто то к Солнцу, то от Солнца. Когда Северное полушарие развернуто к Солнцу, то тогда здесь наступает *лето*. Дни стоят длинные и жаркие, а некоторое время Солнце за полярным кругом вообще не заходит. Так называемое летнее солнцестояние наблюдается в Северном полушарии 21 июня – это самый длительный день в году.

А *зимой*, когда Земля оказывается уже по другую сторону Солнца, Северное полушарие повернуто от Солнца, что вызывает падение температуры. Зимнее солнцестояние приходится на 21 декабря – самый короткий день в году.

В некоторых областях Земли четыре времени года не выражены. На экваторе всегда жарко, т.к. здесь солнечные лучи падают под прямым углом целый год. В приполярных зонах постоянно холодно.

**Планеты** Солнечной системы – это четыре планеты земной группы – **Меркурий, Венера, Земля, Марс**; четыре планеты гиганта – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, а также Плутон (рис. 2, табл. 2).

**Меркурий** – ближайшая к Солнцу безатмосферная планета с диаметром, равным 0,38 диаметра Земли. Поверхность Меркурия днем нагревается от  $+250^{\circ}$  до  $+450^{\circ}$  С, а ночью охлаждается до  $-170^{\circ}$  С. Средняя плотность Меркурия такая же, что у Земли, что свидетельствует о том, что у этой планеты есть железное ядро. Большая часть поверхности Меркурия испещрена ударными кратерами метеоритов размером от 50 до 100 км в поперечнике. На снимках 1974 года местами наблюдаются молодые равнины, по видимому, образовавшиеся при излиянии базальтовых лав.

**Венера** – вторая от Солнца планета, которую за сходство по размерам с Землей, часто называют ее «сестрой». Венера вращается в обратную сторону вокруг своей оси, отличную от вращения Земли и других планет. Венера окутана очень плотной углекислой атмосферой, вследствие чего на поверхности нет суточных и сезонных колебаний температуры. Атмосферное давление на поверхности Венеры  $96 \text{ кг/см}^2$  (на Земле  $1 \text{ кг/см}^2$ ), температура около  $+500^{\circ}$  С. В этих условиях жидкая вода существовать не может, водяного пара в атмосфере Венеры тоже мало. На высоте 50–70 км от поверхности находится слой облаков из капелек концентрированной серной кислоты. С востока на запад дует ураганный (100–140 м/с) ветер. Венера близка к Земле по массе, а значит, и по средней плотности (табл. 2). Однако собственного магнитного поля у Венеры нет. Большая часть поверхности Венеры – это равнины, горы занимают 15% поверхности.

**Земля** – это третья от Солнца планета, место, где мы живем. Это уникальная планета во Вселенной, т.к. на ней единственной, есть жизнь. Существование на Земле органического мира – одно из главных отличий нашей планеты от остальных планет Солнечной системы, а возможно и не только ее. До настоящего времени все попытки обнаружить признаки внеземной жизни оказались тщетными.

**Марс** четвертая от Солнца планет. Марс гораздо меньше Земли. Солнечные сутки на Марсе – 24 ч. 37 мин. Плоскость экватора планеты наклонена к плоскости ее орбиты почти так же, как и у Земли. Это определяет наличие сезонов в климате Марса.

У Марса есть углекислая атмосфера, но она разреженная, давление у поверхности всего  $0,003\text{--}0,010 \text{ кг/см}^2$ , поэтому нет жидкой воды – она либо испарится, либо замерзнет. На экваторе Марса максимальные дневные температуры могут достигнуть  $+250^{\circ}$ С, но в ночное время опуститься до  $-90^{\circ}$ С. В атмосфере Маркса, кроме белых облаков из кристалликов льда и твердой углекислоты иногда наблюдается желтые облака – это пылевые бури.

На поверхности Маркса выделяются два типа местности – возвышенности (в южном полушарии) и равнины (в северном полушарии). В ранней истории Марса (около 4 млрд. лет назад), вероятно был период, когда атмосфера была более плотной, шли дожди, текли реки, которые впадали в озера и моря. Не исключено, что в этот период на Марсе была примитивная жизнь. А поскольку падение на Землю метеоритов – это почти установленный факт, не исключено, что когда-то эти метеориты занесли на Землю марсианские микроорганизмы. Может быть Сванте Аррениус был прав, говоря о том, что жизнь на Землю была занесена извне. Эта гипотеза была предложена шведским ученым физиком С. Аррениусом в конце XIX в. и известна под названием «гипотеза панспермии». Она предусматривала занос спор микроорганизмов, рассеянных по всей Вселенной, на Землю, где они дали начало разнообразному органическому миру. В настоящее время никаких бактерий или вирусов в космосе до сих пор не обнаружено, но органические химические соединения найдены в метеоритах и, особенно в веществе кометы Галлея.

Недра планеты Марс к настоящему времени сильно остыли, а запасы воды в виде льда сосредоточены под прочной литосферой.

Четыре планеты – гиганта и планета Плутон нами не рассматриваются.

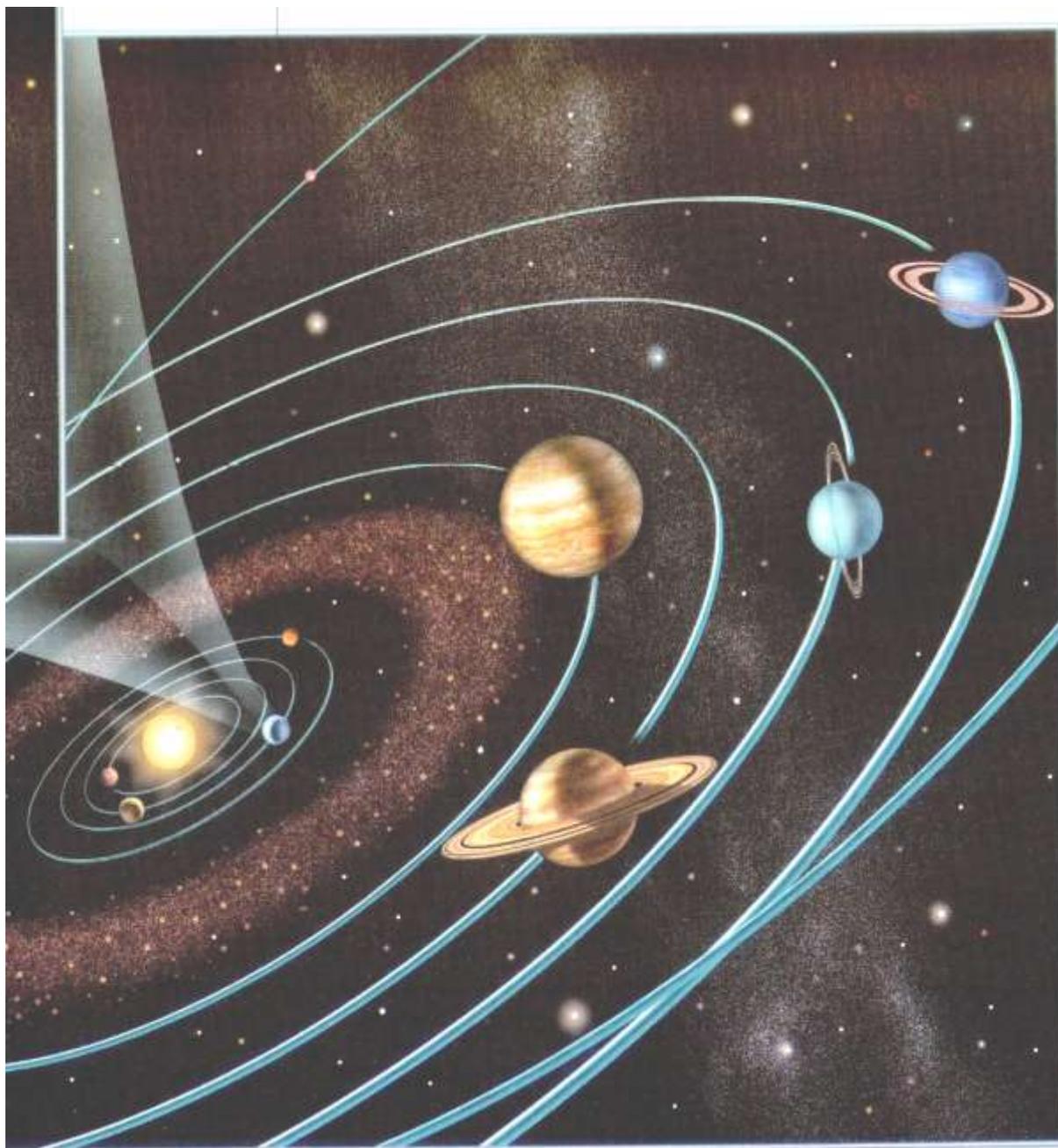
Таким образом, общей чертой планет земной группы является их относительно высокая плотность ( $3,34 - 5,52 \text{ г/см}^3$ ). Это указывает на то, что они сложены преимущественно твердым каменным материалом.

Содержание газов, образующих атмосферы планет очень мало, или совсем нет, как у Меркурия и Луны. Там же нет совсем воды. На Венере в малых количествах вода присутствует в виде пара в атмосфере, а на Марсе вода находится в замороженном состоянии. На Земле вода может находиться в жидком, парообразном и твердом состояниях.

**Малые тела – астероиды и кометы** – это малоизмененные представители того вещества, из которых образовались планеты. Некоторые астероиды и кометы пересекают орбиту Земли, например, группы Аполлон, сталкиваются с ней. Из геологической летописи мы знаем, что такие столкновения опасны для биосферы Земли.

**Астероиды** – это сравнительно небольшие твердые тела. Они также как и планеты, вращаются вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера, образуя пояс астероидов. Астероиды – это источник падающих на Землю метеоритов – «парящих в воздухе». Ежегодно на Землю падает до 10 000 т космического вещества, но главным образом, пыль. Частицы пыли нагреваются до температуры более  $10\,000^\circ\text{C}$ , либо сгорают, либо достигают Земли. Их в Антарктиде найдено в настоящее время около 20 000 штук. По химическому составу метеориты близки к ультраосновным и основным магматическим горным породам. Они свидетельствуют о том, что Луна, Марс, сложены из того же вещества, что и Земля. В научных журналах есть данные, что в метеоритах обнаружены микроорганизмы (грибы, цианобактерии и т.д.).

**Кометы** приходят с периферии Солнечной системы в ее внутреннюю часть. Здесь у них образуются светящая «кома» и «хвост». Мы их видим невооруженным глазом. «Кома» - это облако газа и пыли, а ядро «комы» размером от 1 до 20 км в поперечнике, состоит из смеси льда и пыли. Кометы движутся вокруг Солнца по сильно вытянутым орбитам с периодом вращения около 200 лет.



**Рис. 2. Планеты Солнечной системы**

Таблица 2

## Сведения о планетах

Планеты	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Среднее расстояние от Солнца, млн км а. е.	58 0,39	108 0,72	149,6 1,00	227,9 1,52	778,3 5,2	1427 9,54	2870 19,18	4497 30,06	59 13 39,53
Период обращения вокруг Солнца	88 сут	225 сут	365 сут	687 сут	11,86 лет	29,5 лет	84 года	165 лет	248 лет
Наклон орбиты к плоскости орбиты Земли, град.	7	3,4	0	1,85	1,3	2,49	0,77	1,77	17,15
Период вращения	58,65 сут	243 сут	24ч	24,62 ч	9,92ч	10,5 ч	17,24ч	16,1 ч	1 ч 6,4 сут
Наклон экваториальной плоскости к плоскости орбиты, град.*	-0	177,3	23,27	23,98	3,12	26,73	97,72	28,8	122,46
Диаметр, км	4878	12100	12756	6778	142924	120536	51118	49532	2274
Масса, г **	3,3(26)	4,9(27)	5,98 (27)	6,4(26)	1,9(30)	5,68 (29)	8,63 (28)	1,02(29)	1,25(25)
Средняя плотность, г/см'	5,44	5,3	5,5	3,9	1,33	0,687	1,32	1,64	2,05
Состав	Силикаты, железо	Силикаты, железо	Силикаты, железо	Силикаты, железо	H <sub>2</sub> , He, силикаты	H <sub>2</sub> , He, силикаты	H <sub>2</sub> , He, силикаты	H <sub>2</sub> , He, H <sub>2</sub> O, силикаты	Льды, силикаты
Атмосфера	Нет	Мощная CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	Разреженная, CO <sub>2</sub>	Мощная, H <sub>2</sub> , He	Разреженная N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>			
Магнитное поле	Есть	Нет	Есть	?	Есть	Есть	Есть	Есть	?
Спутники	Нет	Нет	1	2	16	17	15	8	1

\* Значения углов больше 90<sup>0</sup> указывают на обратное вращение, например значение 177,3° для Венеры показывает, что экваториальная плоскость наклонена к плоскости орбиты Венеры на 2,7° (180–177,3 = 2,7), но Венера вращается в обратную сторону.

\* Цифры в скобках - показатель степени множителя 10, например. 3,3 (26) - это 3,3 · 10<sup>26</sup>.

## 2.2. Строение земной коры, мантии и ядра

Представления о строении и составе внутренних оболочек Земли основывается на комплексных геофизических исследованиях недр. Главным из них является сейсмический метод (от греч «сейсма» – сотрясение).

Каково же внутреннее строение Земли? По данным сейсмического зондирования, исходя из скоростей прохождения сейсмических волн, выделяют три главные сферы Земли: *земной коры, мантии* и внешнего и внутреннего *ядра*. И сферы отделены одна от другой поверхностями раздела, в которых резко меняются величины скоростей прохождения сейсмических волн. Разрез земного шара с указанием мощности оболочек представлен на рис. 3.

Земная кора имеет толщину 5–40 км, мантия – 2900 км, внешнее ядро – 2220 км, радиус внутреннего ядра равен 1255 км.

Ученые считают, что течение расплавленного железа во внешней части ядра работают как «динамо-машина» и являются причиной существования магнитного поля Земли. Внешнее ядро обладает свойствами жидкости, а внутреннее ядро сложены твердым веществом.

Земная кора, тонкая в планетарном масштабе, но важная как источник минеральных ресурсов или полезных ископаемых (рис.3). Земная кора в классическом варианте отождествляется с понятием литосферы, т.е. самой верхней каменной оболочкой Земли. Ее верхняя граница проводится по поверхности суши и дну морей и океанов, а нижняя – по поверхности Мохоравичича (названа в честь югославского геофизика-сейсмолога) или Мохо (рис. 3). Граница эта находится на глубинах 30–80 км в области континентов, 15–5 км в области океанов.

Земная кора, располагающаяся выше границы Мохо, состоит из известных горных пород – магматическими, осадочными и метаморфическими.

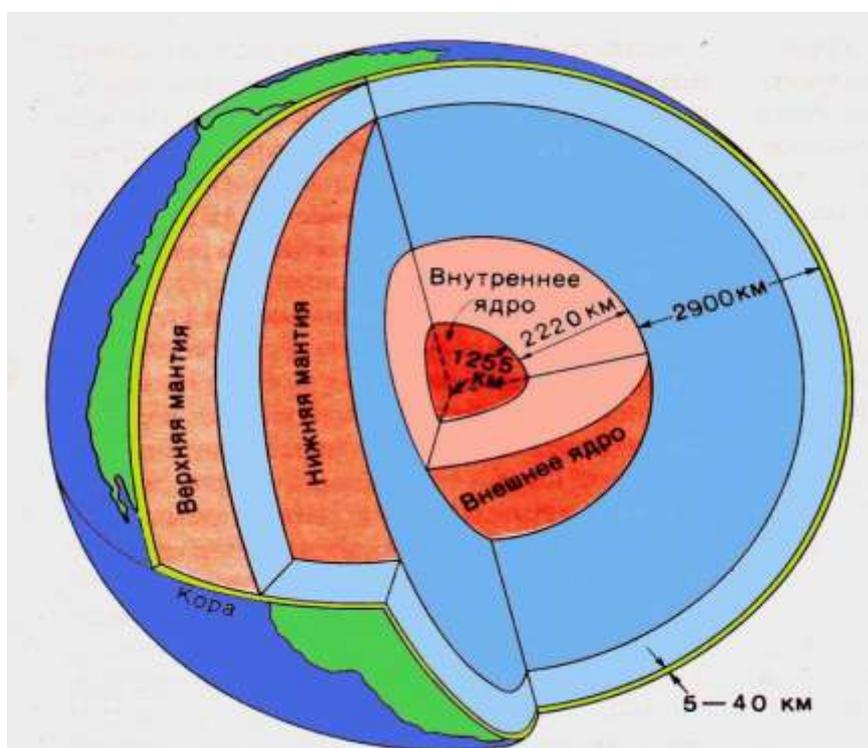


Рис. 3. Внутреннее строение Земли

Средняя мощность земной коры примерно около 20 км; под океанами 10 км, а под материками 43 км.

По последним научным данным принято считать, что земная кора является лишь частью литосферы. Литосфера включает земную кору и самую верхнюю, наиболее упругую часть мантии мощностью около 100 км.

Литосферу непосредственно подстилает более пластичный и подвижный слой верхней мантии – *астеносфера* (от греч. «астенос» - «слабый»). Здесь

породы находятся в расплавленном состоянии, которые могут медленно течь. Глубина ее залегания 150 км. Именно литосфера и астеносфера являются главными проявлениями тектонических процессов. Движение литосферы

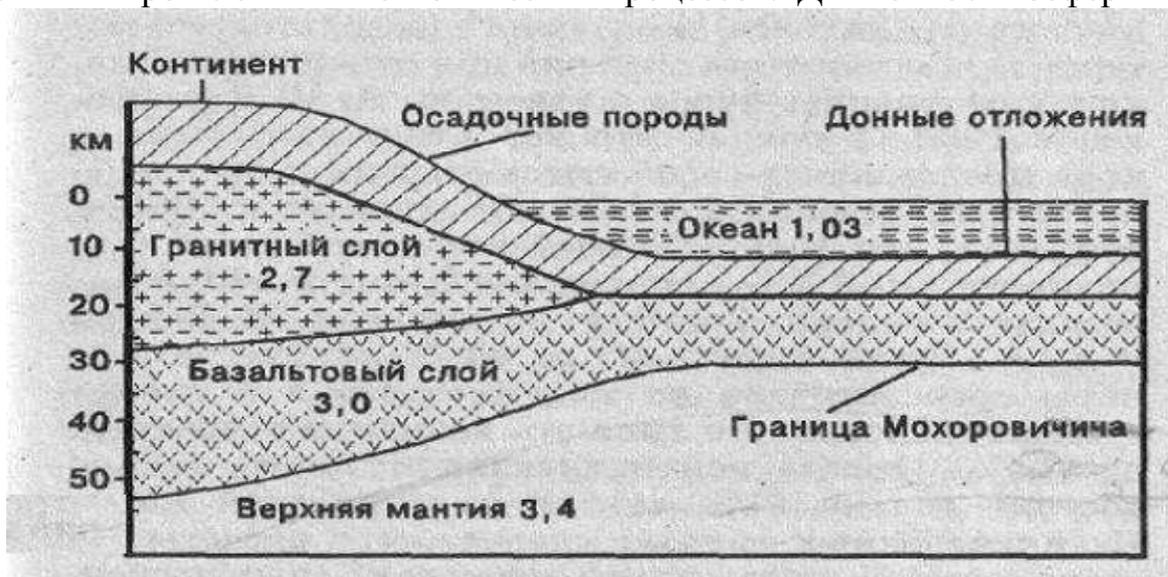


Рис. 4. Разрез земной коры (литосферы)

Примечание: Цифры означают среднюю плотность материала, г/см<sup>3</sup>

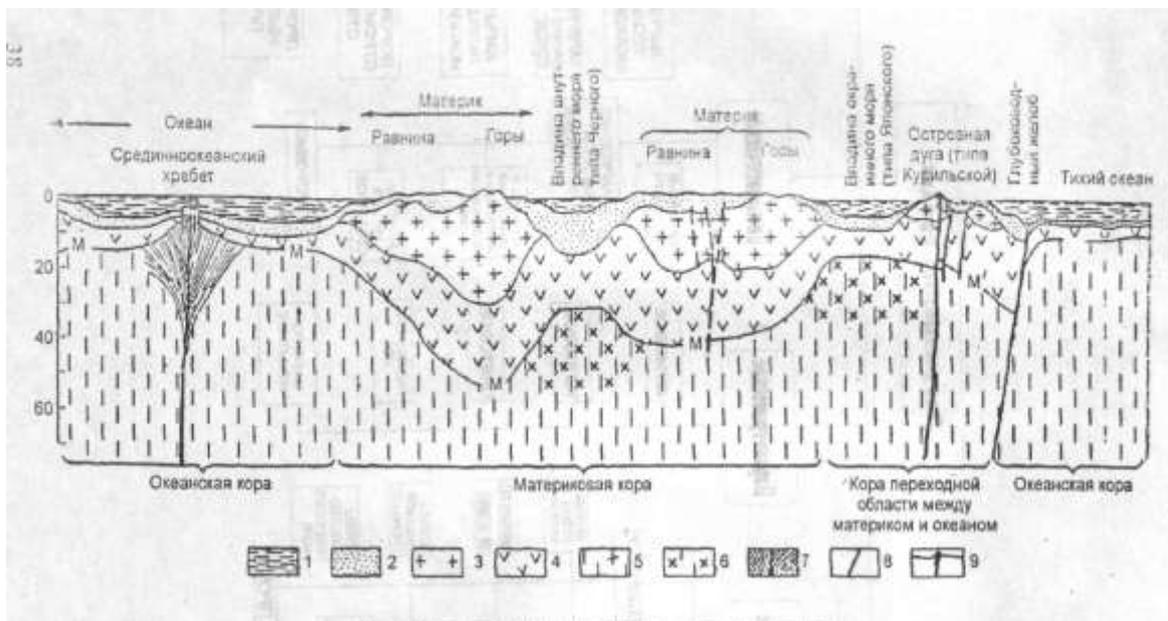


Рис. 5. Строение земной коры материков и океанов

1 - вода; 2 - осадочные породы; 3 - гранитометаморфический слой; 4 - базальтовый слой; 5 - мантия Земли (М - поверхность Мохоровичича); 6 - участки мантии, сложенные породами повышенной плотности; 7 - участки мантии, сложенные породами пониженной плотности; 8- глубинные разломы; 9- вулканический конус и магматический канал

выражаются в перемещении отдельных ее участков в вертикальном (поднятия и опускания) или горизонтальном направлении по пластичному слою

мантии – астеносфере. В связи с этим получает признание новейшая геологическая теория, рассматривающая литосферу Земли как систему подвижных блоков – литосферных плит.

Земная кора в горизонтальном направлении, в свою очередь, делится на два типа: континентальную и океаническую (рис. 4). Первая состоит из трех слоев: «осадочного», «гранитного» и «базальтового». Океаническая кора рассматривается как двухслойная (без «гранитной» части) мощностью 10 км. Земная кора состоит на 95% из изверженных пород (базальтов и гранитов), на 5 % – из осадочных пород. Наиболее важной формой химических элементов в земной коре являются минералы. Накопление какого-либо элемента выше его среднего содержания ведет к образованию месторождения полезного ископаемого.

Как в пределах континентов, так и под дном морей и океанов выделяются *подвижные* участки и относительно *устойчивые* площади земной коры.

К *подвижным* поясам континентов относятся молодые горные сооружения, такие как Альпы, Карпаты, Кавказ, Памир, Гималаи и т.д. В океанах подвижными поясами называют срединно-океанические хребты, а также островные дуги (Курильская, Японская) и глубоководные желоба. В их пределах зафиксированы самые глубокие области Земли, глубина которых превышает 8000 м.

На континентах к *устойчивым* областям относятся платформы – Восточно-европейская, Сибирская Африканская, Австралийская и другие платформы.

У Земли есть естественный единственный спутник – *Луна*. Она по одной из гипотез образовалась из обломков, которые постепенно притянулись друг к другу. Луна движется вокруг Земли на среднем удалении 384 000 км, но непрерывно на 2–4 см в год удаляется от Земли. Луна повернута к Земле всегда одной стороной. Период ее вращения вокруг Земли равен периоду ее вращения вокруг своей оси и составляет 29, 5 земных суток.

Наш спутник светится, потому что отражает солнечный свет. На протяжении месяца для нас освещены разные части видимой стороны Луны – в зависимости от ее места на орбите. В новолуние Солнце освещает видимую нам сторону Луны, поэтому вместо нее на фоне звезд просто черное пятно. В полнолуние на небе ровный яркий круг. В остальные фазы лунный диск неполный. Между новолунием и полнолунием Луна на небе как будто растет и называется «молодой». А между полнолунием и новолунием она «убывает» и «стареет».

Иногда Луна, Земля и Солнце выстраиваются по одной прямой, и возникают затмения. Когда Луна проходит в земной тени, наступает лунное затмение. Лунный диск медно-оранжевый – на него падает часть солнечного света, отфильтрованного нашей атмосферой. Перед тем как Луна полностью закроет Солнце, его свет создает эффект кольца с бриллиантом. Край раскаленного

шара сияет драгоценным камнем, а солнечная корона сияет вокруг темного лунного диска – Солнечное затмение.

Атмосферы и магнитного поля у Луны нет. Лунное притяжение в 6 раз слабее земного. Небо на Луне всегда черное. На экваторе температура поверхности в полдень достигает  $+150^{\circ}\text{C}$ , а ночью опускается до  $-150^{\circ}\text{C}$ . На Луне есть два типа местности – материка (83%) и лунные «моря» (17%). Материки выглядят как светлые, т.к. сложены светлыми породами – полевыми шпатами. Лунные «моря» – это темные базальтовые равнины, образующие понижения среди материков. В лунных породах оказалось всего 10% железа, тогда как Земля состоит на 30% из него (ее ядро целиком железное). Слабая метеоритная бомбардировка поверхности Луны привела к формированию лунного грунта – *реголита* – мощностью всего несколько метров. Летавший на Луну американский космонавт – геолог Г. Шмидт метко выразился, что слабая переработанность поверхности Луны за последние 3–4 млрд. лет делает ее «запыленным окном в изучении происхождении и эволюции Земли». Вопрос о происхождении Луны остается открытым. Пока известно только одно: Земля и ее спутник имеют один и тот же возраст.

### 2.3. Влияние космических процессов на развитие Земли

Специалисты считают, что геологические процессы и историю Земли невозможно правильно понять, не учитывая того, что Земля существует и развивается в космическом пространстве. Рассмотрим три аспекта влияния космических процессов на развитие Земли.

Взаимодействие Луны и Земли выражается, прежде всего, в твердых приливах, вызываемых лунным притяжением. Главный «тормоз» – Луна, вызывающая приливы и отливы в морях, земной коре и атмосфере. Луна тянет против вращения Земли и противодействует ему. Гравитационное притяжение Луны оказывает влияние на сейсмическую активность Земли, обуславливая ее суточную и более крупную, 10-летнюю периодичность.

Опыты, проведенные астронавтами, показали, что Луна влияет на земной климат. У нас регулярно сменяются времена года – из-за наклона собственной оси вращения Земли к плоскости ее орбиты под средним углом  $66^{\circ}33'$ . Луна его стабилизирует, так что он колеблется в пределах всего  $1^{\circ}3'$ . Без Луны наклон земной оси значительно колебался бы, что привело бы к длительности дней и ночей до полугода. Кроме этого, Луна влияет на скорость вращения Земли вокруг своей оси. Примерно 370 млн. лет назад год длился 400 суток, а сейчас – 365 с небольшим, поскольку Земля медленней обращается вокруг своей оси вследствие приливного торможения.

Следующий аспект рассматриваемой проблемы – влияние на Землю процессов, происходящих на Солнце. Выявлена периодичность в 9, 30 и 90 лет изменения земного климата в зависимости от колебаний солнечной активности.

Появились также указания на существование цикличности в 13, 19 и 23 тыс. лет, связанной с изменениями расстояния между Землей и Солнцем (Кузнецов и др., 1991).

Установлено, что Солнце и вся Солнечная система движется вокруг центра Галактики не по круговой, а эллиптической орбите с длительностью галактического года в 217 млн. лет. Поэтому условия, в которых находится Солнечная система, а значит, и наша Земля в ее крайних точках – в перигалактики и апогалактики существенно различаются.

Согласно соображениям Н.А. Ясманова (1992), «в перигалактики интенсивность солнечной радиации, достигающей земной поверхности, уменьшается вследствие прохождения Солнечной системой газопылевого облака. В это время на Земле усиливается вулканическая и сейсмическая активность, увеличивается скорость движения литосферных плит, усиливается образование глубинных разломов. В апогалактики при прохождении Солнечной системой пространства, свободного от газопылевых облаков, усиливается интенсивность космической и солнечной радиации, достигающей земной поверхности. Это и является одной из причин глобального потепления на Земле. Но кроме климатических воздействий в это время чаще происходит столкновение литосферных плит и усиливаются колебательные движения на крупных устойчивых геоструктурных блоках земной коры».

### **Вопросы для самоконтроля**

1. *Каков химический состав вещества на Солнце? Сущность реакций на нем.*
2. *Чему равен цикл солнечной активности? Почему он происходит и его влияние на Землю?*
3. *Дайте характеристику солнечного ветра и укажите его влияние на Землю?*
4. *Объясните, почему летом тепло, а зимой холодно?*
5. *Какая из планет земной группы имеет магнитное поле и вращается в противоположную сторону Земли?*
6. *Каково внутреннее строение Земли?*
7. *Чем отличается земная кора от литосферы? Разрез.*
8. *Каким границам соответствуют разделы Мохоровичича?*
9. *Почему Луна повернута к Земле одной стороной?*
10. *Чем отличается новолуние от полнолуния и почему так происходит?*
11. *Укажите влияние Луны на Землю.*

### **Литература**

- Войткевич Г.В.* Основы теории происхождения Земли.– М: Наука, 1988.–254 с.
- Рингвуд А.Е.* Состав и происхождение Земли.– М: Наука, 1988.–284 с.
- Авсюк Ю.Н.* Глобальные изменения среды и климата в сопоставлении с приливной моделью эволюции системы Земля–Луна //Геофизика на рубеже веков. – М.:ГЕОС, 1999. – С.93–106.
- Ясманов Н.А.* Галактический год и периодичность геологических событий // Докл. РАН 1992,– Е.328.– № 3.– С.373-375.

## 2.4. Химический и минеральный состав вещества солнечной системы и оболочек Земли

Рассмотрим химический и минералогический состав глубинного вещества Земли – земной коры, мантии и ядра. Расслоение Земли как и других планет земной группы на металлическое ядро и силикатную оболочку обусловлено различиями их физических свойств (плотности и температуры плавления) силикатной и металлических фаз.

*Земная кора* непосредственно доступна для геологических наблюдений и хорошо известна. Средняя мощность земной коры около 20 км, но под континентами она увеличивается до 37 км, под океанами составляет 6–7 км. Последние исследования геофизиков позволили выявить, что кора толще всего там, где вздымаются огромные горные хребты. Чем выше гора, тем глубже в недра уходят ее корни.

Мы знаем, что континентальная и океаническая земная кора отличаются не только по толщине, но и по составу. Континентальная часть земной коры состоит из трех слоев: осадочной, гранитной и базальтовой, океаническая из осадочной и базальтовой (рис.5).

На континентах широко распространены *осадочные, магматические и метаморфические* породы.

*Магматические* породы рассматриваются в качестве первичного вещества земной коры. Среди *магматических* пород преобладают граниты и базальты, различающиеся различным содержанием кремнезема. В современном представлении именно с формированием магматических расплавов в верхней мантии и поступлением их к поверхности связывают образование земной коры как наружной твердой оболочки. Базальты – это темно-зеленая или даже черная силикатная порода, содержащая кальций, натрия, магний и железо.

Магматические процессы продолжают и поныне, т.к. на поверхность Земли поступают летучие соединения, которые формируют земную атмосферу и гидросферу.

Состав коры и Венеры, Марса и Луны тот же, что и Земли. Преобладают, прежде всего, базальты.

*Осадочные* породы составляют не более 10% массы всей земной коры. В осадочной толще основную массу составляют глины, глинистые сланцы, пески и песчаники. Они залегают на так называемом кристаллическом основании, сложенном приблизительно равными количествами магматическими и метаморфическими породами. Осадочные породы произошли в результате выветривания магматических пород на поверхности континентов.

*Метаморфические* породы произошли в результате погружения магматических пород в область повышенных температур и давлений. Среди *метаморфических* пород преобладают кристаллические сланцы и гнейсы.

Отсюда наиболее распространенные минералы в земной коре – *полевые шпаты* (граниты и базальты) и *кварц* (граниты). Совместно с глинистыми минералами (продуктами выветривания полевых шпатов) и слюдами (продуктами метаморфического изменения глинистых минералов) они составляют более 90 % всей массы земной коры. В земной коре (силиале) характерными являются элементы, имеющие низкую температуру плавления – алюминий, кремний, натрий, калий, кальций, литий и другие.

Возраст у континентальной коры превышает 3 млрд. лет, у океанической – не более 150–170 млн. лет.

**Мантия** представлена ультраосновными породами, главным образом перидотитом. Они обеднены кремнеземом, но обогащены железом и марганцем. Главными минералами перидотита является оливин ( $Mg_2SiO_4$ ) и пироксен ( $CaMgSi_2O_6$ ). Это зеленоватые минералы, силикаты магния и железа. Мантия занимает до 82% объема нашей планеты.

**Ядро.** Современная оценка химического вещества ядра Земли следующая: при давлениях свыше 1,5 Мбар железо, никель и сера находятся в жидкой форме, но это только во внешней части ядра. А его внутренняя часть, как бы «желток» планеты, состоит из железоникелевого сплава и ведет себя как «твердь». Температура здесь около  $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а давление в центре достигает 3 млн. атмосфер. На внешнюю часть ядра приходится около 30% всей массы планеты, а на внутреннюю 1,7% массы.

Вывод о дифференцировании (расслоении) вещества, а также представления о формировании земной коры и атмосферы в процессе выплавления и дегазации можно считать общим принципом формирования планет Земной группы.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. *Чем обусловлено расслоение Земли и других планет на слои?*
2. *Назовите три группы пород, наиболее распространенных на континентах? Какая группа из них в земной коре является первичной?*
3. *Как произошли осадочные породы? Что к ним относится?*
4. *Генезис метаморфических пород. Что к ним относится?*
5. *Какие наиболее распространенные минералы в земной коре?*
6. *Каков химический и минералогический состав мантии Земли?*
7. *Дайте современную оценку химического состава ядра?*

### **Литература**

1. *Бетехтин А. Г.* Курс минералогии. – М.: Госгеолтехиздат, 1961 – 289 с.
2. *Годовиков А. А.* Краткий очерк по истории минералогии.– М., Наука, 1998.– 432 с.
3. *Григорьев Д. П.* Основы конституции минералов. – М.: Недра, 1966.–45с.
4. *Костов И.* Минералогия: Пер. с болгар. –М.: Мир, 1971.–654 с.
5. *Лазоренко К. К.* Курс минералогии.– М.: Высш. шк., 1971.–245 с.
6. *Смолянинов Н. А.* Практическое руководство по минералогии.–М.: Недра, 1999.– 432 с.

## Глава 3.

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЗЕМЛИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

#### 3.1. Гравитационное поле Земли

*Гравитация* (от лат. *gravitas* – тяжесть), явление взаимодействия любых материальных масс (обычным веществом, любыми физическими полями и т.д.). Если сила взаимодействия относительно слабая, а тела движутся медленно по сравнению со скоростью света в вакууме, то справедлив *закон всемирного тяготения Ньютона*. В случае сильных полей и скоростей пользуются общей теорией относительности А. Эйнштейна.

Закон всемирного тяготения Ньютона определяет форму и законы движения небесных тел и связан по теории относительности с пространственно-временным масштабом Вселенной. Гравитация связывает все тела во Вселенной. Космический корабль, на котором господствует невесомость, все равно притягивается Землей. Сила земного притяжения удерживает его на орбите вокруг Земли. Гравитационное поле Земли обусловило сферическую форму Земли, существование атмосферы.

Рассмотрим изменение силы тяжести в *пространстве*. Мы знаем из физики, что ускорение свободного падения на экваторе меньше, чем на полюсах. По современным данным его значение на экваторе составляет 978 Гал, а на полюсах – 983 Гал (Гал – единица измерения ускорение свободного падения, названная в честь Галилео Галилея;  $1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2$ ). Причина этого в том, что Земля немного сплюснута у полюсов. Ускорение силы тяжести на поверхности Луны равно 162, 2 Гал.

Все, что обладает массой, должно испытывать действие гравитации. Препятствие для всемирного тяготения не существует. Физики называют гравитационные силы дальнодействующими.

Мы не ощущаем притяжения большинства тел. Например, сила притяжения самых высоких гор (восьми тысячники в Азии – Эверест, Чогори и т.д.) составляет тысячные доли процента притяжения Земли.

Нужна ли растению сила тяжести? Для развития растений тяготение, пусть даже малое, жизненно необходимо. О силах природы, заставляющих корень стремиться к центру планеты, а стебель – в противоположном направлении, думали многие ученые. Они признавали, что единственной причиной этого является земное притяжение.

Сила тяжести изменяется и во *времени*. Самое простое и общеизвестное изменение силы тяжести связано с гравитационным влиянием Луны и Солнца. Близость крупного спутника оказывает на Землю сильное и благотворное влияние. Например, Луна вызывает приливы, которые своим трением замедляют вращение Земли вокруг собственной оси.

*Океанические приливы:* луна притягивает воду океанов, вызывая ее подъем с ближайшей к себе стороны – *прилив*. Одновременно притягивается и наша планета, поэтому с обратной от Луны стороны тоже наступает прилив. Выше всего приливы во время полнолуния и новолуния (эти фазы называют *сизигиями*), ниже всего – во время четвертой Луны (квадратур).

Ежедневные приливные колебания уровня моря на Земле определяются Луной и в меньшей степени Солнцем. Их гравитационное притяжение приводит в движение всю массу воды на планете. Но амплитуда прилива зависит от места и времени взаимного расположения Земли, Луны и Солнца. В Средиземном море вода поднимается и опускается всего на несколько см, а в заливе Фанди на востоке Канады – на 20 м: это мировой рекорд.

Закон всемирного тяготения стал основой *гравиметрии* – одного из методов современной геофизики при поисках полезных ископаемых. Гравиметрия основана на изучении аномального гравитационного поля, обусловленного геологическим строением и разной плотностью пород земной коры.

До конца XIX столетия средством измерения силы тяжести были маятниковые приборы. Сейчас используют гравиметры – высокоточные пружинные весы. Наиболее широко применяется этот прибор при поисках нефти и газа, рудных месторождений. С помощью гравиразведки можно определить толщину льда – это делается при исследовании ледников Антарктиды и Гренландии. Она используется для определения границ между осадочным чехлом и кристаллическим фундаментом на платформах, а также глубину залегания нижней границы земной коры – поверхности Мохо. Метод сравнительно дешев, оперативен в безвреден в применении, но его следует для точности применять вместе с другими методами.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. *Чем определяется гравитация? В чем сущность закона?*
2. *Как изменяется сила тяжести в пространстве?*
3. *Почему гравитационные силы называют дальнедействующими?*
4. *Что такое гравиметрия? Принцип ее действия?*
5. *Как изменяются силы тяжести во времени?*

### **3.2. Тепловое поле Земли**

Вся история геологического развития Земли (более 4 млрд. лет) связана с выделением или поглощением тепла. Благодаря низкой теплопроводности нашей планеты тепло, передаваемое из ядра через мантию в земную кору, может и не достигнуть земной поверхности. Каждый год планета выделяет в космическое пространство примерно около  $10^{21}$  Дж тепла. За одну секунду Солнце излучает во много раз больше ( $5,5 \cdot 10^{24}$  Дж). Поступающая от Солнца лучистая энергия распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн со скоростью 300 000 км в секунду. Солнечная энергия, дошедшая до

поверхности земли в виде прямых солнечных лучей называется прямой солнечной радиацией. Часть тепла от поверхности вновь отражается в космос. Таким образом, Земля непрерывно излучает тепло в космическое пространство, одновременно поглощая его в виде солнечной радиации.

Основные источники земного тепла:

- а) распад радиоактивных элементов;
- б) приливное взаимодействие Земли и Луны;
- в) процессы гравитационной или плотностной дифференциации вещества.

Наибольшее значение в энергетическом балансе Земли придается теплу, выделяющему при распаде радиоактивных элементов.

Неглубоко под земной поверхностью находится слой среднегодовых постоянных температур. Глубина этого слоя неодинаковая для разных регионов России. Ниже слоя среднегодовых постоянных температур начинается увеличение ее. Увеличение температуры при погружении на 1 м характеризует величину геотермического градиента. Его измеряют в градусах на 100 м.

Величиной, обратной геотермическому градиенту является *геотермическая ступень, т.е. глубина, при погружении на которую температура увеличивается на 1 градус.*

Поскольку горные породы обладают разной теплопроводностью, то изучение вертикальных изменений геотермического градиента позволяет расчленять геологический разрез по глубине.

Установлено, что тепловое поле отражает современное состояние геологической активности регионов.

Наиболее *низкий* потенциал (35–55 МВт/м<sup>2</sup>) характеризует древние докембрийские платформы и дно океанов.

Чем моложе геологическая структура, тем выше среднее *тепловое поле* (ТП). *Высокие* значения ТП (более 170–200 МВт/м<sup>2</sup>) характерны для областей с резко расчлененным рельефом, там где океаническая кора погружается под континентальную (процессы субдукции). К таким районам относятся срединно-океанические хребты с рифтовыми долинами и островными дугами типа Исландии, Камчатки и Гавайских островов (рис. 5). Почему? Здесь наблюдается вынос тепла из недр Земли путем выхода на поверхность термальных вод и извержений вулкана.

Мы знаем, что геотермальные ресурсы Земли используются для выработки электроэнергии, обогрева теплиц, жилых и промышленных зданий, в бальнеологических целях. Например, на глубине 1 км от поверхности Земли температура воды на Паужетке (Камчатка) равна +250° С, Северного Кавказа + 100–120° С. Геотермальные ресурсы сейчас находят применение в 60 странах мира. Это экологически чистое, возобновляемое сырье.

В настоящее время завершается в Москве работа большего коллектива ученых и специалистов по подготовке энергетической стратегии России на период до 2020 года. Высшим приоритетом энергетической стратегии России является максимальное использование природных экологически чистых

топливно-энергетических ресурсов. К ним относятся возобновляемые источники энергии (ВИЭ): Солнца, ветра, тепла Земли, энергии малых рек. Экономический потенциал ВИЭ на территории России, выраженный в тоннах условного топлива (т.у.т.), составляет по видам источников: энергия Солнца – 12,5 млн., энергия ветра – 10 млн., тепло Земли – 115 млн., энергия малых рек – 65 млн. (Безруких,02).

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1. Охарактеризуйте основные источники тепла Земли?*
- 2. Что такое геотермическая ступень?*
- 3. Как отражается тепловое поле на состоянии геологической активности регионов?*
- 4. Где и как в России используют геотермальные ресурсы Земли?*
- 5. Какие еще источники энергии относятся к возобновляемым и экологически чистым топливно-энергетическим ресурсам?*

### **3.3. Магнитное поле Земли**

У Земли, также как и Меркурия – планет земной группы – есть магнитное поле. Магнитное поле Земли простирается на 20–25 радиусов (радиус Земного шара: экваториальный – 6 378 км, полярный – 6 357 км) и образует третий, «броневой», пояс, окружающей нашу планету наряду с атмосферой и ионосферой.

Магнитное поле защищает нашу Землю от мощного потока космических частиц – протонов, альфа-частиц, небольшого количества электронов и других.

Все населяющие землю живые существа возникли и постоянно находятся под воздействием магнитного поля Земли. Известно, что магнитное поле Земли пульсирует с частотой от 8 до 16 колебаний в секунду. Ученые считают, что с такой пульсацией связан головной ритм биопотенциалов головного мозга человека. Хаотически изменяющаяся частота колебаний магнитного поля Земли, например, в период магнитных бурь на Солнце, может навязывать биологическим процессам несвойственные им ритмы.

Представим магнитное поле Земли в виде геоцентрического диполя с наклоном оси в 11,5 градусов.

Диполь – это маленький магнетик, смещенный в восточном полушарии от центра Земли на 430 км (рис.6). Силовые линии магнитного поля «входят» в планету вблизи Северного географического полюса и «выходят» вблизи Южного. Напряженность современного магнитного поля Земли составляет около 0,1 А/м.

Проблема происхождения магнитного поля Земли не может считаться решенной. Общеизвестной является современная гипотеза «магнитного гидродинамо» – возникновения геомагнитного поля за счет конвекции жид-

кого вещества во внешнем ядре Земли. Она основана на признании существования жидкого внешнего ядра. Внутреннее ядро с глубины 5120 км и до центра (6371 км) сложены твердым веществом.

Тепловая конвекция, т.е. перемешивание вещества во внешнем ядре способствует образованию кольцевых электрических потоков. Скорость перемещения вещества в верхней части жидкого ядра меньше, а в нижних слоях – больше относительно мантии в первом случае и твердого ядра – во втором. Подобные медленные течения вызывают формирование тороидальных, замкнутых по форме электрических полей. Благодаря взаимодействию тороидальных электрических полей с конвективными течениями во внешнем ядре возникает суммарное магнитное поле дипольного характера.

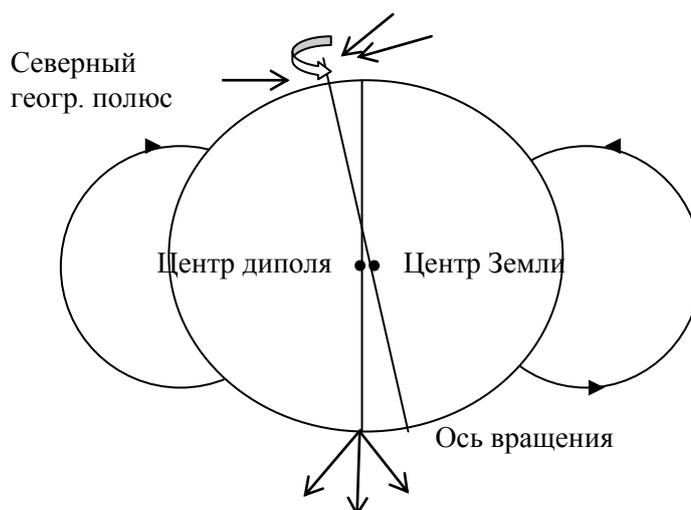


Рис. 6. Схема магнитного поля Земли

Разные породы в земной коре намагничены по-разному. Наибольшую намагниченность горных пород создают минералы, содержащие железо. Так, в 20-е годы XX века были обнаружены магнитные породы, образующие Курскую магнитную аномалию.

Моделируется по остаточной намагниченности горных пород возможность инверсии магнитного поля в истории Земли. Время, в течение которого происходит изменение знака полярности, может быть до 1000 и 1000000 лет. Многие исследователи считают, что к этим периодам приурочена резкая смена животного и растительного мира: исчезновение одних видов, появление других.

Известно также, что Северный полюс нашей планеты не «стоит» на одном месте. За год он может, совершая сложные круговые движения, «пройти» путь до 100 м. Одни ученые связывают движения полюса с перемещением атмосферных масс, другие – с взаимодействием между ядром Земли и ее мантией, третьи ищут объяснения в перемещениях земной коры.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какова роль магнитного поля вокруг Земли? Частота его пульсации?
2. Нарисуйте и объясните схему магнитного поля Земли.
3. Какова современная гипотеза происхождения магнитного поля Земли?

## Глава 4.

### ГЕОТЕКТОНИКА КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ГЕОДИНАМИКИ

#### 4.1. Тектоника плит и напряженное состояние земной коры

Земные недра никогда не бывают спокойны. Под влиянием происходящих в них процессов поверхность планеты деформируется – поднимается и опускается, растягивается и сжимается, покрывается сетью трещин, создавая основу рельефа Земли.

**Тектонические движения** – это любые механические перемещения внутри земной коры, которые приводят к изменению ее строения.

Еще в 1758 году М.В. Ломоносов в своем труде «О слоях Земли» (1763) впервые дал определение и выделил два типа тектонических движений: «Существуют нечувствительные долговременные земной поверхности повышения и понижения и резкие быстрые трясения Земли». Примеров этому достаточно много: Скандинавское побережье поднимается, а Голландия и Германия опускаются; долина реки Рейн на 500 км прослеживается в Северном море, а полуостров Канин Нос (Белое море) во времена Ивана Грозного был островом. Таким образом, земная кора постоянно находится в движении, которые вызывают её деформацию (изменение формы).

В современной геологии выделяют два основных типа тектонических движений: *эпейрогенические* (или колебательные) и *орогенические* (складчатые).

**Эпейрогенические** движения – медленные вековые поднятия и опускания земной коры, не вызывающие изменения первичного залегания пластов. Эти вертикальные движения имеют колебательный характер и обратимы, т.е. поднятие может смениться опусканием. Среди этих движений различают современные и древние.

**Современные**, которые зафиксированы в памяти человека и их можно измерить инструментально путем проведения повторного нивелирования. Скорость современных колебательных движений в среднем не превышает 1–2 см/год, а в горных районах она может достигать и 20 см/год.

**Древние** медленные вертикальные движения зафиксированы в разрезах осадочных пород. Причем мощность накопившихся осадков рассматривается как мера тектонического опускания за время накопления осадка, а сама сло-

стость и их ритмичность – показатели колебательных движений. Скорость древних колебательных движений по оценке ученых меньше 0.001 мм/год.

Колебательные, или эпейрогенические (от греч. «эпейрос» – континент, «генезис» – рождение), движения поднимают или опускают огромные участки суши и океанов. Они определяют очертания морей и континентов. Опустившаяся территория затапливается морем – происходит морская трансгрессия. Поднятие вызывает регрессию – отступление моря. Недаром они названы колебательными – крупные опускания и поднятия происходят не сразу. В одном и том же месте они неоднократно сменяют друг друга, и только через длительный промежуток времени становится ясно, какие процессы являются преобладающими на данной территории.

В некоторых местах колебания происходят гораздо быстрее, до нескольких сантиметров в год. В Италии, на берегу Неаполитанского залива, прямо из воды поднимаются мраморные колонны, ещё в эпоху Древнего Рима поддерживавшие крышу рынка небольшого приморского городка. Поверхность колонн испещрена круглыми дырами, проделанными морскими моллюсками. За два тысячелетия колонны то погружались в море, то снова оказывались на суше. Сейчас они снова погружаются со скоростью около 2 см в год.

Погружение берегов Северного моря заставило жителей Голландии ещё в XI в. начать строительство высоких дамб, защищающих их от моря.

Ботнический залив – крупнейший залив Балтийского моря – постепенно высыхает. Очертания его берегов всё время изменяются: мелеют гавани, высыхают участки дна, увеличиваются высота и площадь островов, они сливаются друг с другом в с берегом. Подсчитано, что через 8 тыс. лет северная часть залива превратится в замкнутое озеро. Дно залива поднимается в своей южной части со скоростью 4–5 мм в год, а в северной – до 9–10 мм в год. Мало того, поднимаются весь Скандинавский полуостров, Финляндия, Карелия, Кольский полуостров. Поднятие началось около 10 тыс. лет назад после таяния гигантского ледникового щита, под тяжестью которого земная кора прогнулась на сотни метров.

**Орогенические** движения происходят в двух направлениях – горизонтальном и вертикальном. Первое приводит к смятию пород и образованию складок и надвигов, т.е. к сокращению земной поверхности. Вертикальные движения приводят к поднятию области проявления складкообразования и возникновению горных сооружений.

Орогенические движения протекают значительно быстрее, чем колебательные. Они сопровождаются активными эффузивным и интрузивным магматизмом, а также метаморфизмом. В последние десятилетия эти движения объясняются столкновением крупных литосферных плит, которые перемещаются в горизонтальном направлении по астеносферному слою верхней мантии.

Основной областью накопления осадков является дно морей и океанов. Здесь осадки часто отлагаются в виде параллельных, практически горизон-

тальных слоев. Однако в процессе геологического развития первоначальные формы залегания горных пород обычно нарушаются под влиянием эндогенных процессов, главным образом тектонических движений земной коры. Всякое нарушение первоначального горизонтального залегания горных пород называется *дислокацией*.

**Складкообразующие** движения наглядно проявляются в образовании складок. *Складки* – это изгибы слоев горных пород без разрыва сплошности, под действием давления. Они бывают двух основных видов — антиклинальные и синклиналильные.

*Антиклинальными* называются выпуклые складки, в которых пласты падают в противоположные стороны, а в центральных частях залегают более древние породы, чем на периферии (рис.7, а).

*Синклиналильными* называются вогнутые складки, в которых пласты падают навстречу друг другу, а в центральных частях располагаются более молодые породы, чем на периферии (рис. 7, б).

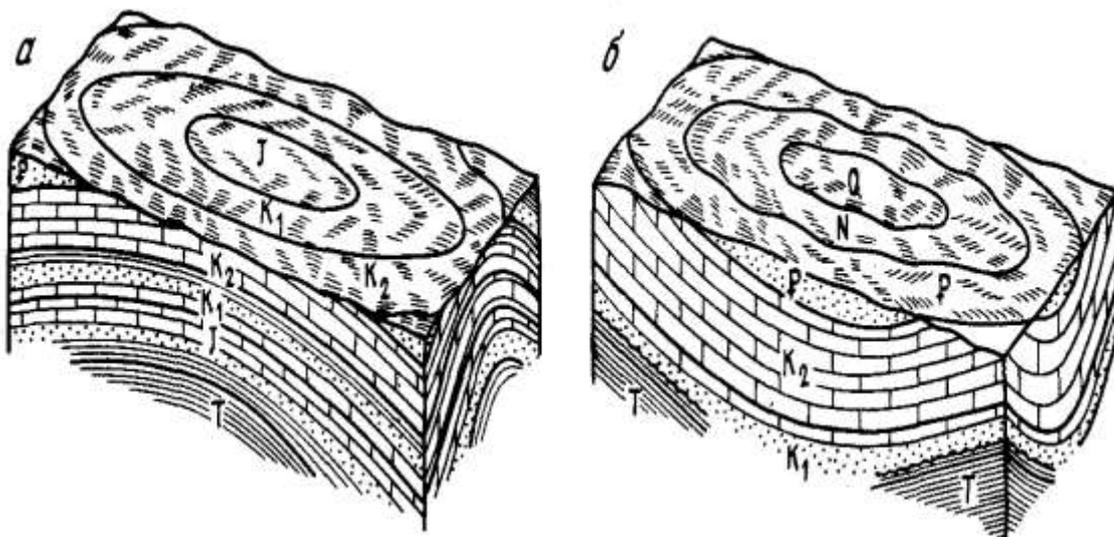


Рис. 7. Антиклинальная (а) и синклиналильная (б) складки

На снимках, сделанных из космоса, видно, что Земля разбита густой сетью трещин (разломов) на большие и малые участки – блоки. Небольшие разломы проникают в земные недра неглубоко, самые крупные (глубинные и сверхглубинные) – до 200–300 км.

По разломам отдельные блоки нередко смещаются. При опускании одной части земной коры относительно другой (геологи называют это *ступенчатым сбросом*) на поверхности образуется уступ. *Ступенчатые сбросы* представляют собой систему сбросов, в которой каждое последующее крыло опущено относительно предыдущего (рис.8, д). Если сбросы происходят последовательно, один за другим, образуется целый ряд уступов, подобных ги-

гантским ступеням.

Если опускание блоков происходит по разломам, ограничивающим их со всех сторон, образуются впадины (*грабены*). *Грабены* – это система ступенчатых сбросов, в которой центральная часть опущена относительно периферийных блоков (рис. 8, е). Крупнейшие *грабены* – *рифты* – возникают в центральных частях гигантских пологих поднятий земной коры, где её поверхность растрескивается, растягивается и проседает. Так родились Байкальская впадина; впадины огромных озёр Восточной Африки – Ньяса, Танганьика и других, входящих в Восточно–Африканский рифт; Рейнский грабен. Крупнейшие рифтовые долины расположены под водой, вдоль оси срединно–океанических хребтов.

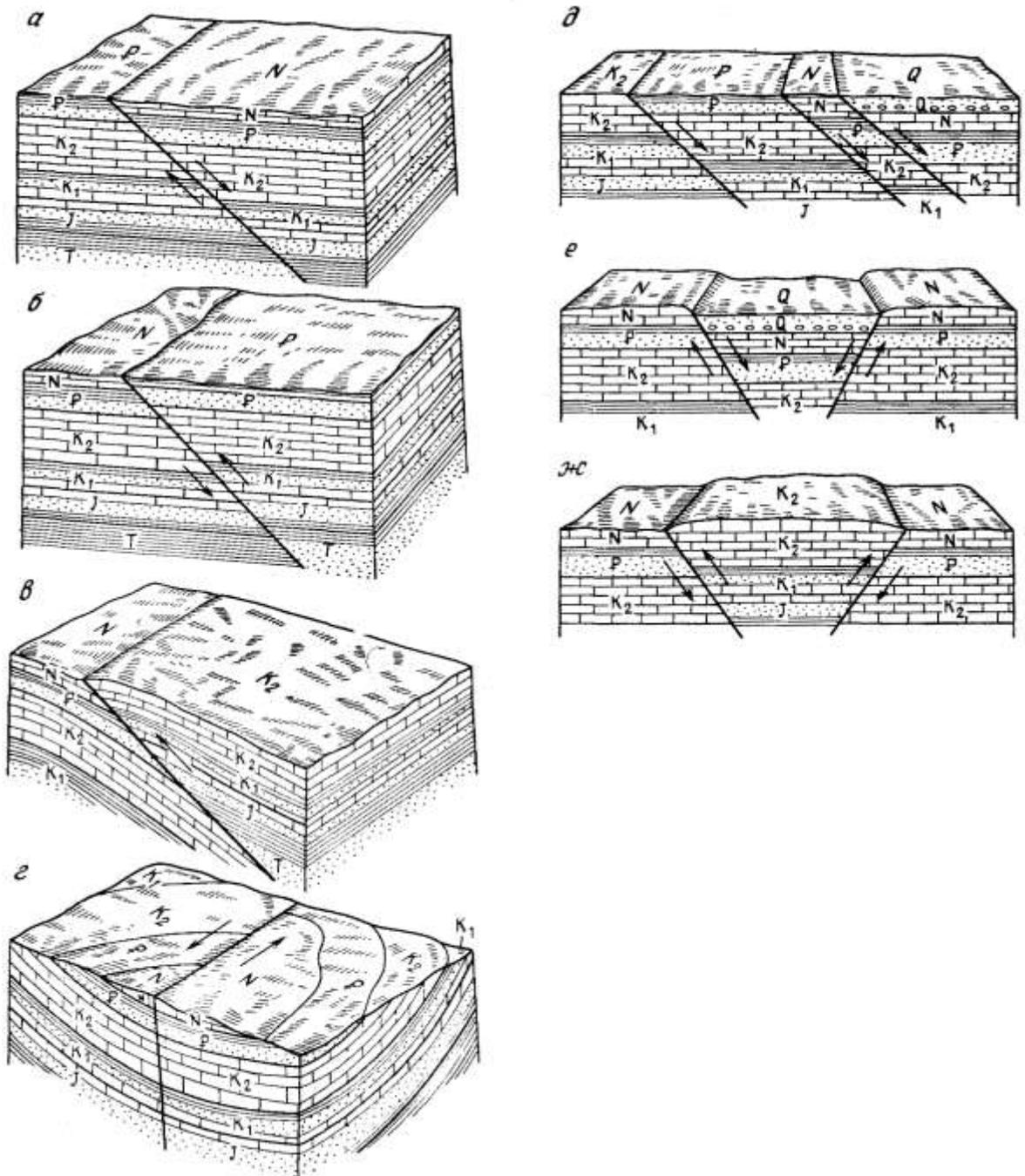
В противоположных случаях, при сжатиях земной коры, происходит поднятие по разломам отдельных блоков, возникают *горсты*. *Горсты* – система взбросов, в которой центральная часть приподнята по отношению к периферийным блокам (рис. 8, ж). Горы, образованные горстами, называют глыбовыми. Примером их служат горы Забайкалья, небольшие горы в Центральной Европе.

Блоки могут также смещаться по горизонтали относительно друг друга – происходит *сдвиг*. *Сдвиги* представляют собой разрыв, при котором блоки земной коры смещаются преимущественно в горизонтальном направлении (рис. 12, г). При сдвигах образуется вытянутая впадина. Крупные сдвиги протяжённостью в сотни километров пересекают подводные срединно–океанические хребты.

Обычно молодые породы залегают ближе к земной поверхности, более древние – глубже. Однако при образовании разломов земной коры, идущих почти параллельно земной поверхности, древние породы могут быть надвинуты на молодые (*надвиг*). *Надвиги* – разрывные дислокации типа взброса, висячее, крыло которых надвинуто на лежащее по пологому (менее 60°) сместителю (рис. 12, в). Пологие надвиги большой горизонтальной амплитуды при малом угле наклона сместителя называются *шарьяжами*, или тектоническими покровами. Горизонтальная амплитуда их может достигать 30–40 км. На поверхности надвигу соответствуют крупные уступы, особенно часто располагающиеся по границам гор и равнин. В самых больших надвигах – шарьяжах – горные породы перемещаются на десятки и сотни километров. Шарьяжи распространены в Альпах, Пиренеях, Гималаях, на Тянь-Шане и Памире.

Ещё сравнительно недавно горизонтальным движениям отводили незначительную роль в создании рельефа земной поверхности. Сейчас эта точка зрения пересматривается. Считают, что отдельные части земной коры – плиты – перемещаются по земной поверхности. На границе, где сталкиваются между собой океанские плиты, формируются глубоководные жёлоба и смежные с ними хребты островных дуг. При столкновении континентальных плит образуются мощные горные системы (Альпы, Кавказ, Гималаи). При надви-

гании континента на океан возникают протяжённые горные цепи, такие, как Кордильеры и Анды. Срединно-океанические хребты, где рождается новая земная кора, возникают там, где плиты расходятся.



**Рис. 8. Формы вертикальных и горизонтальных движений земной коры: а – сброс, б – взброс, в – надвиг, г – сдвиг, д – ступенчатый сброс, е – грабен, ж - горст**

Напряженным состоянием характеризуются не только глубокие слои земной коры, но и поверхностные. Величина напряжений на глубине 100 м составляет несколько сотен мегапаскалей.

Изучением напряженного состояния Земли на поверхности и глубине занимается новая отрасль науки о Земле – *геодинамика недр*. Теоретической базой этой науки является теория тектоники литосферных плит. Земная кора состоит из двух десятков плит, постоянно взаимодействующих друг с другом. На этих плитах «плавают» континенты и океаны. Формирование главных структур земной коры определяется горизонтальным движением их и взаимодействием сравнительно небольших пластин литосферы, которые наращиваются в одних зонах и поглощаются, уходя в мантию в других. Медленные движения вещества астеносферного слоя (верхняя мантия и ниже) через вязкое трение передают усилия в литосферу (рис.5), вызывая в ней напряжения и соответственно, деформации горных пород.

Сложное движение плит в земной коре, их силовое взаимодействие, взаимовлияние оболочек Земли и околоземного пространства, влияние лунно-солнечных приливов (отливов) и других планетарных сил и процессов, колебание силы и направленности магнетизма и электрических полей Земли приводит к крайней нестабильности строения и поведения земной коры. Земная кора в целом, как система, и ее отдельные участки (массивы горных пород) находятся в предельно напряженном состоянии.

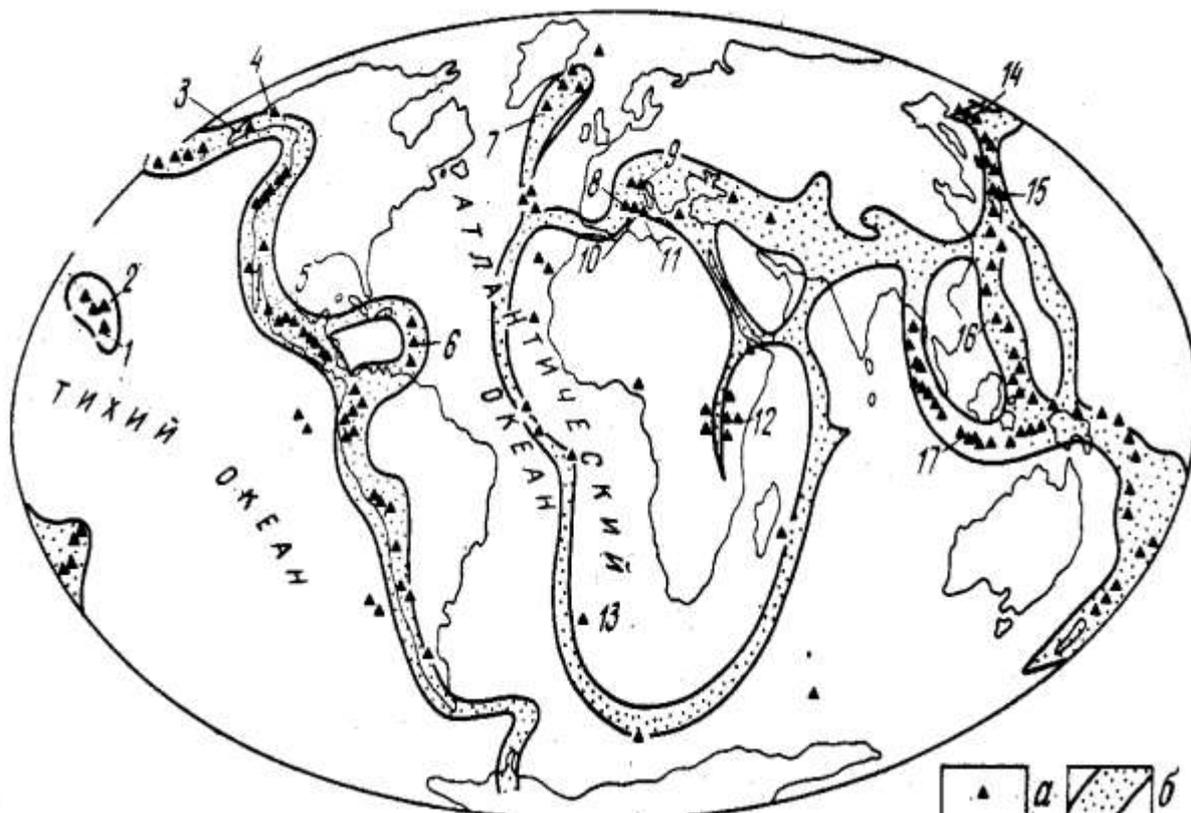
Кроме этого, все тектонические процессы (землетрясения, вулканизм, сейсмичность и т.д.) связаны с полем напряжения в земной коре. Наибольшее число землетрясений наблюдается в пределах Тихоокеанского (75%) и Альпийского (23%) поясов.

Изучение распространения действующих вулканов показывает, что вулканическая деятельность приурочена к тектонически активным участкам земного шара — областям современного горообразования и развития глубинных разломов (рис. 9). Из анализа приведенной карты следует, что большая часть действующих в настоящее время вулканов (около 60 %) сосредоточена на побережье Тихого океана, в зоне так называемого *Тихоокеанского «огненного» кольца*.

Вулканы известны здесь на Аляске и западном побережье Северной Америки, далее цепь их протягивается вдоль Тихоокеанского побережья Южной Америки до Огненной Земли. На западном побережье Тихого океана вулканы непрерывной цепочкой тянутся от Новой Зеландии через острова Фиджи, Соломоновы до Новой Гвинеи, далее через Филиппинские острова, Японию и Курильские острова на Камчатку, где сосредоточено большое количество действующих и потухших вулканов. В северной части Тихого океана известны многочисленные вулканы Алеутских островов, которые протягиваются от Камчатки к Аляске, как бы замыкая «огненное» кольцо.

Другой зоной повышенной интенсивности вулканической деятельности является *Альпийский пояс*.

Эта зона прослеживается в широтном направлении от Альп через Апеннины, Кавказ до гор Малой Азии. Здесь расположены такие вулканы,



**Рис. 9. Схема размещения областей активной тектонической и вулканической деятельности**

**а – действующие вулканы; б – основные области землетрясений**

Вулканы: 1 – Килауэа; 2 – Мауна-Лоа; 3 – Долина Десяти Тысяч Дымов; 4 – Катмай; 5 – Парикутин; 6 – МонПеле; 7 – Суртсей; 8 – Вулькано; 9 – Везувий; 10 – Стромболи; 11 – Этна; 12 – Килманджаро; 13 – Тристан-да-Кунья; 14 – Безымянный; 15 – Фудзияма; 16 – Тааль.

как Везувий, Этна, вулканы Липарских островов и Эгейского моря, Эльбрус, Казбек, Арарат и др.

В геосинклинальных (переходных) зонах наблюдают сильные *сжатия* в тех местах, где океаническая, более тяжелая и холодная, погружается (субдуцирует) под континентальную (материковую), более легкую. Здесь характерны сжимающие горизонтальные напряжения. Горизонтальные сжатия в пределах Курильских и Японских островных дуг оценивают в 200–400 МПа. Континентальные платформы (материковая кора) также подвержены сжатию. Обстановки *растяжения* сосредоточены в узких рифтовых зонах (срединно-океанических хребтах) либо морских впадинах типа Японского, Эгейском морях. Участки земной коры, охваченные растяжением, не превышают 2%

общей площади земной коры. Вся остальная часть ее находится в состоянии сжатия.

В горных областях наблюдается давление, вызванное весом вышележащих пород.

Изучение напряженного состояния земной коры на всю глубину и в массивах горных пород имеет не только научное, но и практическое значение. Геодинамика также рассматривает вопросы безопасного и эффективного освоения недр и земной поверхности с учетом характера и интенсивности техногенного воздействия на массив горных пород и современного геодинамического состояния литосферы. Применение метода геодинамического районирования позволяет решать задачи резкого снижения аварийности при эксплуатации протяженных нефте-газопроводов, подземных и наземных сооружений, в том числе атомных станций и мест захоронения ядерных и других отходов в сейсмически активных регионах планеты. Данные о напряженном состоянии массивов горных пород важны при строительстве и эксплуатации всех горнодобывающих предприятий.

Техногенная деятельность человека – строительство водохранилищ, откачка нефти, газа, воды, разработка глубоких карьеров – нарушают естественные поля напряжений и существующее динамическое равновесие в земной коре. Поэтому необходима постановка мониторинговых наблюдений за современными техногенными полями.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1. В чем сущность теории литосферных плит?*
- 2. Охарактеризуйте два типа тектонических движений?*
- 3. Что такое дислокация?*
- 4. Какие формы горизонтальных и вертикальных движений земной коры наиболее распространены?*
- 5. В чем заключается практическое значение изучения напряженного состояния горных массивов на поверхности Земли?*
- 6. Охарактеризуйте места горизонтального сжатия и растяжения в литосфере на планете?*

### **Литература**

- Электроразведка: Справочник геофизика. Кн.2.// Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. – М.: Недра, 1989. – 212 с.
- Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1963. – 457 с.
- Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. – М.: Недра, 1996. – 217 с.
- Хаин В.Е., Михайлов А.Е. Общая геотектоника. – М.: Недра, 1985. – 384 с.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Недра, 1995. – 488 с.

## 4.2. Землетрясения

Землетрясения – едва ли не самые страшные природные катастрофы. Они уносят десятки и сотни тысячи человеческих жизней, вызывают опустошительные разрушения на огромных пространствах.

7 декабря 1988 года в Армении произошло Спитакское землетрясение, полностью стершее этот город с лица Земли. Тогда за несколько секунд погибло более 25 000 человек. Ашхабадское землетрясение в ночь с 5 по 6 октября 1948 г. унесло более 100 000 жизней. В Китае в 1920 г. погибло 200 000 человек, а в 1923 г. Японии – более 100 000. Этот скорбный список можно продолжать бесконечно. Землетрясения разной силы и в разных районах земного шара происходят постоянно.

Ученые разных стран изучают: а) причины возникновения землетрясений; б) методы прогноза в трех измерениях – в пространстве, во времени и интенсивности – где (местоположение), когда (время), какой силы (интенсивность) можно ожидать опасные «вспышки» стихии. К сожалению, непосредственно предсказать время землетрясений пока еще не удается.

### ***Причины возникновения землетрясения и их параметры.***

***Землетрясения*** – колебание земной коры, вызванное внезапным освобождением потенциальной энергии земных недр. Оно протекает неожиданно, быстро, нанося значительные разрушения. Причиной землетрясений являются тектонические напряжения в земной коре, которые при освобождении сопровождаются разрывом и смещением твердого вещества в очаге (гипоцентре) и деформациями за пределами очага.

*Гипоцентром* или *фокусом* землетрясения называют условный центр очага на глубине, а *эпицентром* – проекцию гипоцентра на поверхность Земли. Зона сильных колебаний и значительных разрушений сооружений при землетрясении называется *плейстосейстовой областью*. Чаще всего очаги землетрясений сосредоточены в земной коре на глубине 10–30 км. Как правило, основному подземному сейсмическому удару предшествуют локальные толчки – *форшоки*. Сейсмические толчки, возникающие после главного удара – *афтершоки*. Очаг землетрясения характеризуется *интенсивностью* сейсмического эффекта (в баллах) и *магнитудой*. В России используется 12-балльная шкала интенсивности (MSK–64). Согласно этой шкале принята следующая градация интенсивности землетрясений:

- I – III – слабые,
- IV – V – ощутимые,
- VI – VII – сильные (разрушаются ветхие постройки),
- VIII – разрушительные частично разрушаются прочные здания, падают фабричные трубы),
- IX – опустошительные (разрушается большинство зданий),
- X – уничтожающие (разрушаются мосты, возникают оползни, обвалы),
- XI – катастрофические (изменяется ландшафт),

XII – губительные катастрофы (изменение рельефа на обширной территории).

*Магнитуда* землетрясения по Ч.Ф. Рихтеру (проф. Калифорнийского технологического института) также характеризует силу землетрясений по величине амплитуды волн от 0 до 9 по шкале Рихтера.

География землетрясений носит закономерный характер и хорошо объясняется теорией тектоники литосферных плит. Наибольшее количество землетрясений связано с такими зонами, где плиты либо сталкиваются, либо расходятся и наращиваются за счет образований новой океанической коры.

Сейсмоопасными зонами России являются Тихоокеанский (здесь океанические плиты субдуцируют – погружаются под континенты) и Евроазиатский тектонические пояса (юг Камчатки, о. Сахалин, Курильские острова, Северный Кавказ, Байкальский регион). По данным департамента предупреждения и ликвидации ЧС при Министерстве ЧС России 1998 и 2002 гг. характеризуются повышением земной активности в этих районах.

### ***Прогноз землетрясений.***

Прогнозирование землетрясений является наиболее важной проблемой. Ученые во многих странах мира занимаются этой проблемой, но она еще далека от разрешения. Точными и многочисленными инструментальными исследованиями землетрясений покрыта территория Японии и Калифорнии, но жертвы нередки и там. Человеческие жертвы и ущерб, по-видимому, определены недалевидными и корыстными действиями самих людей при выборе места, конструкции и технологии строительства зданий и сооружений.

Прогноз включает в себя как *сейсмическое районирование*, так и выявление *предшественников землетрясения*.

*Сейсмическое районирование* – выделение областей в которых можно ожидать землетрясения определенной магнитуды или балльности. Сейсмическое районирование разного масштаба проводится на основании учета множества особенностей: геологических, тектонических и других. Составленные карты обязательны для всех строительных организаций. Для территории России составлена карта сейсмического районирования (СНиП II–7 –91), показывающая степень сейсмической активности в баллах (6–9 баллов) для средних геологических условий (песчано-глинистые грунты с глубиной залегания подземных вод более 6 метров), а также место землетрясения. Время не прогнозируется.

Для грамотного проектирования антисейсмического строительства сейсмоопасных районов составляются карты более крупного масштаба – *сейсмического микрорайонирования*. Цель их – уточнение балльности участка от конкретных геологических условий. Она необходима проектировщикам для грамотного проектирования антисейсмического строительства, т.е. правильного выбора строительной площадки, типа фундаментов, специальных конструктивных мероприятий.

Установлено, что основная причина гибели людей при землетрясениях –

обрушение зданий. Количество человеческих жертв зависит:

- а) времени начала землетрясения;
- б) глубина очага и нахождения населенного пункта от эпицентра;
- в) качества построек;
- г) наличие в плейстоценовой зоне взрыво- пожароопасных объектов, плотин, АЭС и т.д.

Существует большое количество разнообразных *предшественников землетрясений*, начиная от собственно геофизических и кончая гидродинамическими и геохимическими.

Обнаружить на ранней стадии возникновение сейсмической опасности позволяет созданный в институте физики Земли прибор – геофон с магнитоупругим сенсором для измерения подземного фонового звука на недоступной ранее глубине. Другими предвестниками землетрясений являются быстрый рост частоты слабых толчков (форшоков), деформации земной коры, улавливаемые с помощью лазерных источников света спутниками из космоса, содержания радона в воде, изменения колебания уровня подземных вод, и т.д.

К ним можно отнести и поведение животных и насекомых перед землетрясением: кошки покидают селение и переносят котят в луга; домашние животные впадают в панику; муравьи за несколько часов до толчка покидают муравейники, захватив своих «куколок». Вовремя прочитав эти признаки – значит гарантированно, спастись.

Выживание в зоне стихийного бедствия обеспечивается тремя основными факторами:

- а) умением распознать приближение стихийного бедствия и подготовиться к нему;
- б) знаниями приемов самоспасения в зоне бедствия;
- в) психологической подготовкой к действию в особо сложных условиях, которое создает любое стихийное бедствие.

К сожалению, любой прогноз землетрясений носит вероятностный характер.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. *Что такое землетрясения и причины их образования?*
2. *Охарактеризуйте параметры землетрясения?*
3. *Какие методы прогноза землетрясений вы знаете?*

### **Литература**

Природные опасности России. Сейсмические опасности /Под ред. В.И. Осипова, С.К. Шойгу.– М.: Недра,2001. – 287 с.  
Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. – М.: Недра, 1993. – 197 с.

### 4.3. Вулканическая деятельность

Роль вулканов в жизни Земли огромна. Вулканизм – глобальный геологический процесс, развивающийся на протяжении всей истории Земли. Вулканическая активность привела к созданию земной коры, большей части атмосферы и гидросферы. Без вулканизма, вероятно, было бы невозможным зарождение жизни на Земле.

**Вулканизм** – это совокупность явлений, протекающих в земной коре и под ней, приводящих к прорыву расплавленных масс – магм – на поверхность Земли. Вулканические извержения связаны с подъемом магмы вдоль трещин и цилиндрических каналов.

Наука о причинах вулканизма в недрах Земли и на планетах Солнечной системы, продуктах их деятельности, методах предсказаний извержений носит название *вулканологии* – раздела геологии.

**Где находятся вулканы?** В настоящее время на суше известно около 500 активных вулканов, примерно 20–30 вулканов ежегодно извергаются.

Процесс извержения непродолжителен по сравнению со временем существования вулкана. Лишь немногие вулканы, например *Стромболи* (Италия) или гавайский вулкан *Килауэа* (Тихий океан), почти непрерывно находятся в стадии извержения. Период покоя вулканов между извержениями занимает от первых десятков до нескольких тысяч лет. Вулкан Безымянный на Камчатке не извергался 1000 лет, но «проснулся» в 1955 г. Скорее всего, все вулканы, извергавшиеся в течение последних 25 000 лет, следует рассматривать как потенциально активные.

Действующие вулканы и вулканические формы рельефа известны на всех континентах, за исключением Австралии. Большая их часть приурочена к современным подвижным зонам Земли. Около 62% всех действующих вулканов расположено в «огненном кольце» вокруг Тихого океана. Особенно своеобразны подвижные пояса на окраинах континентов. Они развиты преимущественно по периферии Тихого океана. Это *окраинные моря* (Японское, Филиппинское, Коралловое) и вулканические пояса *островных дуг*, отделяющих эти моря от океана (Курило-Камчатская, острова Тонга, Алеутская). В целом для новейшего этапа геологического развития Земли (<10 млн. лет) характерно преобладание растяжения и, как следствие этого, широкое распространение связанного с ним мантийного, преимущественно базальтового вулканизма. Глобальная продуктивность вулканизма за год, по данным российского ученого Е. Е. Милановского, достигает 146–168 км<sup>3</sup>, причем в океанах – 130–145 км<sup>3</sup>. Огромное количество вулканов находится на дне океанов и морей. Так, на дне Тихого океана, по разным данным, насчитывается от 20 000 до 50 000 вулканических гор, из которых в настоящее время активны не более 2 000.

**Что же собой представляют продукты извержений вулканов?** Вулкан поставляет на поверхность Земли *вулканические газы, лавы, твердые продукты.*

Первыми признаками извержения являются выбросы вулканических *газов*. Главные составляющие этих газов – водяной пар и углекислота, а также водород, углеводороды, хлориды, выделяющиеся обычно в начале извержений. Раскаленный газ во время извержения поднимается на высоту до 13–15 км (Везувий, 1906 г.). Отделившийся газ с взрывом прорывает покрывку «камеры» – верхних слоев Земли.

Вулканические газы выносят разнообразные по размеру обломки *твердых пород*. Это обломки древних пород, кристаллы, а также капли и сгустки лавы, застывающие в воздухе. Самые крупные из них затвердевают в виде *вулканических бомб и лапиллей*, а более мелкий обломочный материал носит название *тефры* (это название введено еще Аристотелем). Сцементированная тефра древних извержений образует *пирокластические породы* – *туфы* и более грубообломочные *вулканические брекчи*. Самые мелкие частицы – *пепел* – образуют в смеси с газом *пепловые тучи*, которые поднимаются на большую высоту. Так, при извержении вулкана Безымянный в 1956 г. высота такой тучи, образовавшейся после гигантского взрыва, достигала 35–40 км. Она продержалась в воздухе 4 ч, перемещаясь к северо-востоку. Часто эти тучи рассеиваются лишь на расстоянии многих сот километров от вулкана.

*Лавы*, извергнутые из вулканов, образуют потоки и покровы, которые растекаются на тем большее расстояние, чем меньше их вязкость. Застывая, они образуют *вулканические породы*. В зависимости от состава плавящегося субстрата возникают магмы *базальтового состава*, содержащие мало кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), либо более кремнекислые расплавы – *андезитового* состава.

Наиболее широко среди вулканических пород континентов и океанов распространены магмы *базальтового* состава, которые обладают относительно небольшой вязкостью. Их можно сравнить с «кровью» нашей планеты. Базальты появляются при любом нарушении сплошности земной коры, когда прогрев источника магм – мантии – достигает  $1200^\circ\text{C}$ . Поэтому они растекаются на большие расстояния от *жерла* вулкана в виде потоков и покровов или образуют лавовые озера. На Гавайских островах и в Исландии зафиксированы потоки длиной 40–50 км при средней мощности 4–5 м. Протяженные потоки лав известны в Сибири, где они плащом покрывают фундамент Сибирской платформы. Некоторые из них достигают 200 км в длину при толщине от 30 до 40 м.

С увеличением содержания кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) – *андезитовые* магмы – становятся более вязкими, потоки обычно короче базальтовых.

Выделение некоторого количества газов продолжается и после прекращения извержения, когда возникают *фумаролы* – выходы газов, приуроченные к трещинам и другим участкам повышенной проницаемости вблизи вулкана. Температура фумарол обычно ниже, чем газов в начале извержения. Недавно

такие фумаролы были обнаружены на вулкане Медвежий (о-в Итуруп Курильской островной дуги). Главной составляющей фумарол является вода, выделяются также  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$  и различные сернистые соединения, образующие на поверхности залежи самородной серы. С фумаролами связаны горячие источники, которые питаются нагретыми грунтовыми водами. Среди них выделяются *гейзеры*, регулярно фонтанирующие горячей водой, причем фонтаны достигают высоты 500 м. Поля гейзеров известны во многих областях активного вулканизма. Они хорошо изучены на Камчатке (Долина гейзеров), в Японии и на западе США.

Далее рассмотрим **типы вулканов и извержений**. Выделяются два главных типа вулканических построек, соответствующих разному характеру вулканической деятельности: *трещинные, стратовулканы*.

В результате *трещинных извержений* образуются покровы и потоки текучих лав. Широко развиты трещинные извержения в среднеокеанических хребтах океанов. Свободно растекающиеся из центрального жерла лавы образуют *щитовые вулканы*. Они характеризуются пологими склонами и большим диаметром основания и являются самыми крупными вулканическими постройками на Земле. Например, диаметр подводного основания вулкана Ма-уна-Лоа на Гавайских островах достигает 200 км, а его общая высота – около 9 км (из них более 4 км выше уровня моря).

Извержения, сопровождающиеся взрывами, образуют *стратовулканы* с крутыми склонами, состоящими из чередующихся потоков лав и слоев пирокластических пород (пепла). Они значительно меньше по размерам, чем щитовые вулканы. Примером могут служить вулканы Ключевской сопки (рис. 10). В длительно формирующихся вулканах вследствие опустошения глубинных резервуаров магмы, часто проседает верхняя часть вулканических построек и образуется *кальдера*, внутри которой затем может вырасти еще один – меньший по размерам – конус. Самые крупные кальдеры обычно достигают 20 км в диаметре. Однако первенство в размере вулканов и осложняющих их кальдер принадлежит Марсу. Самый крупный вулкан из известных в Солнечной системе – марсианский щитовой вулкан Олимпус диаметром 600 км – осложнен кальдерой диаметром 80 км.

**Области питания вулканов.** Магмы образуются под действием потока горячих глубинных газов – *флюидов*. Они формируются глубоко в недрах Земли, на границах верхней и нижней мантии или последней и внешнего расплавленного ядра в интервале глубин от 200–250 до 10–20 км. Под континентами наиболее крупные магматические камеры часто возникают на границе мантии и земной коры.

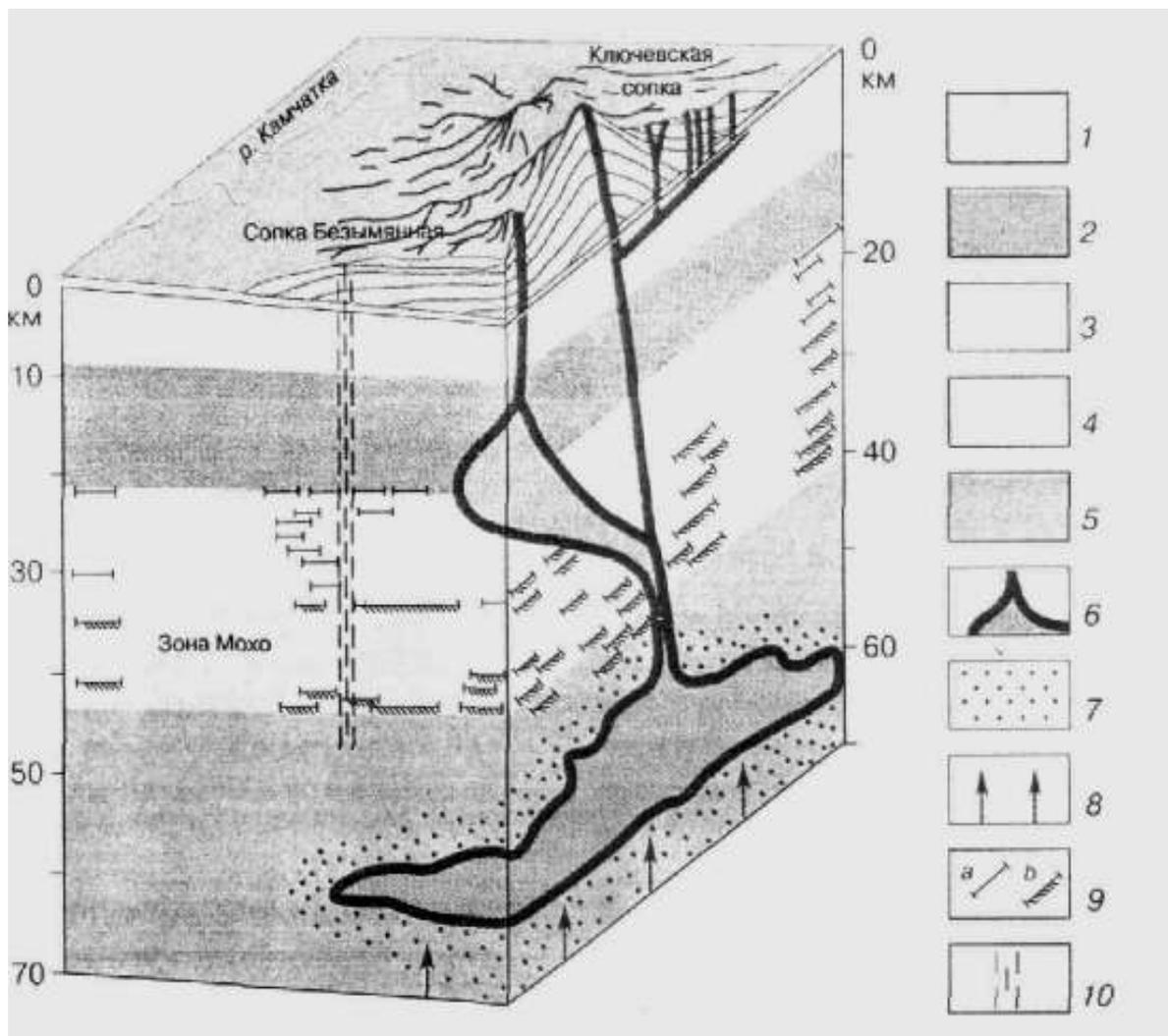
Флюиды способствуют разуплотнению и локальному подъему глубинного вещества, которое в результате понижения давления (декомпрессии) начинает плавиться.

Самые ранние процессы вулканизма синхронны становлению Земли как планеты. В течение самого молодого — кайнозойского — этапа развития

Земли, который начался примерно 67 млн. лет назад и продолжается поныне, вулканическая деятельность развивалась в пределах как океанических, так и континентальных сегментов Земли.

**Экологические последствия извержения вулканов.**

Действия одного или нескольких вулканов способны повлечь за собой глобальные катастрофические последствия.



**Рис. 10. Глубинные очаги магмы под вулканами Ключевской и Безымянный (Камчатка)**

**Условные обозначения:**

1 - осадочный слой; 2 - «гранитный слой»; 3- «базальтовый слой»; 4 - переходный слой между корой и верхней мантией; 5- верхняя мантия; 6 - очаги магмы и подводящие каналы; 7 - частично расплавленные породы; 8 - предполагаемый флюидный поток; - сейсмические границы в земной коре (а) и в переходной зоне кора - мантия (б); 10 - глубинный разлом [по данным глубинного сейсмического зондирования и Геолого-геофизического атласа Курило-Камчатской островной системы, 1987].

Мощное извержение вулкана Санторин в Эгейском море в XVI до нашей эры привело к гибели цивилизации, центром которой был Крит. Так, долгие тысячелетия исчезла высокоразвитая цивилизация, заново открытая лишь в XX веке.

Пепел, выброшенный при извержении, может содержать ядовитые вещества и обладать большой кислотностью, при которой растения погибают, а металл подвергается коррозии. При извержении вулкана Геклы в 1947 и 1970 годах очень много травоядных животных отравились фтором и погибли.

Пепел, выброшенный на большие высоты, забивает двигатели самолетов. В 1990 г. извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах привело к эвакуации американской военно-воздушной базы.

К счастью, извержения вулканов сейчас можно предсказать с большой точностью и во время эвакуировать людей в случае опасности.

Исследования свидетельствуют о том, что массовые вымирания биоты, которые неоднократно случались в геологическом прошлом, могли быть связаны с извержением вулканов. Так, например, рубеж в 183.6 млн лет, в начале перми характеризовался массовым вымиранием морской фауны и флоры (см. гл. 6). И в это же время миллионы км<sup>2</sup> излившихся базальтовых лав способствовали резкому увеличению в атмосфере парниковых газов, а вулканический пепел, попавший в океан, изменил химический состав воды. Стабильная система «атмосфера – океан» оказались нарушенной. Пережить это изменение смогли лишь некоторые виды организмов.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. *Что такое вулканизм? Что изучает наука вулканология?*
2. *Как и где распределены вулканы в кайнозойский период развития Земли?*
3. *Охарактеризуйте последовательность и название продуктов извержения вулканов?*
4. *Укажите типы вулканов и извержений?*
5. *Области питания вулканов? Разрез очага магмы под вулканами Ключевской и Безымянный (Камчатка).*
6. *Что такое фумаролы и гейзеры?*
7. *Охарактеризуйте экологические последствия извержения вулканов?*

### **Литература**

- Апродов В. А.* Вулканы. – М.: Мысль, 1982. – 597 с.
- Макдональд Г.* Вулканы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 347 с.
- Мархинин К. К.* Вулканы и жизнь. – М.: Мысль, 1980. – 219 с.
- Ритман А.* Вулканы и их деятельность: Пер. с англ. – М.: Мир, 1994. – 287 с.
- Святловский Л. Е.* Морфологическая вулканология. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
- Фролова Т.И.* Вулканизм и его роль в эволюции нашей планеты // Соросовский образоват. журн. 1996. – № 2(3).
- Короновский Н.В.* Геология: Учебник для экологических специальностей вузов // *Н.В.Короновский, Н.А. Ясманов.* – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 448 с.

#### 4.4. Морфоструктуры как проявление внутренней геодинамики в формах поверхности Земли

Земная поверхность постоянно подвергается воздействию многочисленных сил. Их принято делить на внутренние, или *эндогенные* (от греч. «эндос» – «внутри», «генос» – «рождение»), и внешние, или *экзогенные* (от греч. «экзо» – «вне»).

К *экзогенным* относят тектонические движения, магматизм и вулканизм. К *экзогенным* – силы, действующие извне: ветер, воду, изменение температуры и даже животных и человека.

В целом эндогенные силы выносят вещество на поверхность Земли, а экзогенные разрушают и переносят его, обнажая всё новые слои горных пород, образуя неровности на поверхности Земли.

Неровности поверхности Земли называются формами рельефа, а наука, их изучающая, – геоморфологией (от греч. «гео» – «земля», «морфо» – «форма», «логос» – «наука»). В последние годы появилось новое научное направление – структурная геоморфология. Она возникла на грани геоморфологии, геотектоники и геофизики. Структурная геология изучает морфоструктуры Земли. Формы рельефа, в происхождении которых главную роль играют эндогенные процессы, называют *морфоструктурами* (горные хребты, крупные впадины и другие). Морфоструктура – это целостная орографическое и тектоническое образование земной коры.

*Морфоскульптуры* созданы экзогенными процессами. Они, как правило, сравнительно небольшие, но очень различные по размерам – от отдельных гор и речных долин до мелких царапин. Самый маленький – нанорельеф (от греч. «нанос» – «карлик») – это неровности в виде ряби на дне и борозд в поле.

Кроме того, выделяют *геотектуры* (*континенты и океаны*) крупнейшие формы, рождённые общепланетарными силами.

Планетарные формы и мегаформы (материки, морские впадины) несут на себе *горные хребты, плоскогорья, долины крупных рек* (макроформы). Горные хребты состоят из отдельных гор, плоскогорья – из холмов и ровных участков (мезоформ). Микроформы – различные рытвины, воронки, бугры – повсеместно встречаются на более крупных формах.

На вопрос о том, какие формы рельефа Земли самые крупные, часто отвечают неправильно: горы. Нет, на самом деле – это *континенты и океаны*. Они отличаются в основном строением верхних слоев Земли – земной коры.

Континенты (материки) сложены мощной, трёхслойной корой с последовательно сменяющимися по вертикали осадочным, гранитным и базальтовым слоями. Под океанами кора тоньше и проще устроена. Здесь хорошо выражен нижний, базальтовый слой, а другие – или слишком тонкие, или отсутствуют вовсе (рис. 4).

О крупнейших чертах земной поверхности наглядное представление даёт гипсометрическая кривая – график, где по вертикали отложены высоты и глубины по отношению к уровню моря (абсолютные высоты), а по горизонтали – площади (в процентах), которые они занимают. Пик в начале кривой соответствует высоким горам, резкое снижение в её конце – глубоководным впадинам. Те и другие на нашей планете занимают относительно небольшие площади. Хорошо выделяются два достаточно ровных, немного наклонённых в сторону больших глубин уровня – поверхности материков и ложа океана. Их разделяет круто наклонённый отрезок кривой графика, соответствующий материковому склону (рис. 11).

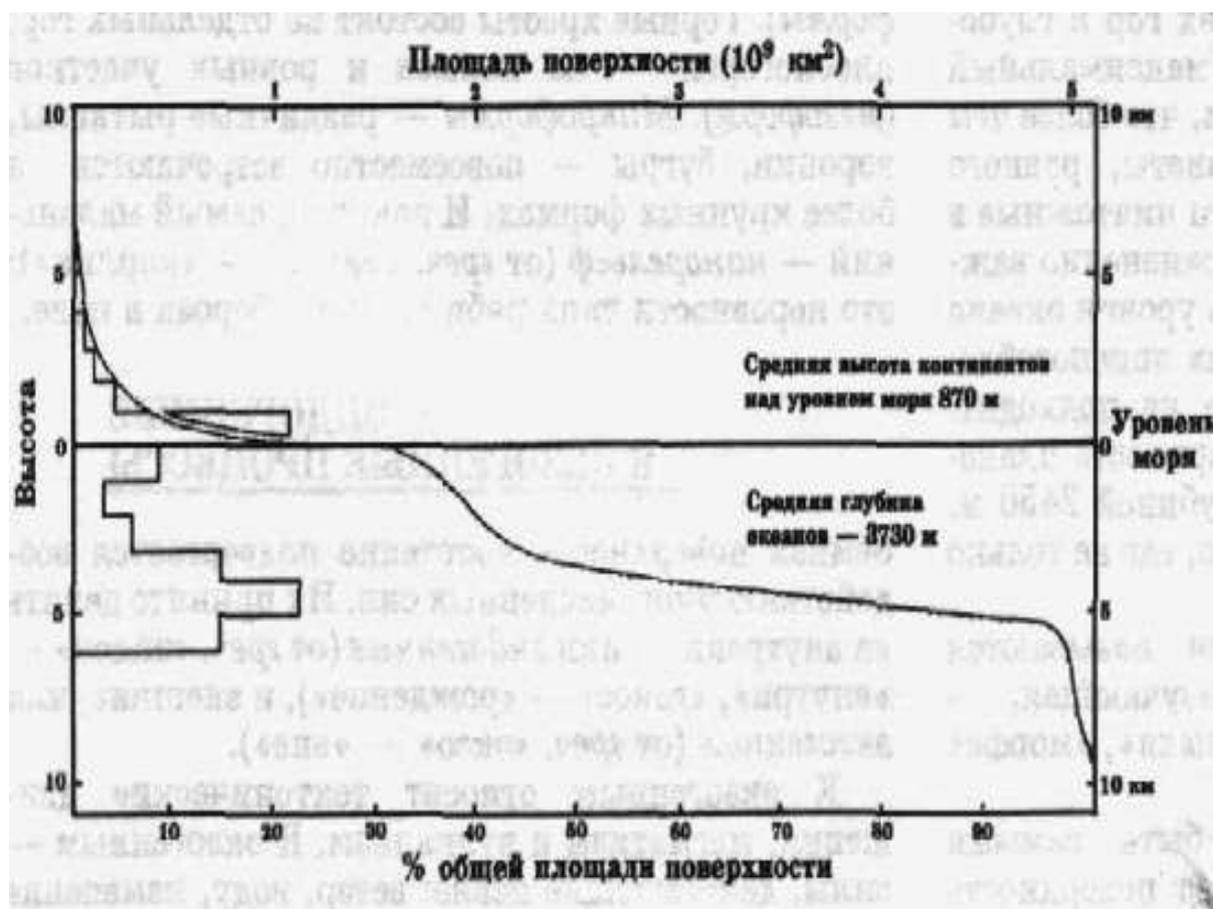


Рис. 11. Гипсометрическая кривая

Поверхность материков частично погружена ниже уровня Мирового океана. Глубина таких участков – материкового шельфа – не превышает в большинстве случаев 200 м. Всего материков шесть: Евразия, Африка, Северная и Южная Америки, Австралия, Антарктида. К ним относятся также их шельфы, включая находящиеся на них острова. Например, Англия, Ирландия, Шпицберген, Северная Земля — части Евразии, а Гренландия — Северной Америки. Среди океанов разбросаны также многочисленные острова, не относящиеся ни к одному из материков. Их суммарная площадь около 1,9

млн км. Материки (кроме отдельно расположенной Антарктиды) не полностью изолированы друг от друга.

В пределах океанов и континентов выделяются менее крупные структурные элементы. Это стабильные, устойчивые структуры – *платформы*. Они могут быть не только на континентах, но и в пределах океанов. Они характеризуются выровненным спокойным рельефом. В результате тектонических поднятий выровненных территорий возникают *плато* – возвышенные равнины, отделённые уступами от соседних, пониженных пространств. Плато могут быть покрыты (бронированы) скальными породами. Территории, где довольно высокие ровные участки разделены глубокими долинами, называются *плоскогорьями*, а если в их составе имеются отдельные горные хребты и впадины, то они называются *нагорьями* (Среднесибирское плоскогорье, Гвианское нагорье). На некоторых особенно крупных нагорьях в свою очередь есть горы и впадины (Тибетское нагорье).

В океанах как крупнейших структурных элементах выделяются *срединно-океанические подвижные пояса*, представленные *срединно-океаническим хребтом с рифтовыми зонами* в их осевой части. Сложное строение имеют горно–складчатые пояса, которые в прошлом являлись структурами с океаническим типом земной коры.

Теория литосферных плит довольно хорошо объясняет расположение и происхождение всех структур земной коры, а морфоструктуры являются проявлением внутренней геодинамики в формах поверхности Земли.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Чем отличаются морфоструктуры от морфоскульптуры?
2. Охарактеризуйте геотектуры (континенты и океаны)?
3. Что такое платформы. Чем они осложнены? Примеры.

### **Литература**

- Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. – М.: Недра, 1996. – 217 с.  
Хаин В.Е., Михайлов А.Е. Общая геотектоника. – М.: Недра, 1985. – 384 с.  
Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Недра, 1995. – 488 с.  
Гудымович С.С. Геоморфология и четвертичная геология: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 202 с.

## **Глава 5**

# **ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

## **5. 1. Минералы**

*Минералами* называют кристаллический продукт природных процессов, обладающий определенным химическим составом и структурой. Минерал –

это один из основных «кирпичиков», которые слагают окружающий нас мир неживой природы.

Основными отличительными признаками минерала является:

- а) природное происхождение;
- б) однородность состава;
- в) индивидуальность.

В основе современной классификации минералов лежат химические и структурные признаки, которые позволяют увидеть закономерности распространения тех или иных групп минералов в земной коре, их происхождение и практическое значение. Наука об ископаемых кристаллах – *минералогия*. Законами построения кристаллов из атомов и молекул в пространстве (структурой) занимается кристаллохимия (*кристаллография*). Основоположником науки *геохимии*, которая занимается поведением атомов в земной коре, является В.И. Вернадский.

В настоящее время известно около 2000 минералов, однако наибольшее распространение в природе имеют около 50, которые называют *породообразующими*. Знания этих минералов необходимы для правильного описания горных пород.

Все известные минералы группируются в несколько классов, главнейшими из которых являются:

- 1) самородные элементы;
- 2) сульфиды и их аналоги;
- 3) галогениды;
- 4) оксиды и гидроксиды;
- 5) соли кислородных кислот.

**Самородные элементы.** На сегодняшний день в природе известно более 30 элементов, находящихся в самородном состоянии. Однако число минералов, принадлежащих к классу самородных, существенно больше. Если исключить из рассмотрения водород, азот, кислород и благородные газы, то все оставшиеся самородные элементы можно подразделить на три главных подкласса – металлы (*медь, золото, серебро, платина*), полуметаллы (*мышьяк, сурьма*) и неметаллы (*сера, графит, алмаз*).

**Сульфиды и их аналоги.** Сульфидами называют соединения химических элементов (в основном металлов) с серой. Сульфиды представляют особый интерес как руды цветных металлов и часто как носители золота. Большинство сульфидов образуется из горячих водных (гидротермальных) растворов. Некоторые сульфиды могут кристаллизоваться из магмы, другие имеют осадочное происхождение. Например, вместе с магматическими расплавами поднялись вверх скопления сульфидов железа, меди и никеля вблизи Норильска. Сенсацией стало открытие в рифтовых зонах океана так называемых «черных курильщиков» – бьющих из трещин на дне горячих источников, вокруг которых вырастают конуса из сульфидных минералов. В земной коре наиболее широко распространены сульфиды железа (пирит  $\text{FeS}_2$ ) – сер-

ный колчедан, меди (*халькопирит*  $\text{CuFe}_2\text{S}_4$ ), свинца (*галенит*  $\text{PbS}$ ), цинка (*сфалерит*  $\text{ZnS}$ ) и некоторые другие.

**Галогениды.** К классу галогенидам относятся соединения элементов с галогенами – фтором, хлором, бромом, йодом. Их можно также описать как соли. Галогены, а точнее их ионы, есть во всех природных водах. На этикетке минеральной воды можно видеть надпись: «Хлоридно-карбонатная». Хлорид натрия придает соленый вкус и морской воде. Наиболее распространены хлориды  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  и  $\text{Mg}$  (*галит*  $\text{NaCl}$ , *сильвин*  $\text{KCl}$ ), фториды  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  и  $\text{Al}$ . Галогениды имеют небольшое значение как породообразующие минералы, но очень важны в практическом отношении. Многие из этих минералов образуются в природной лаборатории – Кара-Богаз-Гол – высыхающий залив Каспийского моря.

**Оксиды и гидроксиды.** Минералы этого класса очень широко распространены в природе. Это соединения элементов с кислородом. Самым распространенным на поверхности Земли оксидом является вода и ее минеральная кристаллическая форма – лед. Необычных и загадочных свойств у этого минерала даже больше, чем у других. Наиболее многочисленны оксиды, содержащие железо (гематит, лимонит). Свободный кремнезем  $\text{SiO}_2$ , существует в природе главным образом в виде *кварца* и его разновидностей и очень широко распространен в земной коре. По кристаллическим признакам кварц тесно связан с силикатами. Поэтому современная классификация минералов допускает рассмотрение кварца не в классе оксидов. Корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) является минералом высочайшей твердости (9). Его прозрачные разновидности являются драгоценными камнями – синий сапфир и кроваво-красный рубин. Мелкие зерна корунда называют наждаком. В природе корунд обычно встречается в магматических и метаморфических породах.

**Соли кислородных кислот.** В этот класс минералов входят соли различных кислородных кислот, главными из которых являются угольная (*карбонаты*), серная (*сульфаты*), фосфорная (*фосфаты*) и кремниевая (*силикаты*), выделяемые в виде отдельных подклассов. Карбонаты и силикаты имеют особенно большое значение как породообразующие минералы.

**Карбонаты.** К карбонатам относятся минералы, содержащие в своем составе углерод – кислородные группы. Из неорганических соединений углерода в природе известно около 100 минералов, большая часть которых относится к *карбонатам* — солям угольной кислоты ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Эти минералы широко распространены в верхней части литосферы, слагая мощные толщи осадочных пород. Образование некоторых карбонатов, например кальцита в известняках, связано с жизнедеятельностью организмов. Гидротермальные карбонаты распространены в жилах, контактово-метасоматических зонах, в отложениях минеральных источников, в миндалинах вулканических пород. Карбонаты – это окисленный углерод, углекислота, которая образуется при дыхании живых существ, выбрасывается вулканами, при сжигании миллиардов тонн угля, нефти, газа. Еще не известно, как смогла бы существовать

жизнь на Земле, если бы не карбонаты, забирающие значительную часть углекислоты.

К карбонатам относятся: *кальцит*  $\text{CaCO}_3$ , *магнезит*  $\text{MgCO}_3$ , *доломит*  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  *сидерит*  $\text{Fe}_2\text{CO}_3$ , основные карбонаты меди — *малахит* и *лазурит*. Большинство карбонатов относительно хорошо растворяются в воде, богатой свободной углекислотой, некоторые из них интенсивно «вскипают» в разбавленной (10%-ной) соляной кислоте, выделяя при этом пузырьки  $\text{CO}_2$ . Это является одним из основных диагностических признаков при идентификации широко распространенных карбонатов кальция, магния и железа.

**Сульфаты.** *Сульфаты* – соли серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) –могут образовываться в природе лишь при повышенной концентрации кислорода, необходимой для перевода серы в высшую степень окисления. Групп  $\text{SO}_4$  много в морской воде, в горячих водных растворах, просачивающихся из глубин Земли. Такие условия в земной коре существуют главным образом вблизи поверхности, где и встречается основная масса сульфатов. Наиболее распространены следующие минералы: *гипс*  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , *ангидрит*  $\text{CaSO}_4$ , *барит*  $\text{BaSO}_4$ .

**Фосфаты.** Фосфатами называются соли фосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Распространенность этих минералов в земной коре относительно невелика. Примером может служить фосфорит и апатит. Он встречается во многих типах магматических и метаморфических пород. Элементом жизни и мысли назвал фосфор известный минералог Ферсман. Без него невозможна жизнь ни животных, ни растений. Фосфатные удобрения получают из природных фосфатов. В Подмосковье и других районах России залегают темные глины юрского возраста, богатые фосфоритами.

**Силикаты** представляют наиболее многочисленный подкласс минералов и слагают около 90% массы земной коры. Они входят в состав очень многих горных пород. Главный элемент *силикатов* — кремний, связанный с кислородом. Они могут возникать в совершенно различных условиях. Кристаллы некоторых из них зарождаются в жидких магмах при температурах более  $1000^\circ\text{C}$ , а другие – прямо на поверхности Земли. Крайне разнообразны они и по своему внешнему виду, и по химическому составу. Общим для них является – группа из одного атома кремния и четырех кислорода. Кремний оказывается в центре тетраэдра, а в вершинах располагаются атомы кислорода ( $\text{SiO}_4$ ). Многократно повторяющиеся тетраэдры образуют «бесконечные» одномерные цепочки, двумерные плоскости или трехмерные каркасы. В соответствии с этим силикаты подразделяются на *островные*, *цепочечные*, *ленточные*, *слоистые (листовые)* и *каркасные*.

Наиболее распространены следующие породообразующие силикаты: *островные* (оливин, гранаты), *цепочечные* (пироксены), *ленточные* (амфиболы), *слоистые* (мусковит, тальк, асбест, каолин, хлориты), *каркасные* (полевые шпаты, кварц).

Важнейшими признаками минералов является:

- их строение (структура);
- цвет;
- блеск;
- твердость.

Минералы могут образовывать разнообразные огранённые кристаллы, тогда по форме кристалла можно определить название минерала. Для того, чтобы правильно написать формулу минерала, надо знать, каким образом в его структуре располагаются слагающие её – атомы, молекулы, ионы. Кристаллическая структура – это порядок расположения частиц в пространстве. Внутреннее устройство кристалла отражается и на его внешнем облике, и на его форме. Многие названия форм кристаллов происходят от греческих числительных. Называют грани (эдра), углы (гония) в многоугольнике, образующем эту грань.

Так, названия распространенных форм кристаллов обозначают:

- **октаэдр** – восьмигранник (от греч. «окта» – восемь);
- **тетраэдр** – четырехгранник (от греч. «тетра» – четыре);
- **гексаэдр** – шестигранник (от греч. «гекса» – шесть).

Отсюда, все кристаллы по степени симметричности делят на семь классов (сингоний): **кубическую, тетрагональную, гексагональную, тригональную, ромбическую, моноклинную, триклинную.**

Например, каменная соль имеет форму кристаллов в виде куба, кальцит – в виде гексаэдра, ангидрит – октаэдра. Одни и те же вещества в разных условиях могут образовывать совершенно разные кристаллические структуры, а следовательно, и разные минералы. Например, если у углерода гексагональная форма, то образуется графит, а если кубическая – алмаз. Некоторые минералы имеют вид закономерно сросшихся кристаллов, которые называются **друзы, конкреции, гипсовые розы** и т.д.

**Цвет** для многих минералов очень характерен и может меняться в зависимости от освещения. Например, аквамарин имеет голубой цвет, пирит – желтый и т.д. Цвет черты минерала на шероховатой форфоровой пластинке, показывает его цвет в порошке. Например, латунно–желтый халькопирит оставляет на ней зеленовато–черную черту, а черный сфалерит – коричневую.

**Блеск** минерала может быть металлическим (магнетит, пирит), стеклянным (кальцит, гипс), жирным (нефелин), шелковистым (гипс, асбест).

**Твердость** минералов – способность их сопротивляться царапанью, давлению, истиранию другим минералом. Для определения твердости принята шкала Маоса. В ней десять минералов расположены в порядке возрастающей твердости и каждый предыдущий минерал чертится последующим.

Твердость обозначают порядковой цифрой шкалы твердости: 1 – тальк (мягкий карандаш), 2 – гипс (ноготь), 3 – кальцит (бронзовая монета), 4 – флюорит (стекло), 5 – апатит (остриё ножа), 6 – ортоклаз (напильник), 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте понятие минерала и его характерные физические признаки?
2. Какие пять групп классов минералов вы знаете. Приведите примеры.
3. Чем отличаются карбонаты от сульфатов?
4. Какие главнейшие химические элементы и соединения принимают участие в строении земной коры?
5. Дайте характеристику силикатов?
6. Перечислите диагностические признаки минералов?

## **Литература**

*Емельяненко П.Ф., Яковлева Е.Б.* Петрография магматических и метаморфических пород. – М.: Недра, 1985. – 234 с.  
*Миловский А.В., Кононов О.В.* Минералогия. – М.: Недра, 1972. – 290 с.  
*Фролов В.Т.* Основы литологии. – М.: Недра, 1999. – 274 с.

## **5.2. Горные породы**

*Горная порода (rock)* – природная ассоциация (скопление, соединение) минералов или обломков горных пород и минералов, слагающая конкретные геологические тела. Идентичным названием горной породы является грунт.

Грунт – горная порода, почва, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную геологическую систему, которая является объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека (ГОСТ 25100–95. Грунты. Классификация).

### **ГОСТ 25100–95 Грунты. Классификация (извлечение)**

#### **1 – класс природных скальных грунтов**

##### **Скальные магматические (интрузивные):**

Ультраосновные (*перидотиты, дуниты, пироксениты*);  
Основные (*габбро, диабазы*);  
Среднего состава (*диориты, сиениты*);  
Кислого состава (*гранит*).

##### **Скальные магматические (эффузивные):**

Основные (*базальты*);  
Среднего состава (*андезиты*);  
Кислого состава (*липариты*).

##### **Скальные метаморфические:**

Силикатные (*гнейсы, сланцы, кварциты*);  
Карбонаты (*мрамор, роговик, скарн*).

##### **Скальные осадочные:**

Силикатные (*песчаник, конгломерат, брекчия*);  
Карбонатные (*известняки, доломиты*).

### **Полускальные осадочные:**

Силикатные (*аргиллит, алевролит, песчаник*);

Кремнистые (*диатомит, опока*);

Карбонатные (*мел, мергель, известняки*);

Сульфатные (*гипсы, ангидриды*);

### **II– класс природных дисперсных грунтов Осадочные (обломочные) несвязные:**

Подгруппа пород	Рыхлые		Сцементированные	
	обломки не окатанные	обломки окатанные	обломки не окатанные	обломки окатанные
Псефиты >200	Глыба	валуны	глыбовая брекчия	валунный конгломерат
10 – 200	Щебень	галечник	брекчия	конгломерат
2 – 10	Дресва	гравий	дресвяник	гравелит
Псаммиты 2 – 0,05	Песок		песчаник	
Алевриты 0,05 - 0,001	алеврит ( лесс )		алевролит	
Пелиты > 0,001	Глина		аргиллит	

По происхождению горные породы подразделяются на магматические (igneous), метаморфические (metamorphic) и осадочные (sedimentary). В классификации в практических целях эти породы подразделяются на четыре класса (ГОСТ 25100 – 95. Грунты. Классификация):

- Природные скальные грунты – с жесткими структурными связями (кристаллизационными и цементационными);
- Природные дисперсные грунты – с механическими и водно-коллоидными структурными связями;
- Природные мерзлые грунты;
- Техногенные (скальные, дисперсные, мерзлые) с различными структурными связями, образованные в результате деятельности человека.

Условная граница между скальными и полускальными грунтами принимается на одноосное сжатие ( $R_c > 5$  Мпа – скальные грунты,  $R_c < 5$  Мпа – полускальные грунты).

**Дисперсный грунт** – грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабосвязанных друг с другом.

При описании горных пород пользуются такими важными понятиями, как **структура** и **текстура**, отражающими физико-химическую обстановку и процесс формирования породы.

**Структура (texture)** – строение породы, определяемое размерами, формой и взаимным расположением минеральных зерен в породе. Ее можно видеть только под микроскопом.

**Текстура (structure)** – пространственное сложение горной породы (слоистость горизонтальная, косая и т.д.)

**Магматические (изверженные) горные породы** образуются при остывании и кристаллизации магмы (magma), лавы (lava). Магма – это насыщенный газами природный высокотемпературный (500–1300°C) расплав силикатного или алюмосиликатного состава. Магма может проникать (внедряться) в вышележащие слои горных пород, может и изливаться на поверхность.

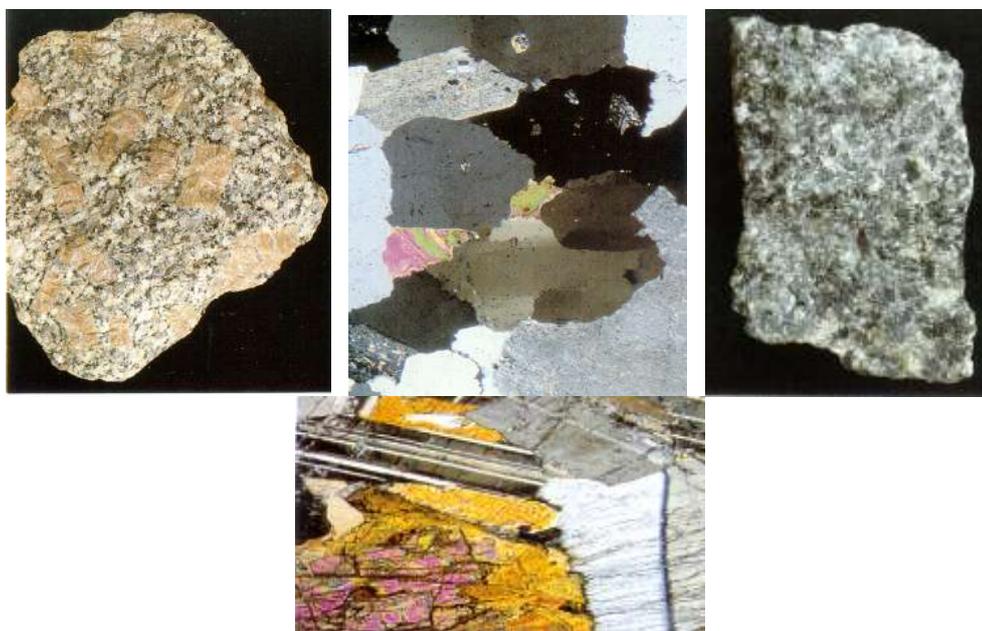
Магматические горные породы подразделяются на *интрузивные* и *эффузивные*.

**Интрузивные породы (intrusive rocks)** образуются при остывании и кристаллизации магмы в глубине Земли. Этот процесс протекает при значительных давлениях и высокой температуре, которая медленно падает.

В этих условиях силикатный расплав (магма) медленно остывает и успевает полностью раскристаллизоваться с образованием зерен различных минералов, хорошо различимых простым глазом (рис.12). Поэтому *структура* интрузивных пород всегда *полнокристаллическая, зернистая* и т.д.

**Гранит**

**Габбро**



*а*

*б*

*б*

*а*

Порода состоит из зерен полевого шпата, кварца и биотита

Порода состоит из зерен плагиоклаза и пироксена

**Рис. 12. Полнокристаллическая зернистая структура интрузивных пород с массивной текстурой**

(а – в образце, б – под микроскопом)

Текстура интрузивных пород в большинстве случаев *массивная (massive structure)* – характеризуется тем, что составные части породы расположены плотно, компактно и беспорядочно (рис.12).

*Эффузивные породы* образуются при излиянии лавы из вулканов на дневную поверхность. Процесс остывания и затвердевания лавы (магмы, вышедшей на дневную поверхность и потерявшей часть летучих компонентов) протекает настолько быстро, что лава застывает, не успев раскристаллизоваться. Поэтому, структура эффузивных пород *неполнокристаллическая, неразличимозернистая* (в виде вулканического стекла) (рис.13).

### Обсидиан



*а*

Порода состоит из плотной однородной аморфной массы нераскристаллизованного стекла

*б*



*б*

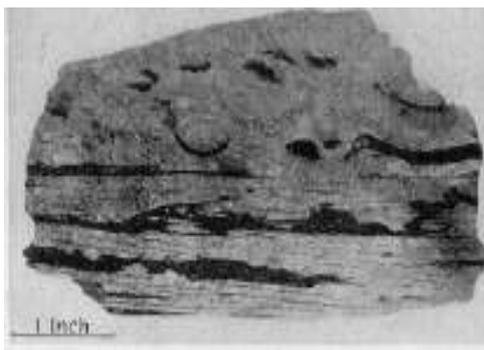
Порода состоит из темной однородной плотной (или пористой) массы, в которой под микроскопом видны мелкие призмочки зерен плагиоклаза и редкие более крупные выделения пироксена, расположенные в стекловатой основной массе

*а*



**Рис. 13. Неполнокристаллическая структура эффузивных пород с массивной текстурой**

(а – в образце, б – под микроскопом)



**Рис 14. Флюидальная текстура**

Текстура эффузивных пород также чаще всего *массивная* (рис.13), но есть и специфические текстуры: *флюидальная* текстура эффузивных пород, имеющих потокообразное расположение всех вытянутых элементов породы – пор, миндалин, отражающих направление движения вязкой застывающей лавы (рис. 14)

В основу химической классификации магматических горных пород положено содержание в них кремнезема –  $\text{SiO}_2$ . По мере уменьшения его содержания, различают:

- *кислые*  $\text{SiO}_2 > 65\%$  (*граниты, липириты*),
- *средние*  $\text{SiO}_2$  65 – 52% (*диорит, сиенит, андезит*),
- *основные*  $\text{SiO}_2$  62 - 45% (*габбро, диабазы, базальты*)
- *ультраосновные*  $\text{SiO}_2 < 45\%$  (*перидотиты, дуниты, пироксениты*)

магматические горные породы. В этом же направлении в них понижается содержание щелочей К и Na и возрастает содержание Fe и Mg. Эти изменения химического состава исходной магмы или лавы отражаются в различии минерального состава пород разных групп.

Например:

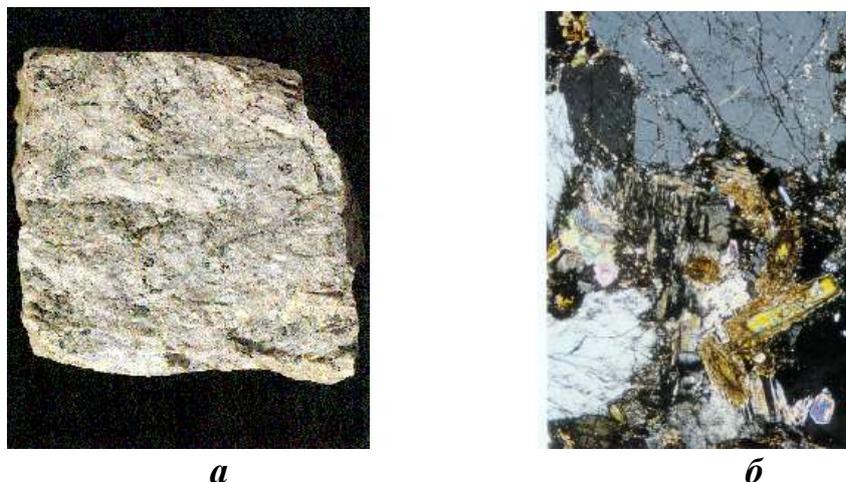
*Граниты* - интрузивные породы, относящиеся к группе кислых, содержащих максимальное количество  $\text{SiO}_2$ , поэтому главными диагностическими минералами для них является кварц, которого должно быть не менее 20% и плагиоклаз, ортоклаз. Биотит, мусковит, роговая обманка могут присутствовать (или отсутствовать) в разных сочетаниях. Темноцветных минералов в граните – биотита, роговой обманки, мусковита обычно не более 10–15%, поэтому цвет их всегда светлый или розоватый, если в породе много ортоклаза, и светло-серый, если преобладает плагиоклаз (рис.12).

*Липариты, кварцевые порфиры* – эффузивные аналоги гранитов.

*Сиениты* – интрузивные породы, относятся к группе средних пород, но отличаются повышенным содержанием К и Na. Часто их называют бескварцевыми гранитами (хотя единичные зерна кварца могут встречаться). Повышенное содержание ортоклаза придает сиенитам красноватый цвет. Темноцветных минералов в них немного больше, чем в гранитах – до 20–25% (рис.15).

*Диориты* – интрузивные породы среднего состава, состоящие из плагиоклаза и роговой обманки при преобладании первого. Это обуславливает серый цвет породы.

*Габбро* – основная интрузивная горная порода, состоящая из плагиоклаза и пироксена или роговой обманки или смеси обоих темноцветных минералов (рис.12).



**Рис. 15. Сиенит-интрузивная порода, состоящая из зерен ортоклаза и роговой обманки**  
(*а* – в образце, *б* – под микроскопом в шлифе)

*Базальты* - эффузивные аналоги габбро. Черные или серо-черные, иногда с зеленоватым оттенком породы (рис.13). В силу большой плотности у базальтов хорошо развит раковистый скол.

Основные эффузивы с хорошо раскристаллизованной основной массой, вплоть до мелкозернистой, называются *диабазами*.

*Пироксениты, перидотиты* – ультраосновные интрузивные безполевошпатовые породы, состоящие из соответственно, пироксена, смеси пироксена и оливина, оливина, что и определяет все свойства этих пород.

**Метаморфические горные** породы (*metamorphic rocks*) образуются в процессе глубокого преобразования любых ранее образовавшихся пород. Греческое слово «метаморфоза» означает превращение одного предмета в другой. Осадочные и магматические породы – известняки, глины, базальты и т.д. – под влиянием температуры, давления и химических условий превращаются в другие более твердые породы. Например, известняки превращаются в благородные разноцветные мраморы (телесно-розовые, серовато-белые и т.д.), которыми издавна украшают дворцы. Таким образом, главными факторами преобразования являются повышенная температура, давление и химически активные растворы (флюиды). С помощью флюидов происходят активные минеральные превращения в недрах Земли.

Под воздействием этих факторов в первичной (исходной) породе происходит перекристаллизация вещества, меняется ее минералогический, химический состав, текстура и структура которых происходит дробление и перетирание пород.

Текстуры и структуры метаморфических пород имеет свои особенности.

Структура метаморфических пород чаще всего кристаллическая, а текстура: сланцеватая, слоистая, ленточная и т.д. (рис.18).



Рис. 16. Обнажение глинистых сланцев в каньоне Дип-Крик, штата Монтана. Виден пластинчатый характер обломков и сланцеватости

Рис. 17. Гнейс с очковой текстурой

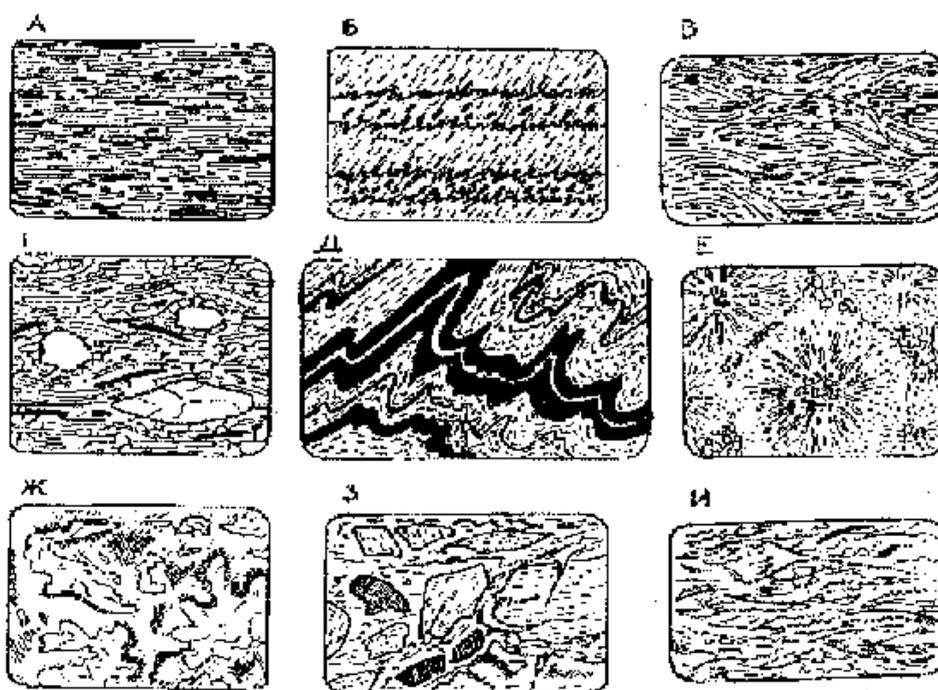


Рис. 18. Текстуры и структуры метаморфических горных пород

*А – сланцеватая текстура; Б – соотношение первичной слоистости и вторичной сланцеватости; В – волокнистая (свилеватая) текстура; Г – гнейсовая (очковая) текстура. Д – плейчатость (микроскладчатость течения); Е – метасоматическая радиально-лучистая структура; Ж – метасоматическая, пятнистая, сложноузорчатая, местами инкрустационная структура; З – тектоническая брекчия; И – сланцеватая текстура*

К главнейшим метаморфическим породам относятся следующие: скальные метаморфические силикатные – *глинистые сланцы, гнейсы, кварциты*; скальные метаморфические карбонатные – *мрамор, роговик, скарн*.

Метаморфические породы отличаются по рисунку и окраске. К метаморфическим породам относят также нежно-зеленые *нефриты, сиреневые чароиты, яшмы*. Прочными, как кремь, карельскими песчаниками мостили когда-то улицы Петербурга. Многие драгоценные камни (*рубин, благородная шпинель*) «родом» из метаморфических пород.

*Глинистые сланцы* от алевролитов и аргиллитов отличаются только явной сланцеватостью. Метаморфическое новообразование в этих породах еще не проявилось.

*Гнейсы* состоят из светлоокрашенных полос и линз полевого шпата и кварца, чередующихся со слоями или полосами темно - окрашенных биотита или роговой обманки. Для гнейсов часто характерна очковая и гнейсовая текстуры (рис. 17).

*Кварциты* - обычно светлые, плотные, крепкие, с раковистым изломом породы с явной «кремнистой» природой, похожие на опалы или тонкозернистый непрозрачный кварц. Образуются они при метаморфизме кварцевых песчаников или при метасоматическом замещении кремнеземом любых горных пород, часто известняков («вторичные кварциты»).

Следующая группа скальных пород карбонатного типа – *мраморы, роговики, скарны*.

*Мраморы* - кристаллические горные породы от крупно- до мелкозернистых и, состоящие из кальцита, доломита и возникающие при метаморфизме известняков и доломитов.

*Роговики* - обычно темные, плотные породы, состоящие из кварца, биотита с примесью полевых шпатов, роговой обманки и других минералов (состав четко виден только под микроскопом), возникшие в результате контактового метаморфизма, часто песчано-глинистых осадочных пород.

*Скарны* - контактово-метасоматические преимущественно крупнозернистые г.п., образующиеся на контакте гранитоидов и карбонатных толщ и состоящие из граната и пироксена с примесью магнетита, эпидота, роговой обманки и многих других минералов.

**Осадочные** горные породы являются продуктом выветривания или разрушения ранее существовавших пород. Продукты разрушения пород переносятся водой, ветром, ледниками, путем гравитационного переноса и отлагаются в виде осадков (sediment) на поверхности суши и на дне водоемов – рек, озер, морей и океанов. Осадочная оболочка толщиной от 1–2 см до 10–20 км покрывает практически весь земной шар.

Науку, изучающую состав, строение и условия формирования осадочных пород называют *литологией* (от греч. litos – камень).

Основные отличительные особенности осадочных пород является слоистая (пластовая) форма залегания, выражающаяся в чередовании пород различного состава.

По способу образования осадочные породы могут быть разделены на три группы:

1. **Обломочные** - образуются путем накопления обломков ранее существовавших пород;
2. **Глинистые** - породы образуются из осадков выпавших из растворов;
3. **Химические и биохимические** - возникают за счет жизнедеятельности организмов. Многие породы двух последних подгрупп имеют общее происхождение.

Главной *текстурой* осадочных горных пород является *слоистость* (*layering, или bedding*) (рис.19).

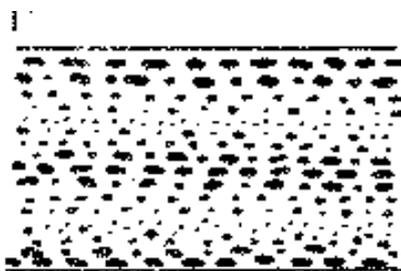


Рис. 19. Текстура осадочных горных пород



Рис. 19 а. Волновая рябь



Рис. 19 б. Трещины усыхания

**Структуры** осадочных горных пород в зависимости от их происхождения разнообразны. Для терригенных пород главной структурой является *обломочная*, особенности которой определяются, прежде всего, размерами, формой, степенью окатанности обломков (рис.20, 21,22).

**1. Обломочными** называют образования, сложенные более чем на 50 % обломками минералов или минеральных агрегатов преимущественно кварцево-силикатного состава. Обломочные (терригениые) горные породы образу-

ются путем накопления обломков ранее существовавших минералов и горных пород.

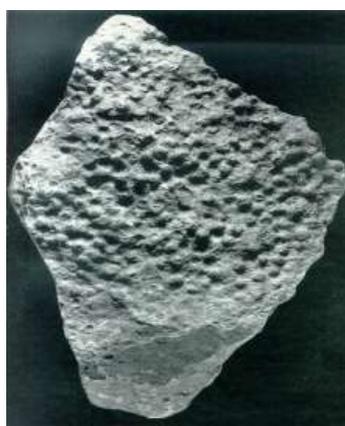
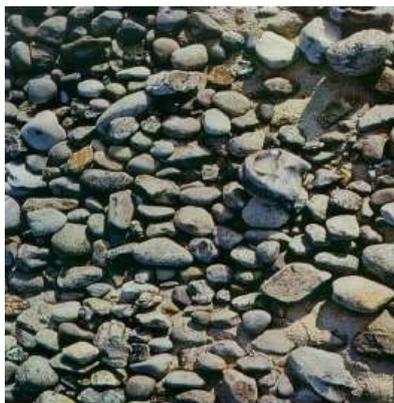


Рис. 20. Обломочная структура

Рис.21. Органогенные известняки

Рис.22 Оолитовая структура

Классификация терригенных горных пород строится исходя из:  
а – размера (величины) обломков;  
б – степени их окатанности;  
в – рыхлости или сцементированности.

**По размеру** обломков выделяются (табл. 1):

- грубообломочные или *псефитовые* (от греч. *psephos* – галька) породы с размерами зерен свыше 2 мм;
- песчаные или *псаммитовые* (от греч. *psammos* – песок) размером от 2 до 0,05 мм;
- пылеватые или *алевролитовые* (от греч. *alevros* – пыль) размером от 0,005 до 0,001 мм.

**По степени их окатанности** выделяют (табл.3) если обломки окатанные, то это *валуны* (крупнее 20 см), *галька* (1–20 см), *гравий* (2 мм – 1 см). Если обломки угловатые, их именуют, *глыбами* (крупнее 20 см), *щебнем* (1–20см) и *дресвой* (2 мм –1 см).

Окатанность обломков влияет на название породы в интервале от глыб-валунов до дресвы-гравия, в пределах, доступных для визуального (на глаз) определения степени окатанности обломков. В песках и песчаниках степень окатанности зерен устанавливается уже только под микроскопом, поэтому нет различий в названиях этих пород с окатанными или не окатанными песчинками. Приведенные в табл. 3 названия грунтов относятся к рыхлым осадкам.

Если в межзерновом пространстве химическим способом возникли какие – либо *аутигенные* («рожденные на месте») минералы (опал, халцедон, кварц, кальцит, глина), то их агрегаты называются *цементом*, а сами породы *сцементированными*. По составу этот цементирующий материал может быть карбонатным, глинистым, железистым. Валунникам и галечникам отвечают сцементированные *конгломераты*, скоплениям глыб и щебня – *брекчии*, гравию – *гравелиты*, песку – *песчаники*, алевриту – *алевролиты*.

Таблица 3

Обломочные (терригенные) породы

Подгруппа пород	Рыхлые		Сцементированные	
	обломки не окатанные	обломки окатанные	обломки не окатанные	обломки окатанные
Размер обломков, мм				
Псефиты >200	глыба	валуны	глыбовая брекчия	валунный конгломерат
10 – 200	щебень	галечник	брекчия	конгломерат
2 – 10	дресва	гравий	дресвяник	гравелит
Псаммиты 2 – 0,05	песок		песчаник	
Алевриты 0,05 - 0,001	Алеврит ( лесс )		алевролит	
Пелиты меньше 0,001	глина		аргиллит	

Обломочные породы могут быть продуктами механического выветривания – развалами щебня, глыб (*элювий*); осыпями на склонах (*коллювий*); ветровыми (*эоловыми*) накоплениями в дюнах и барханах; отложениями временных водотоков (*пролювий*), речных русел и пойм (*аллювий*).

**2. Глинистые породы** являются самыми распространенными (свыше 50%) из всех осадочных пород. Они состоят в основном из частичек глинистых минералов – каолинита, монтмориллонита, гидрослюды. Размер глинистых частиц меньше 0,001 мм. В качестве примеси могут присутствовать зерна кварца, слюд, полевых шпатов, а также органические вещества и аутигенные минералы (карбонаты, сульфаты, оксиды). Эти примеси влияют на окраску породы: оксиды железа обуславливают буро-ржавые тона, органические вещества – коричневые или черные. Глинистые минералы возникают в

процессе химического выветривания различных пород на суше или на дне морских водоемов. Затем они переносятся водными потоками, льдом и ветром, формируя слои (пласты) глинистых пород. В природе широко распространены их смеси с карбонатным веществом, именуемые *мергельями*.

По степени уплотнения выделяют:

*глинистые илы* – водонасыщенные осадки с пористостью выше 80–90%,  
*глины* – породы с пористостью около 40–80%, обладающие отчетливо выраженным свойством пластичности;

*супеси* - смесь песчаных и алевроитовых частиц с глинистыми (10–20%) при преобладании первых;

*суглинки* - то же при содержании глинистых частиц до 20–40%. Уплотненные глины – аргиллиты – имеют пористость от 2 до 5 %, не размокающие в воде.

**Глины** примечательны своими свойствами, отличающим их от всех остальных пород, – способностью неоднократно при размокании давать пластичную массу, а при высыхании твердеть. Связанность глин обусловлена тем, чем силы слипания глинистых частиц гораздо сильнее, чем их тяжесть. Отнесение глин к обломочным породам в известной степени условно, т.к. глинистые частицы обломками в полном смысле этого слова не являются.

**Аргиллиты** – уплотненные, потерявшие пластичность глины. Это темно-серые, серые, плотные, с раковистым изломом, очень тонкозернистые или без видимого зернистого строения породы.

**3. Химические и биохимические породы.** Эти породы образуются путем выпадения вещества из истинных – соли (карбонаты, сульфаты, хлориты) и коллоидных – глины, кремнистые, железистые и марганцевые соединения – растворов. Отличительными признаками хемогенных горных пород являются отсутствие обломочной структуры, органических остатков, часто – кристаллическое или оолитовое строение.

**Органогенные** горные породы образуются в результате накопления остатков раковин, колониальных построек (типа коралловых рифов), скелетов



Рис. 23. Органогенные известняки

ранее существовавших организмов (рис. 23). К органогенным горным породам относятся также скопления самих организмов, образующих группу **каустобиолитов**.

Таким образом, отличительной чертой органогенных пород является явное присутствие в породе большого коли-

чества самих организмов или остатков их жизнедеятельности.

Наиболее распространенным являются *органогенные известняки*, состоящие из скоплений целых раковин или колониальных построек известей выделяющих морских организмов – моллюсков, пелеципод, брахиопод, кораллов, морских лилий и других (рис.23). Смешанное хемогенно–органогенное происхождение имеет обыкновенный *писчий мел*, хотя видно это только под микроскопом.

Некоторые организмы в процессе своей жизнедеятельности выделяют не известь, а кремнезем. Наиболее распространенной горной породой в этой группе является *диатомит*, состоящий из скопления микроскопических раковин водоросли диатомея, а также трепел и опока. *Опоки и трепелы* – светлые микро- и тонко-зернистые, иногда землистые, породы состоящие из опала, часто микропористые, а потому легкие.

Из каустобиолитов *торф, бурый и каменный уголь* хорошо известны и пояснений не требуют. *Горючие сланцы, углистые сланцы*, представляющие собой результат накопления алевроито-глинистого материала вместе с растительными и животными остатками, внешне напоминают аргиллиты и глинистые сланцы, но отличаются черным цветом и явной примесью углистого вещества или запахом нефтепродуктов, сероводорода. Основные виды хемогенных горных пород даны в табл. 4.

Таблица 4

Осадочные горные породы

Химический состав	Хемогенные	Органогенные
1. Карбонатные CaCO <sub>3</sub> CaMg(CO <sub>3</sub> ) CaCO <sub>3</sub> + 30% глины	Известняк Доломит Мергель	
2. Галоидные и сернокислые NaCl CaSO <sub>4</sub> × 2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub>	Каменная соль Гипс Ангидрит	
3. Железистые Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> × nH <sub>2</sub> O	Бурые железняки Fe-Mn конкреции	
4. Алюминий содержащие Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> × nH <sub>2</sub> O	Каолиновые глины Бокситы	
5. Кремнистые (SiO <sub>2</sub> ); (SiO <sub>2</sub> × nH <sub>2</sub> O)	Яшма	Опока Диатомит
6. Фосфорсодержащие	Фосфориты	
7. Каустобиолиты (горючие)		Торф Бурый уголь Каменный уголь Горючие сланцы

Для карбонатов, галоидов и сульфатов характерно кристаллическое строение. Даже очень тонкозернистые известняки узнаются по многочисленным точечным блесткам граней кристалликов кальцита на свежем сколе породы. Цвет известняков преимущественно светло-серый, но и темно-серый и красно-бурый в зависимости от примесей глины, органического вещества, окислов железа.

*Доломиты* очень похожи на известняки. Иногда их можно отличить (если не прибегать к реакции  $\text{HCl}$ , с которой доломиты, в отличие от известняков реагируют только в порошке) по более зернистому, «сахаровидному» свежему сколу и слабо желтовато-белесой мучнистой (напоминает ссохшуюся муку) корочке на выветрелой поверхности.

Отнесение глин и аргиллитов к хемогенным породам столь же относительно, как и выше к обломочным. Явных, видимых на глаз, отличий между «обломочными» и «хемогенными» глинами нет. Белые *каолиновые* глины и красные *латериты* легко узнаются.

*Бокситы* – переотложенные в прибрежно-морских условиях латериты. Для них характерен буро-красный цвет и оолитовое строение.

*Мергель* – порода промежуточная по составу между известняками и глинами. Внешне она походит на аргиллит, но обычно светлее и вскипает с  $\text{HCl}$ .

Таким образом, в составе земной коры принимают участие все элементы Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Наиболее распространенными являются кислород, кремний и алюминий.

Земная кора складывается горными породами, которые представляют собой закономерные агрегаты минералов. Химический состав и внутренняя структура минералов зависит от условий их образования и определяют их физические свойства. В свою очередь, вещественный состав, строение, структура и текстура горных пород указывает на их происхождение и позволяют классифицировать минералы и горные породы как в полевых, так и камеральных условиях.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. *Какие главнейшие химические элементы и соединения принимают участие в строении земной коры?*
2. *Что такое минерал?*
3. *Каковы основные принципы классификации минералов?*
4. *Какие основные породообразующие минералы известны?*
5. *Что такое горная порода?*
6. *В чем заключается особенность осадочных горных пород?*
7. *Какие структурные и текстурные особенности метаморфических пород?*
8. *Каково происхождение метаморфических пород?*

### **Литература**

*Емельяненко П.Ф., Яковлева Е.Б.* Петрография магматических и метаморфических пород. – М.: Недра, 1985. – 423 с.

## Глава 6

# ВОЗРАСТ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ

### 6.1. Стратиграфия

Геологическую историю Земли и закономерности ее развития изучает *историческая геология*. Объект ее изучения – горные породы и заключенные в них органические остатки животных и растений. Это необходимо для поисков и разведки многих полезных ископаемых, так как их образование приурочено к определенному времени в истории развития земной коры и к строго определенным условиям осадконакопления.

*Стратиграфия* – это раздел исторической геологии, который выясняет последовательность напластования толщ горных пород и устанавливает их возраст.

Стратиграфия (от *лат.* stratum – «слой» и *греч.* «графо» – «пишу») решает следующие основные задачи:

1) Стратиграфическое расчленение пород на отдельные подразделения. Результатом является построение стратиграфической колонки. «Слой, лежащий выше, образовался позже слоя, лежащего ниже» – писал датчанин Стено в 1669 году. В стратиграфической колонке наиболее древние породы изображаются внизу, наиболее молодые наверху.

2) Стратиграфическая корреляция (сопоставление) одновозрастных отложений удаленных друг от друга территориально. Результатом решения этой задачи является построение геологической карты.

Основным палеонтологическим методом в стратиграфии является *био-стратиграфический* метод – метод руководящих форм. Руководящими формами называют ископаемые организмы, которые жили короткий промежуток времени, но были широко распространены (например, конодонты).

Как сопоставить возраст слоев, выходящих на поверхность на берегу Москвы–реки и в долине реки Миссисипи? Горные породы – слои песка, глин, известняков – сами по себе ничего не говорят о времени своего «рождения». Но каждую эпоху существования органического мира на Земле планету населяли характерные только для нее животные и растения, повторение таких форм больше невозможно. Закон необратимости эволюции гласит: «Организм, однажды возникнув, никогда не возвратится к строению своего предка». Это означает, что процесс эволюции, как и время, идет всегда только в одном направлении и для любого отрезка времени можно найти организмы, которых не было ни раньше, ни позже. Разделять и сопоставлять (соотносить друг с другом) горные породы по времени образования на пространстве всей Земли путем сравнения содержащихся в них ископаемых остатков – это главная задача биостратиграфического метода.

В 20–30-е гг. XIX столетия на основе изучения ископаемых остатков составлена геохронологическая шкала – шкала геологического времени. Основу ее составляют выявленные палеонтологией этапы развития жизни на Земле. Это своего рода календарь истории Земли. Она показывает, в какой последовательности накапливались горные породы.

Первый вариант Международной стратиграфической шкалы был рассмотрен и утвержден в 1881 году на второй сессии Международного геологического конгресса. До сегодняшнего времени она усовершенствуется стратиграфами всего мира. Решения принимаются международной стратиграфической комиссией.

В нашей стране в 1977 году опубликован Стратиграфический кодекс, выполнение которого обязательно при проведении геологических работ.

Единицами шкалы геологического времени (геохронологические подразделения) являются *эры*, делящиеся на *периоды*, а толщи горных пород (стратиграфические подразделения) – на соответствующие *группы* и *системы*. Далее *периоды (системы)* подразделяются на *эпохи (отделы)* (табл.5). В таблице представлены (снизу вверх) важнейшие (начиная с самых ранних) периоды в истории нашей планеты.

Геологическая стадия подразделяется на 2 основных этапа: *фанерозой*, включающий в себя три эры, общей продолжительностью около 570 млн. лет и *криптозой* или *докембрий*, продолжительностью более 3 млрд. лет.

*Эры (группы)* – крупные стратиграфические подразделения, имеющие значительную мощность, большие площади распространения, сложный состав. Образуются в течение одной эры. Границы между эрами проводятся по резким изменениям в составе органического мира, которые выделяются как экологические кризисы или катастрофы. В состав *фанерозоя* входят три эры: *палеозойская (PZ)*, *мезозойская (MZ)*, *кайнозойская (KZ)* (табл. 5).

*Период (система)* – часть эры, характеризующаяся типичными для нее родами фауны и флоры с определенными тектоническими границами. Обозначается заглавной буквой латинского алфавита (табл. 5). Так, девон (D) *палеозойской (PZ)* эры называют «периодом рыб», а юру (J) *мезозойской (MZ)* эры – «эрой динозавров».

*Эпохи (отделы)* – часть системы. Отдел бывает нижний, средний, верхний; а эпохи, соответственно – ранняя, средняя, поздняя. Самая молодая эпоха (отдел) четвертичного периода (системы) называется голоцен или современный. *Эпохи (отделы)* обозначаются *арабскими цифрами*. Например, индекс K<sub>2</sub> означает, что порода образовалась в поздне меловую эпоху мелового периода и относится к верхнемеловому отделу меловой системы.

## 6.2. Геологическая история Земли

По последним результатам изучения состава метеоритов и лунных пород возраст Земли оценивается в 4.6–4.7 млрд. лет. Земля по одной из гипотез

сформировалась за счет исходного протопланетного газопылевого вещества, образованного взрывом сверхновых звезд.

Согласно современным представлениям, главным планетарным процессом развития Земли является гравитационная дифференциация земного вещества. В результате этого процесса в центре планеты выделилось плотное железистое ядро, а в мантии возникли конвективные течения, являющиеся причиной дрейфа континентов и тектонической деятельности. На самом раннем этапе своего развития Земля была еще сравнительно холодной и тектонически пассивной планетой. В это время она лишь постепенно прогревалась, и к началу архея произошло расплавление верхней мантии.

Постепенное охлаждение до внутренней температуры планеты 2000–3000°C и температуры поверхности менее 100°C приводит к потере первичной атмосферы из водорода и гелия. Кислорода в атмосфере пока нет. Образуется первичная (базальтовая) кора и древние щиты континентов. Возможно существование понижений, заполненных водой. Формирование первичных возвышенностей в результате вулканической деятельности. Происходит абиогенный синтез органических соединений. Это дает начало эволюции биосферы.

Геологическая жизнь планеты условно начинается с рубежа 3.8 млрд. лет назад, с возраста наиболее древних горных пород. В геологической истории Земли за длительное время ее существования происходили различные события. Время наивысшей тектонической активности и магматической деятельности, сопровождаемое складкообразованием и значительными горизонтальными перемещениями называют тектономагматической эпохой. В истории Земли насчитывается 20 тектономагматических эпох.

**Таблица 5**

**Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала**

Эра (группа)	Период (система) и его обозначение	Время, млн. лет
Кайнозойская KZ (65)	Четвертичный (квартер) Q	1.6
	Неогеновый (неоген) N	23.0
	Палеогеновый (палеоген) P	40.4
Мезозойская MZ (183)	Меловой (мел) K	79.0
	Юрский (юра) J	69.0
	Триасовый (триас) T	35.0
Палеозойская PZ	Пермский (пермь) P	38.0
	Каменноугольный (карбон) C	74.0
	Девонский (девон) D	48.0
	Силурийский (силур) S	30.0
	Ордовиковский (ордовик) O	67.0
	Кембрийский (кембрий) C	65.0
Протерозойская PR		1080
Архейская A		1250

## 6.2.1. Докембрий

Докембрий охватывает около 85% общей длительности истории Земли. В архейскую и протерозойскую эры (3 млрд. лет) эволюционировала земная кора, менялись состав и толщина атмосферы, возникла и видоизменялась гидросфера (табл. 6).

Таблица 1

Акротема	Эонотема	Эратема	Система	Отдел	Нижняя граница (млн. лет)
Протерозой PR	Верхний PR <sub>2</sub> Рифей R		Венд	Верхний V <sub>2</sub>	650–670
				Нижний V <sub>1</sub>	1400
				Верхний R <sub>3</sub>	1650
				Средний R <sub>2</sub>	2600
				Нижний R <sub>1</sub>	3000
Архей AR	Нижний PR <sub>1</sub>				
				Верхний AR <sub>2</sub>	
				Нижний AR <sub>1</sub>	

Характерно несколько эпох складчатости тектонико-магматической активизации, а также образование красноцветных пород, содержащих оксиды железа. Выходы пород докембрия занимают около 20% площади суши Земли. В них сосредоточено свыше 60% минеральных ресурсов: железные руды, уран, золото, никель и т.д.

Около 3,5 млрд. лет назад на земле появились бактерии и вирусы. Биосфера по сравнению с литосферой, гидросферой и атмосферой является более молодой оболочкой Земли. Ее образование связано с возникновением и развитием жизни на Земле.

Следует отметить, что геологическая история Земли в докембрии изучена слабо.

## 6.2.2. Фанерозой

Фанерозой является вторым крупным этапом в развитии земной коры. Он включает в себя три эры: кайнозойскую (KZ), мезозойскую (MZ) и палеозойскую (PZ) (табл. 7).

### 6.2.2.1. Палеозойская (PZ) эра

Палеозойская эра (эра древней жизни) продолжалась примерно 330 млн. лет. Эта самая продолжительная эра, в которую входят шесть периодов: *кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный, пермский*. (табл. 7).

Таблица 2

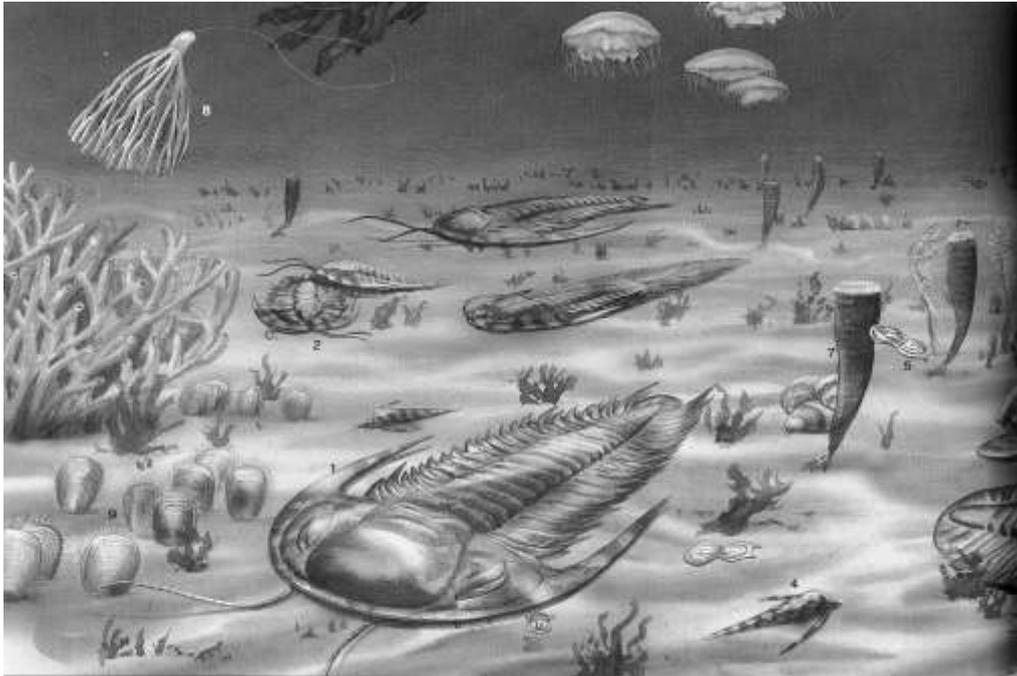
## Палеозойская эра (эратема)

Эоно-тема	Эра-тема	Система (период)	Отдел (эпоха)
Ф А Н Е Р О З О Й	П А Л Е О З О Й С К А Я	Пермская Р (пермский) 38,0	Верхний Р <sub>2</sub> (поздняя) 10,0
			Нижний Р <sub>1</sub> (ранняя) 28,0
		Каменноугольная С (каменноугольный) 74,0	Верхний С <sub>3</sub> (поздняя) 14,0
			Средний С <sub>2</sub> (средняя) 20,0
			Нижний С <sub>1</sub> (ранняя) 40,0
		Девонская D (девонский) 48,0	Верхний D <sub>3</sub> (поздняя) 14,0
			Средний D <sub>2</sub> (средняя) 13,0
			Нижний D <sub>1</sub> (ранняя) 21,0
		Силурийская S (силурийский) 30,0	Верхний S <sub>2</sub> (поздняя) 13,0
			Нижний S <sub>1</sub> (ранняя) 17,0
		Ордовикская O (ордовикский) 67,0	Верхний O <sub>3</sub> (поздняя) 10,0
			Средний O <sub>2</sub> (средняя) 30,0
			Нижний O <sub>1</sub> (ранняя) 27,0
		Кембрийская E (кембрийский) 65,0	Верхний E <sub>3</sub> (поздняя) 18,0
			Средний E <sub>2</sub> (средняя) 17,0
			Нижний E <sub>1</sub> (ранняя) 30,0

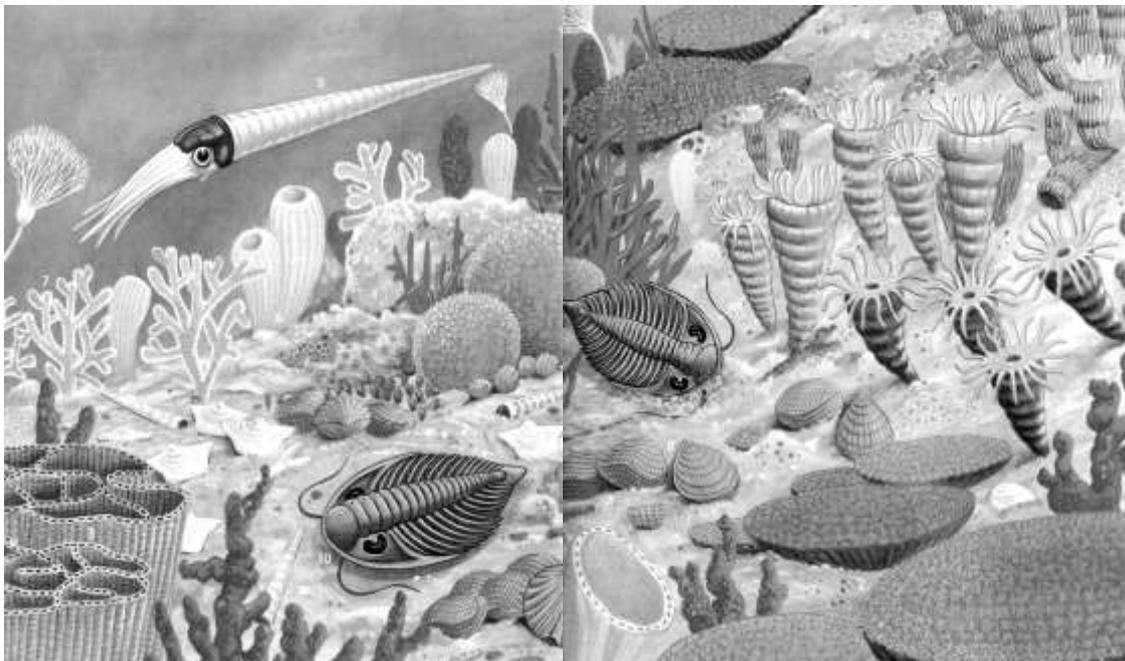
Согласно развития органического мира на протяжении палеозойской эры намечается два различных этапа: морской и континентальный.

Первый этап (*ранний палеозой*) – морской, включает в себя кембрий, ордовик и силур, когда вся жизнь на Земле была сосредоточена на дне мелководных морей.

В кембрийский период отмечается расцвет многоклеточных водорослей и беспозвоночной бентосной фауны: брахиоподы, двустворчатые,



**Рис. 24. Реконструкция морского дна на мелководье позднего кембрия. Многочисленные трилобиты(1-6), археоциаты (7) процеживают воду в поисках пищи, а древние брахиоподы (9) пропускают воду через свои раковины, используя их как фильтр**



**Рис. 25. Основные животные, образующие ордовикско–силурийские рифы –твердые кораллы(1), скелетов морских лилий (5), губок (6), мшанок (7), трилобиты (10)**



**Рис. 26. Первые растения заселили участки суши по берегам болот и озер.  
Первые челюстные рыбы**

брюхоногие и головоногие моллюски, трилобиты и археоциаты – основные рифостроители своего времени (рис.24).

Вода в морях и океанах приобрела химический состав, близкий к современному. Содержание  $O_2$  в атмосфере достигло 1 % от современного. Уменьшилось содержание  $CO_2$  и водяных паров. Умеренно теплый, сухой климат. Преобладают водоросли.

Животный и растительный мир *ордовикского периода* был по-прежнему сосредоточен в морях и океанах, причем разнообразие его многократно возросло. Появляются кораллы – это новые мощные рифостроители, пришедшие на смену вымершим в середине кембрия археоциатам.

Формирование твёрдых скелетов позволило многим бентосным животным приподниматься над морским дном и кормиться в богатых пищей водах.

В первую очередь это были иглокожие (морские пузыри и морские лилии) – неотъемлемые члены биоценозов ордовикско–силурийских морей (рис.25).

Начало образования озонового экрана в атмосфере. В *силурийских* морях появляются бесчелюстные панцирные рыбы, а в лагунах – гигантские, хищные ракоскорпионы. К концу силура появляются первые челюстные рыбы (рис.28). Происходит выход растений на сушу. Содержание  $O_2$  в атмосфере от современного достигло 10 %. Продолжается образование озонового экрана. В этот период преобладает жаркий сухой климат (средняя температура  $+20^{\circ}C$ ).

Что же было на месте Томска в доисторическую эпоху? 330 млн. лет назад территория была залита морем, господствовали субтропики. Земные полюса находились в противоположном месте, экватор проходил примерно по линии, где сегодня тянется Уральский хребет.

В раннем палеозое из полезных ископаемых преобладают осадочные месторождения; в первую очередь это эвапориты – соли, наибольшее значение имеющие для кембрийского периода (например, месторождение каменных солей Усолье Сибирское).

Ранний палеозой также считается эпохой мощного фосфоритообразования (месторождения Китая, Вьетнама, Средней Азии, северо–запада России).

По сравнению с докембрием в фанерозое резко возросло образование нефти. Раннепалеозойский возраст имеют нефтеносные горизонты в Алжирской Сахаре и США, где они дают треть годовой добычи нефти. В ордовикском периоде накопились горючие сланцы Прибалтике.

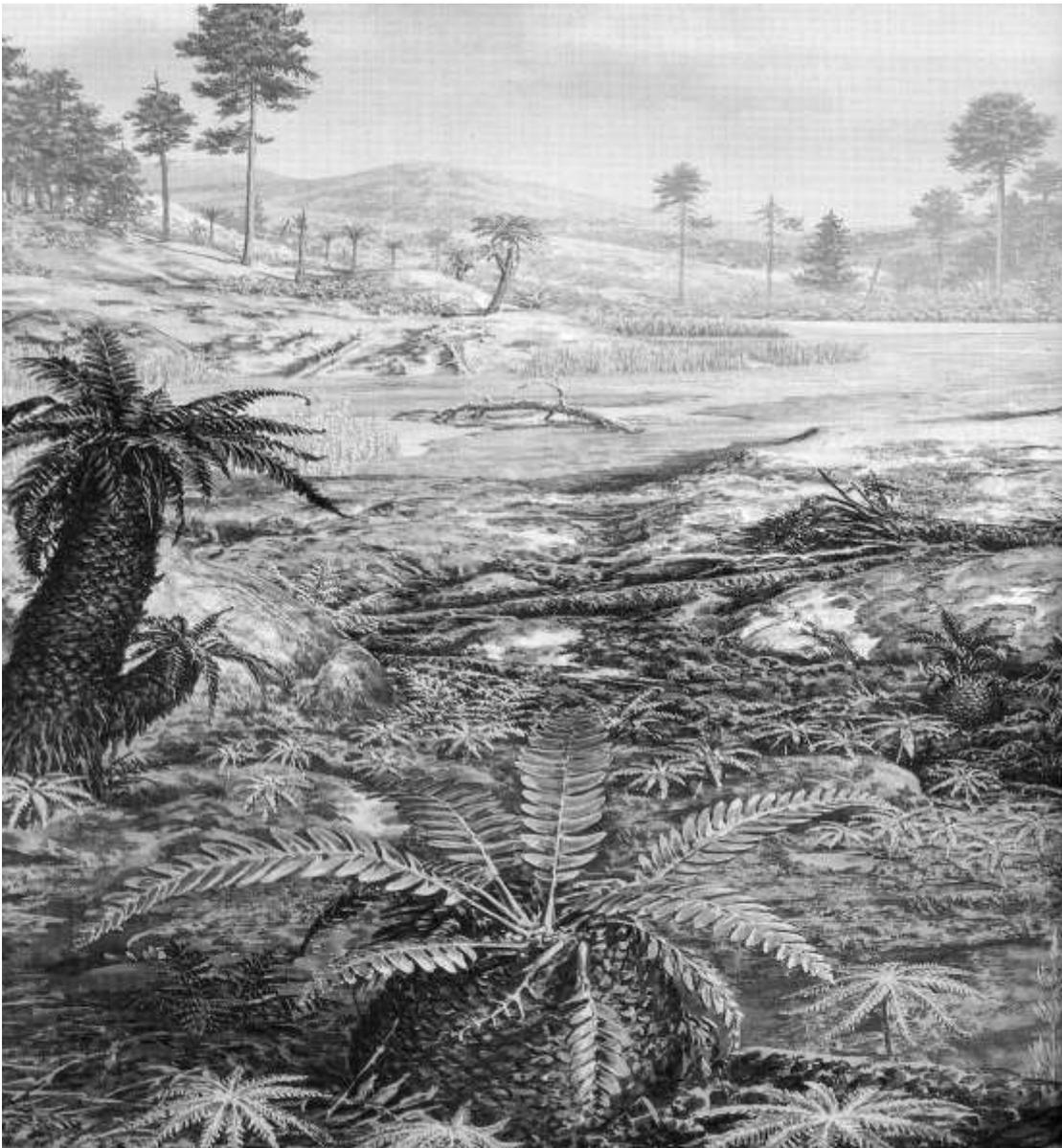
Таким образом, наиболее важным событием было появление *скелетной фауны* в начале кембрийского периода.

Второй этап (*поздний палеозой*) – продолжительность 160 млн. лет включает *девонский* (48 млн. лет), *каменноугольный* (74 млн. лет) и *пермский* (38 млн. лет) периоды.

Поздний палеозой – это эпоха появления и развития *наземной флоры*, оказавшей огромное влияние на последующее развитие органического мира и географической оболочки земного шара в целом.

Формирование наземной растительности в *девонском периоде* явилось вторым крупнейшим событием палеозойской эры; в *раннедевонское время впервые сформировалась наземная растительность*. Содержание в атмосфере  $O_2$  приблизилось к современному, а концентрация  $CO_2$  изменилась от 0,1 до 0,4 % . Преобладает тропический влажный, умеренно влажный и сухой климат, но к концу периода наступает его гумидизация.

В среднедевонское время (рис.26) появляются членистостебельные и плауновидные растения – так называемая *гиениевая флора*; биомасса её, по-видимому, была достаточно велика: в это время образуются древнейшие ископаемые угли. Одно из нескольких известных на Земле месторождений девонских углей находится на территории Кемеровской области.



**Рис. 26. Ландшафт карбона – ранней перми**

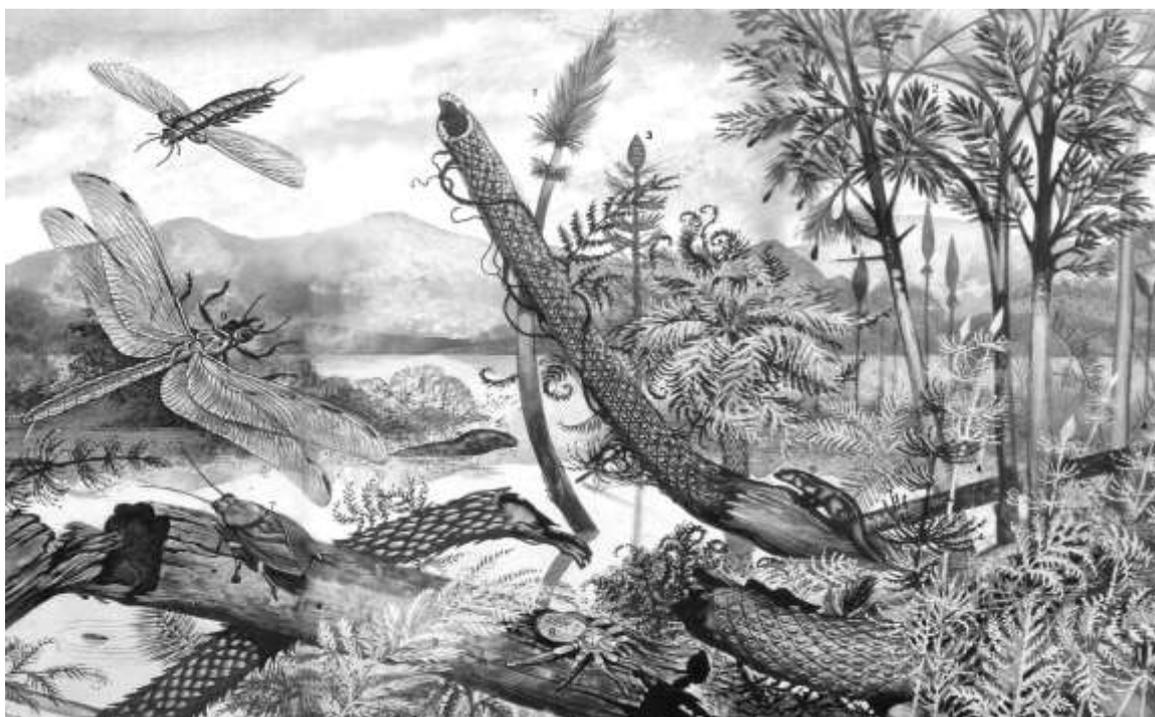
В *каменноугольном периоде* продолжалось быстрое развитие наземной растительности: возросло видовое разнообразие, многократно увеличилась биомасса.

Папоротники процветали в сырых и влажных каменноугольных лесах, однако они оказались плохо приспособленными к более засушливому климату, сформировавшемуся в пермский период (рис. 27). Преобладает гумидный климат. Средняя температура  $+26,6^{\circ}\text{C}$  в начале и  $+21^{\circ}\text{C}$  в конце периода. В конце периода происходит оледенение на всех континентах Южного полушария. Предполагается, что характерными ландшафтами каменноугольного периода являются низменные заболоченные равнины, покрытые пышной древовидной растительностью (рис. 28).

Резкое снижение видового разнообразия наземной флоры в течение позд-непермско–раннетриасового интервала геологического времени рассматривается как одно из проявлений экологического кризиса, разразившегося на рубеже палеозойской и мезозойской эр.



**Рис. 27. Отпечаток папоротника фрагмент окаменевшего папоротника из угленосной толщи**



### Рис. 28. Болото каменноугольного периода

Крупные древовидные сигиллярии (1), гигантские плауны (2), а также густые заросли хвощей (4). Снуют в подлеске членистоногие: тараканы (7) и пауки (8), а воздух над ними бороздят гигантские стрекозы (9) с почти метровым размахом крыльев

В стоячей болотной воде развились новые животные – земноводные, способные дышать воздухом (рис. 29). За счет их эволюции к концу девонского периода появляются представители нового класса позвоночных – земноводные. Они достигали несколько метров в длину и обладали костным щитом в головной части.

В результате появления скелетной фауны и наземной растительности жизнедеятельность организмов становится одним из важнейших факторов, определяющих ход экологических и геологических процессов.

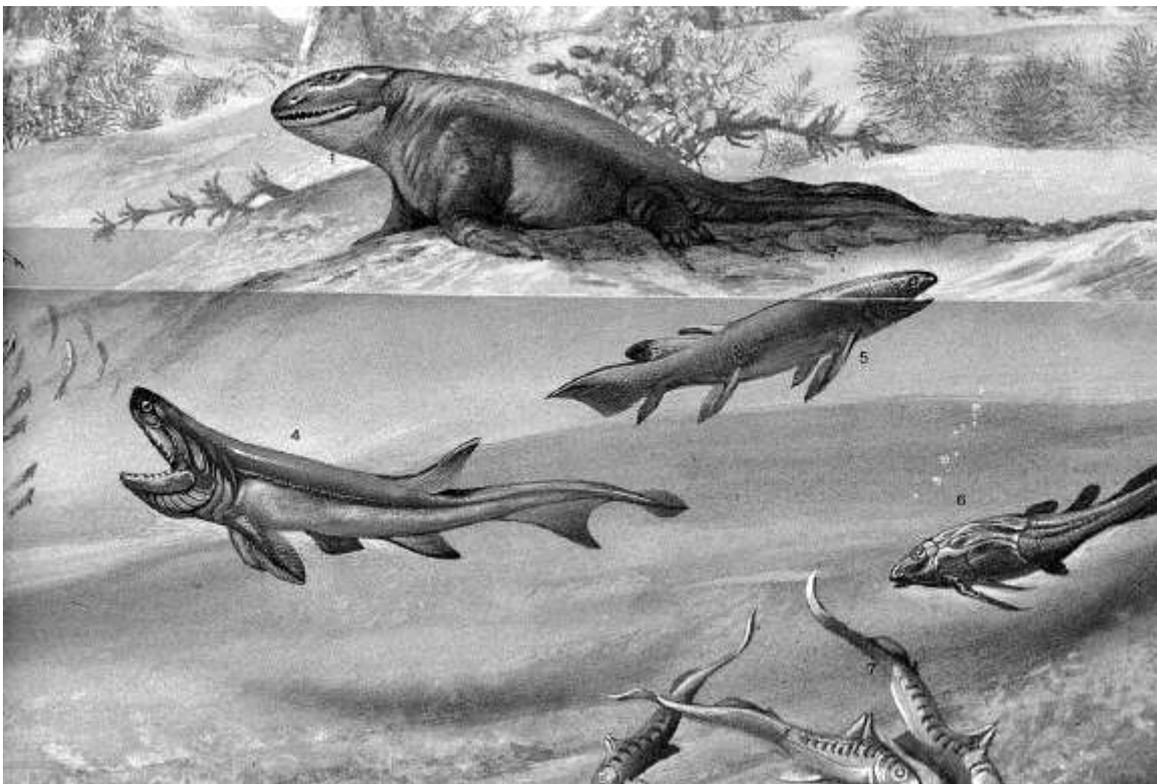


Рис. 29. Болото позднедевонского периода

Появляются и получают широкое распространение представители класса насекомых, которые в последующие геологические периоды сыграли важную роль в разложении органических остатков и образовании почвенного слоя. В каменноугольном периоде появились первые представители класса рептилий – котилозавры. В пермском периоде рептилии подразделяются на травоядные и хищные формы. Последние (звероящеры) рассматриваются как возможные предки класса млекопитающих.

Рубеж перми и триаса ознаменовался вымиранием значительной части органического мира Земли, то есть экологическим кризисом, вероятно, вызванным каким-то существенным изменением окружающей среды.

В *триасовом* периоде освободившиеся экологические ниши заполняются представителями новых групп органического мира. Это кардинальное обновление органического мира рассматривается как граница двух крупнейших подразделений – палеозойской и мезозойской эр.

Важнейшим событием позднепалеозойского периода явилось возникновение и развитие наземной флоры. Как известно, растения, в отличие от животных, обладают способностью к поглощению и накоплению солнечной энергии в ходе эндотермических реакций, протекающих с участием хлорофилловых зерен. Животные получают необходимую для жизни энергию в результате экзотермических реакций разложения, поглощенного ими растительного материала. Поэтому появление наземной фауны стало возможным лишь после появления наземной флоры.

За счет жизнедеятельности растений произошло существенное перераспределение углерода в оболочках земного шара. В ходе вулканических процессов девонского периода большое количество углерода в виде углекислого газа было выброшено в атмосферу. Предполагается, что в позднедевонско–раннекаменноугольное время атмосфера Земли характеризовалась повышенным содержанием углекислого газа; соответственно, имело место потепление климата вследствие «парникового эффекта». В первой половине каменноугольного периода углекислый газ интенсивно поглощается наземной растительностью и используется для создания тканей растений; в результате захоронения углефицированных растительных остатков значительная часть сохранившегося в атмосфере углерода оказывается в земной коре в виде пластов каменного угля.

Резкое понижение содержания углекислого газа в атмосфере, возможно, явилось причиной похолодания климата ( $t$  понизилась на 3–4 °С) в позднекаменноугольную эпоху, вызвавшего покровное оледенение на территории Гондваны. Континентальный засушливый климат. Одновременно с обеднением атмосферы углекислым газом происходило её обогащение кислородом, что оказало существенное воздействие на процессы химического выветривания. Химический состав, строение и циркуляция атмосферы близки к современным. Появление растительного покрова и, соответственно почвенного слоя изменило гидрологический режим суши, замедлив сток атмосферных осадков. Появление болот вызвало дальнейшее замедление стока.

В итоге резко усилилась густота речной сети за счет появления многочисленных мелких водотоков. В целом произошла кардинальная перестройка географической оболочки Земли.

В позднем палеозое преобладали осадочные месторождения, среди которых наибольшее значение приобретают угли. Самые древние на планете угли имеют девонский возраст, это месторождения Норвегии, Тиманского

кряжа, Кузбасса (Барзасское). В карбоне, по мере распространения растительности по континенту, угленакопление усиливается (на этот период приходится 27% мировых запасов). В нашей стране имеются крупнейшие месторождения углей каменноугольного возраста: Донецкий, Карагандинский, Подмосквовный, Экибастузский бассейны. Карбоновые месторождения ряда европейских стран образуют так называемый «угольный канал Западной Европы». В США также известны подобные месторождения. В пермском периоде (особенно в его первой половине) активно продолжается накопление углей. Это Печорский и Таймырский бассейны, а в Сибири известны Минусинский, Кузнецкий и Тунгусский бассейны: кроме того, в Китае, Индии, Австралии разрабатываются месторождения углей пермского возраста.

Большое значение среди полезных ископаемых позднего палеозоя имеют нефть и газ. С девона по пермь формировались нефтеносные горизонты Волго–Уральской провинции. Позднепалеозойский возраст имеют Тимано–Печорская нефтегазоносная провинция, месторождения Канады, США, Сахары. В позднем палеозое сформировались многие газовые месторождения.

В связи с аридизацией климата в поздней перми накопилось много соленосных отложений. Значительная часть мировых ресурсов калийных солей образовалась в эту эпоху (Верхнекамское месторождение, месторождения Прикаспийской синеклизы, а также Германии и США). Кроме того, известны месторождения поваренной соли, например в Донбассе.

С девонским вулканизмом связаны железные руды и руды цветных металлов Урала, Рудного Алтая, Центрального Казахстана. С герцинским интрузивным магматизмом связаны проявления меди, молибдена, золота, олова и ртути.

#### **6.2.2.2. Мезозойская эра**

Мезозойская эра, продолжительностью 183 млн. лет, состоит из трех периодов: *триасового* (35 млн. лет), *юрского* (69 млн. лет) и *мелового* (79 млн. лет). Триасовый и юрский период делятся на три эпохи: ранняя, средняя и поздняя (Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>, Т<sub>3</sub>, J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub>), а меловой период – на две: ранняя и поздняя (К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub>) (табл.8) Меловая система названа по слагающим её толщам белого писчего мела.

К началу мезозоя существовали две гигантские платформы: Лавразия на севере и Гондвана на юге, разделенные Средиземноморским и Тихоокеанским геосинклинальными поясами. Гондвану пересекал гигантский разлом, который положил начало её.

В *триасовом периоде* установился современный тип циркуляции атмосферы с разнообразием и зональностью (от тропического до холодного) климатов. Преобладание аридности.

Органический мир *триаса* существенно отличался от органического мира предшествующих периодов.

Из типа иглокожих широкое распространение получили морские ежи. В качестве рифостроителей в течение мезозойской эры выступали кораллы. Значительное распространение в течение этой эры имели представители типа моллюсков.

Первая половина триасового периода характеризовалась широким распространением представителей класса рептилий. Наземных рептилий называют динозаврами. В конце триасового периода часть рептилий приспосабливается к полетам (рис. 30).

Таблица 8

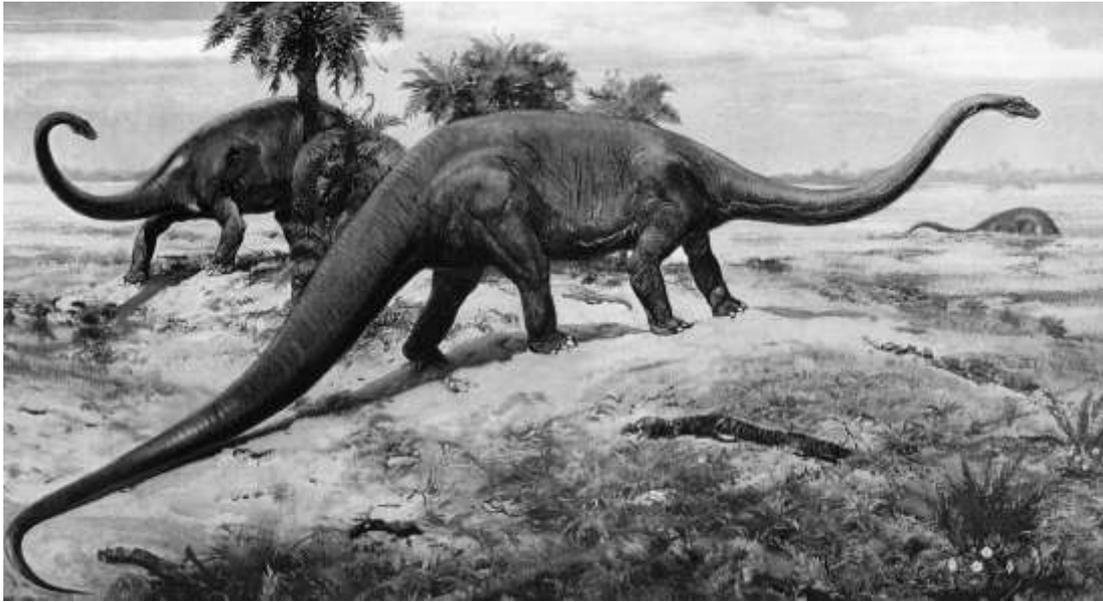
Мезозойская эра

Эонотема	Эратема	Система (период)	Отдел (эпоха)
ФАНЕРОЗОЙ	МЕЗОЗОЙСКАЯ MZ 183	Меловая К (меловой) 79,0	Верхний К <sub>2</sub> (поздняя) 32,5
			Нижний К <sub>1</sub> (ранняя) 46,5
		Юрская J (юрский) 69,0	Верхний J <sub>3</sub> (поздняя) 19,0
			Средний J <sub>2</sub> (средняя) 25,0
			Нижний J <sub>1</sub> (ранняя) 25,0
		Триасовая T (триасовый) 35,0	Верхний T <sub>3</sub> (поздняя) 18,0
			Средний T <sub>2</sub> (средняя) 12,0
			Нижний T <sub>1</sub> (ранняя) 5,0



В юрском периоде продолжение распада и раздвижения Гондваны. Площадь Мирового океана достигла 81% всей поверхности Земли. Теплый влажный климат, средняя температура +25,2°C. Похолодание в середине и конце периода. Появление

Рис. 30. Птерозавры – летающие ящеры



ние и завоевание суши цветковыми.

*В юрском периоде* рептилии благодаря избытку

**Рис. 31. Рекордсмен по размерам среди динозавров – диплодок из верхней юры Северной Америки**



**Рис. 32. Тиранозавр – один из крупнейших хищников, когда-либо обитавших на Земле**

пищи и теплomu климату увеличивают свои размеры. К середине юрского периода появляются гигантские формы – зауроподы (ящероногие). Это были самые крупные наземные животные за всю историю развития органического мира длиной 48 м (рис. 31).

Некоторые из них превосходили современных слонов по массе тела в 6–8 раз (брахиозавры – 23 т, диплодок –

Одновременно с увеличением растительноядных рептилий возрастали размеры хищников: в меловом периоде появляется гигантский наземный хищник тиранозавр Рекс, длиной около 12 м, весом около 4-х тонн (рис. 32).

В юре появились первые птицы (рис. 33). В меловую эпоху 120 млн лет назад в западной и Восточной Сибири, на севере Монголии и Китая вились рептилии и динозавры. В свете данных о широком распространении меловых рептилий представляется

гадочным исчезновением большинства из них на мел–палеогеновом рубеже. До настоящего времени дожили лишь крокодилы, а динозавры, птерозавры и ихтиозавры полностью вымерли. «Великое мезозойское вымирание» про-



Рис. 33. Первые птицы (археоптерикс)

изошло на границе мезозоя и кайнозоя. Тогда органический мир лишился почти 75 % своих представителей.

Вопрос о причинах вымирания органического мира рубеже является одной из дискуссионных проблем уже более сотни лет. Возможно, обогащенные иридием прослойки в мел–палеогеновых отложениях, образовались в результате взрыва 65 млн. лет назад нескольких астероидов, вызвавших серию локальных катастроф. Элемент иридий, редко встречающийся на Земле, содержится в метеоритах в повышенных концентрациях.

В юрский период, 150 млн лет назад, полюса переместились. Видимо, это произошло по каким-то космическим причинам. Море на территорию нашей Томской области распространилось с Севера, но было менее теплым. Климат же оставался сравнительно благоприятным, влажным.

К важнейшим полезным ископаемым осадочного происхождения, образовавшимся в течение мезозойской эры относятся *нефть и газ*. Запасы нефти и газа формировались на территории Западной Сибири, Аравийского полуострова, по окраинам впадины Каспийского моря, в пределах Тимано–Печорской провинции, в Северной и Центральной Африке, в Канаде.

Ископаемые *угли* накапливались в течение юрского и мелового периодов в центральной части Евразии, протягиваясь от Прибайкалья до Казахстана; месторождения юрских углей известны на территории Китая и Австралии. В меловом периоде углеобразование происходило на территории Сибирской платформы и на западе Северной Америки.

Юрский и меловой периоды характеризовались интенсивным накоплением *железных руд* осадочного происхождения. Крупные месторождения оолитовых руд железа известны на территории Западной Европы и Западно–Сибирской низменности. Бокситы юрского возраста известны на Урале, в Средней Азии, в Средиземноморье. Месторождения фосфоритов мелового

возраста приурочены к северной окраине Африканского континента. На территории Европы в составе меловой системы широко распространены отложения белого пещего мела.

На Сибирской платформе с трапповой формацией триасового возраста связаны месторождения цветных и редких металлов, а также алмазоносные трубки. Алмазоносные трубки мелового возраста известны на территории Якутии, Южной Африки и Индостана.

### 6.2.2.3. Кайнозойская эра

Кайнозойская эра – эра новой жизни (кайнос – новый, зое – жизнь). Её продолжительность 66 млн лет. В настоящее время существует три периода кайнозойской эры:

- Палеоген (палеоцен, эоцен, олигоцен);
- Неоген (миоцен, плиоцен);
- четвертичный период или *антропоген (плейстоцен, голоцен)*

Свое второе название четвертичный период получил из-за появления на Земле человека. В основу деления четвертичного периода положен климатический принцип – чередование похолоданий (оледенения) и потеплений (межледниковия).

Таблица 4

Кайнозойская эра

Эоно-тема	Эра-тема	Система (период)	Отдел (эпоха)
ФАНЕРОЗОЙ	КАЙНОЗОЙСКАЯ	Четвертичная Q (антропогеновый) 1,8	Голоцен
			Неоплейстоцен
			Эоплейстоцен
		Неогеновая N (неогеновый) 22,8	Плиоцен N <sub>2</sub> 3,3
			Миоцен N <sub>1</sub> 19,5
		Палеогеновая (палеогеновый) 40,4	Олигоцен 13,4
			Эоцен 16,9
			Палеоцен 10,1

*Четвертичный период* – время становления и развития человеческого общества, время сильнейших климатических событий: наступления и периодической смены ледниковых эпох межледниковыми.

Главной особенностью четвертичного периода является его кратность. Продолжительность периода, по разным данным, оценивается от 0.7 до 3.5 млн. лет.

Главным событием кайнозойской эры стало доминирование наземных и морских млекопитающих, а также появление приматов. Похолодания и потепления климата привели к миграции фауны и флоры на юг во время похолоданий. Общей закономерностью развития было вымирание теплолюбивых форм и появление животных, приспособленных к жизни при низких температурах, так называемой «мамонтной» фауны (мамонт, шерстистый носорог (рис. 34, рис. 35), гигантский северный олень, пещерный медведь и т.д.).

В конце плейстоцена они вымирают и животный мир на континентах приобретает современный вид.

В составе наземной флоры палеогена господствовали покрытосеменные растения, а из голосеменных остались только хвойные. В начале неогена формируются листопадные леса умеренного пояса, а в середине неогена широкое распространение получают степные ландшафты с большим количеством трав. В конце неогена появляется темнохвойная тайга и тундра.

В четвертичном периоде в связи с климатическими колебаниями наблюдаются миграции флоры и ландшафтов с севера на юг и обратно.



**Рис. 34. Мамонт (Spinar, Burian, 1973)**



**Рис. 35. Шерстистый носорог (Spinar, Burian, 1973)**

Важнейшим событием эволюционного развития органического мира на протяжении кайнозойской эры является появление рода *Номо* (человека разумного) на рубеже неогенового и четвертичного периодов. Научные основы

учения о появлении и развитии этого рода были заложены Чарльзом Дарвиным около 150 лет назад. Существенный вклад в развитие этого учения внес Ф. Энгельс, отметивший роль трудовой деятельности в эволюционном развитии древнейших гоминид.

Специфической особенностью четвертичной системы является формирование континентальных отложений. Молодость этих отложений характеризует их рыхлость (глины, пески, гравий и т.д.).

Двадцать млн. лет назад в Томской области, в неогене, тоже были субтропики, росли вязы, липы, клены, ореховые деревья.

В начале четвертичного периода, около 1.5 млн лет назад, началось похолодание. В четвертичный период с 800 тысяч до 10 тысяч лет назад в Западной Сибири произошло пять похолоданий и потеплений. Арктические льды доходили до широтного течения Оби, не давая рекам течь на Север. Поэтому на территории Томска был огромный подпрудный бассейн с холодной пресноводной водой. Позднее у нас появились мамонты, бизоны, шерстистые носороги и другие «морозоустойчивые» животные. Но из-за очередного оледенения более 10 тысяч лет назад в Западной Сибири вся мамонтовая фауна почти сразу вымерла.

В современную эпоху (голоцен) максимум потепления был 4–5 тысяч лет назад. Широколиственные растения распространились до широты поселка Каргаска. Сегодня снова наблюдается повышение температуры. По мнению ученых, причиной изменений климата является перемещение Земли по Галактике. Если солнечная система пролетает участок Галактики с повышенным содержанием космической пыли, поглощая часть солнечного света, то на планете становится холоднее и наоборот. По прогнозам метеорологов из Великобритании, если потепление будет продолжаться такими темпами, через 80 лет могут растаять арктические льды. Вклад человека в процесс потепления, как считает одна группа ученых, незначительный по сравнению с «космическим», а также с другими естественными факторами.

Самыми распространенными полезными ископаемыми этого периода являются строительные материалы – гравий, песок, различные глины, строительный камень, сера, соль и бораты. Большое значение приобретают россыпные месторождения золота, серебра, олова, вольфрама, алмазов. Только в четвертичных отложениях накапливаются громадные залежи торфа. Подземные воды в засушливых районах являются главным источником пресной воды. А льды Антарктиды являются мировым хранилищем пресной воды на Земле.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. *Что означает «тектономагматическая эпоха»?*
2. *С какого времени начинается геологическая история Земли?*
3. *Какие события произошли 2.5 млрд лет назад?*
4. *Какие условия благоприятствовали возникновению жизни?*
5. *В чем заключается главная особенность четвертичного периода?*

## Литература

1. Белоусов В.В. Тектоника плит и тектонические обобщения // Геотектоника. – 1991. – № 2. – С. 3–12.
2. Верзилин Н.Н. Живое вещество как определяющий фактор развития палеогеографических обстановок и геологических процессов в истории Земли // Современные геологические проблемы учения В.И. Вернадского о биосфере. Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. – С. 129–155.
3. Вронский В.А. Войткевич Г.В. Основы палеогеографии: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону : Феникс, 1997. – 570 с.
4. Гумерова Н.В. Историческая геология: уч.-мет. пособие.– Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 105 с.
5. Гумерова Н.В., Удодов В.П. Экологические кризисы и катастрофы в геологическом прошлом Земли: Учебное пособие. – Томск: ИПФ, ТПУ, 2000. – 23 с.
6. Е.В. Владимирская, А.Х. Кагарманов, Н.Я. Спасский и др. Историческая геология с основами палеонтологии. – Л.: Недра, 1985. – 423 с.
7. Г. И. Немков, Е.С. Левицкий, И.А. Гречишникова и др. Историческая геология: Учебник для вузов. – М.: Недра. 1986. – 352 с.
8. Парфенова М.Д. Историческая геология с основами палеонтологии: Учебное пособие. – Томск: ИПФ ТПУ, 1998. – 547 с.
9. Подобина В.М., Родыгин С.А. Историческая геология: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 262 с.
10. Савина Н.И. Основы и методы стратиграфии. Учебное пособие.– Томск: Изд-во Томского госуниверситета, 2002. – 196 с.
11. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. – М.: МГУ, 1991. – 445 с.
12. Ясаманов Н.А. Популярная палеогеография. – М.: Недра, 1985. – 136 с.
13. Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Историческая геология.– М.: Наука, 1997.– 235 с.

## Глава 7.

### ГИДРОСФЕРА

Наблюдения со спутников, расширение сети приземных и наземных наблюдений на суше, многочисленные экспедиции на научно-исследовательских судах (более 1100 рейсов) в разные районы Мирового океана существенно расширили сведения о гидросфере Земли. Земля является единственной планетой солнечной системы, обладающая водной оболочкой.

ГИДРОСФЕРА – это водная оболочка или все природные воды Земли, объединенные глобальным круговоротом вещества и энергии. Гидросфера включает следующие виды вод: (в скобках, доля от общего объема вод в гидросфере, % ; по М.И. Львовичу, 1974):

- Мировой океан [94,0];
- Подземные воды [4,3];
- Ледники [1,7]%
- Воды суши (озера, речные воды, почвенная влага) [0.03];

- Пары атмосферы [0.001].

Как видим, что подавляющая часть гидросферы приходится на мировой океан, затем идут подземные воды и ледники. На долю поверхностных вод приходится малый объем, но исключительная их активность (меняется в среднем каждые 11 – 17 дней) служит началом формирования всех источников пресных вод на суше.

Гидросфера - самая тонкая оболочка нашей планеты Земля, она составляет лишь  $10^{-3}$  % общей массы планеты. На Земле содержится 1,5 млрд. км<sup>3</sup> воды, т.е. на каждого человека приходится примерно 250 млн. т., но 94 % этого объема составляют соленые воды Мирового океана. Лишь 2% от всего объема гидросферы воды пресные, основная масса которых сосредоточена в ледниках. Так что воды, которую может потреблять человек и другие живые организмы на нашей планете не так уж много. Вода входит в состав живого вещества, как обязательный компонент (70 – 99%), по сути, живое вещество – это водный раствор «живых» молекул. Именно вода обеспечивает их жизнедеятельность.

Мы знаем, что земная жизнь зародилась в водной среде и поэтому ее можно считать производной воды. Гидросфера уже 4 млрд. лет назад была представлена следующими тремя составляющими: *наземной (мировой океан, речные, почвенные, озерные воды, ледники), подземной (воды литосферы), воздушной (парообразная вода атмосферы)*. С общеэкологических позиций важно понять, что именно эволюцией гидросферы планеты определились в прошлом условия развития органического мира на Земле, состоянием гидросферы они определяются в настоящем и будут определяться в будущем. Поэтому на Земле зародилась и сохранилась жизнь – живая материя. Развитие всего органического мира связано с эволюцией водной оболочки Земли.

Гидросфера простирается от верхней границы распространения воды в атмосфере до нижней границы залегания подземных вод в литосфере. Гидросфера вообще и Мировой океан в особенности играют важнейшую роль в перераспределении тепла на земной поверхности.

Океан, имея температуру поверхности слоя в среднем более высокую, чем атмосфера (приблизительно на 3 °С), играет важную роль в теплообмене и обогревает атмосферу. По некоторым расчетам, в океане содержится тепла в 21 раз больше, чем в атмосфере.

### **7.1. Происхождение гидросферы и ее фундаментальные свойства**

Если посмотреть на глобус, то наша Земля представляет своеобразную каплю воды, из которого выступают небольшие участки «тверди земной». Это потому, что 2/3 поверхности Земли занимают океаны. Но и в твердой оболочке Земли – литосфере - имеются целые подземные «морья», пропитывающие горные породы. Это подземные воды.

«Всюдность» (по выражению В. И. Вернадского) является одним из самых удивительных свойств воды. Вода присутствует во всей биосфере. В «История природных вод», Вернадский В.И. пишет: «*Вода охватывает, проникает насквозь – как пар, как пленчатая губка всю земную кору. Где бы мы ни стали бурить, мы встретим воду в капиллярно-жидких массах*». Таким образом, нет на Земле уголка, где бы вода не находилась в той или иной форме; до глубины 30 км – в жидкой, а далее в плазменной форме (ионизированного газа, в котором концентрация положительных и отрицательных зарядов равны).

И так, *первое* свойство гидросферы – *единство и «всюдность»* природных вод. Все воды связаны между собой и представляют единое целое. Такое единство природных вод определяется следующим:

а) легким переходом воды из одного фазового состояния в другое. В пределах земных температур известно три состояния: жидкое, твердое, парообразное. Плазменное состояние воды существует при высоких температурах и давлениях в глубоких частях недр;

б) единым генезисом воды на Земле (мантийным – результат дегазации магмы);

в) постоянным присутствием в воде газовых компонентов. Природная вода – это есть водный раствор (газ, взвешенные твердые частицы, минеральные вещества).

*Второе* фундаментальное свойство гидросферы определяется *особым строением молекулы воды*. Она состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Но распределение электронов и протонов в молекуле таково, что она представляет собой электрический диполь с четырьмя водородными связями. Водородные связи определяют бесконечное множество структур молекулярных агрегатов и необычные свойства воды.

На молекулярном уровне изучение воды только началось. Но сегодня очевидно, что *строение и свойства воды обеспечивают наиболее благоприятные условия для развития жизни на Земле*. Из физики мы знаем, что все тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Вода ведет себя иначе. Если бы при превращении в лед (охлаждении) она сжималась, лед бы был тяжелее воды и тонул на дно рек и озер. Реки были бы проморожены до дна, и жизнь в этих водоемах была бы невозможна. Лед – изолятор, который предохраняет от замерзания воду подо льдом, что защищает всю подводную жизнь. Если бы не было этого свойства, то Земля превратилась бы в закованную льдом планету.

Особое строение молекулы воды обеспечивает *многообразие структуры* ее при изменении внешних факторов (температуры, давления, химического состава). Нам зимой приходилось наблюдать многообразие и красоту ледяных узоров на окнах, снежинку, иней на деревьях. Как нет абсолютно одинаковых двух капель воды, так нет двух типов воды одинаковой по структуре.

*Третье* фундаментальное свойство гидросферы выражается в *геологически вечной подвижности ее*. Движение воды весьма многообразно и проявляется в многочисленных круговоротах. Главное движение воды – геологический круговорот вещества.

Почему происходит движение? Движение может происходить: а) под действием силы тяжести; б) солнечной (тепловой) энергии; в) молекулярного движения при смене фазового состояния.

*Четвертое* фундаментальное свойство гидросферы определяется высокой *химической активностью воды*. В условиях земной коры нет природных тел, которые в той или иной мере не растворялись бы в природных водах. Но вода в биосфере выступает в роли универсального растворителя, ибо взаимодействуя со всеми веществами, как правило, не вступает с ними в химические реакции. Это обеспечивает обмен веществ между сушей и океаном, организмами и окружающей средой.

## **7.2. Круговорот воды и тепла на земном шаре как взаимодействие геосфер**

Основная особенность гидросферы – круговорот воды на земном шаре. Он создает основной механизм перераспределения на Земле вещества и энергии. В круговороте воды на земном шаре проявляются единство природных вод Земли и их связь с атмосферой, литосферой, биосферой.

Физической причиной круговорота воды служат солнечная энергия и сила тяжести. Солнечная энергия является причиной нагревания и последующего испарения воды: на поверхности суши на испарение затрачивается около 54% поступившей энергии, а на поверхности океана – 90%. Неравномерное распределение по земному шару солнечной энергии не только вызывает воздушные потоки - ветры, переносящие испарившуюся влагу и создающие ветровые течения в океане, но и приводит к возникновению плотностных течений воды. Сила тяжести вынуждает сконденсировавшуюся в атмосфере при благоприятных условиях влагу выпадать в виде атмосферных осадков, а накопившуюся в почве воду стекать сначала к дренирующим местностям рек, а от них - в океаны. Несмотря на колоссальные различия размеров «деталей» и «скоростей движения» этой гигантской машины, все звенья ее настолько хорошо подогнаны друг к другу, что количество воды в каждой из частей от года к году остается примерно постоянным. В круговороте воды на земном шаре проявляются закономерности сохранения вещества и энергии, водного и теплового балансов.

В глобальном круговороте воды (рис.36) выделяют два звена:

1) *океаническое звено (А)*, представляющее собой многократно повторяющийся цикл: испарение с поверхности океана - перенос водяного пара над океаном - осадки на поверхность океана - океанические течения - испарение и т.д.;

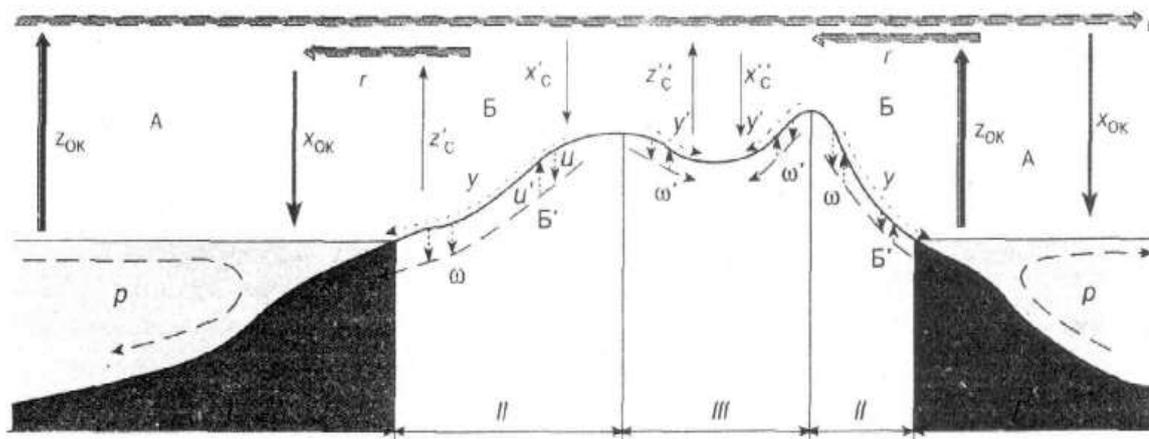
2) *материковое звено (Б)*, также представляющее собой многократно повторяющийся цикл: испарение с поверхности суши – перенос водяного пара – осадки на поверхность суши – поверхностный и подземный сток – испарение и т.д.

Оба звена связаны между собой переносом водяного пара с океана на сушу и, наоборот, поверхностным и подземным стоком с суши в океан.

С поверхности Мирового океана ежегодно испаряется в среднем 505 тыс. км<sup>3</sup> воды. В океан в виде атмосферных осадков возвращается 458 тыс. км<sup>3</sup>. Это так называемый малый круговорот воды. Разность в 47 тыс. км<sup>3</sup> составляют воды, которые переносятся с океана на сушу в виде водяного пара.

На поверхность суши ежегодно выпадает в среднем 119 тыс. км<sup>3</sup> атмосферных осадков. Они слагаются из воды, испарившейся с поверхности суши (72 тыс. км<sup>3</sup>), и влаги, принесенной с океанов. Уносимая с океана влага возвращается в него с равным ей по количеству воды материковым стоком (47 тыс. км<sup>3</sup>), который слагается из поверхностного (44,7 тыс. км<sup>3</sup> в год) и подземного, не дренируемого реками (2,2 тыс. км<sup>3</sup> в год).

Поверхностный сток, в свою очередь, включает водный сток рек, впадающих в океан (41,7 тыс. км<sup>3</sup> в год), и ледниковый сток (3,0 тыс. км<sup>3</sup> в год). Последний представляет собой разгрузку покровных ледников в виде откалывающихся от него айсбергов и поступление непосредственно в океан талой воды из покровных ледников. Наибольшую часть ледникового стока дает Антарктида. Небольшую часть воды из объема, участвующего в круговороте (около 9 тыс. км<sup>3</sup> в год), совершает круговорот в пределах бессточных областей.



**Рис. 36. Схема глобального круговорота воды**

А – океаническое звено; Б, Б' – материковое звено с поверхностной (Б) и подземной (Б') частями: /- океан ( $z_{ок}$  - испарение,  $x_{ок}$  - осадки); // — область внешнего стока суши ( $z_c^1$  - испарение,  $x_c^1$  - осадки,  $y$  - поверхностный,  $\omega$  - подземный сток); /// — область внутреннего стока суши ( $z_c^{11}$  - испарение,  $x_c^{11}$  - осадки,  $y'$  - поверхностный,  $\omega^1$  - подземный сток);  $z$  - перенос влаги в атмосфере;  $\rho$  - океанические течения;  $и$  и  $и'$  — инфильтрация, подъем и испарение вод в грунтах (по: В. Н. Михайлову, 1991).

Особенностью влагообмена бессточных областей с Мировым океаном является то, что вода из них попадает в океан не путем непосредственного стока, а вследствие переноса ее в парообразном виде воздушными потоками.

Осадки на любом участке суши складываются из «внешних», сконденсировавшихся из водяного пара, принесенного извне, и «внутренних» (или местных) осадков, сконденсировавшихся из влаги, испарившейся с поверхности конкретного участка суши. Этот сложный, многократно повторяющийся процесс называется внутриматериковым влагооборотом. Для относительно больших территорий «внутренние» осадки, сток и испарение невелики по сравнению со всем количеством воды, которое переносится воздухом над данной территорией в течение года в результате глобального круговорота.

Таким образом, каждую секунду под влиянием солнечного тепла миллионы кубических метров воды поднимаются вверх и образуют облака. Ветер приводит облака в движение. При подходящих условиях влага выпадает в виде дождя или снега. Дождевые капли имеют благоприятную величину и падают тихо, мягко. Случайны ли все благоприятные для жизни совпадения? Так вода участвует в своеобразных круговоротах вещества и энергии. Эта система установилась на Земле с появлением свободной воды и продолжается по сей день.

Таким образом, атмосфера и гидросфера – взаимосвязанные оболочки Земли, которые играют важнейшую роль в природных процессах на ее поверхности и в верхних слоях литосферы. Они служат регулятором поступления и распределения солнечной радиации, воды и воздуха, необходимых для нормального жизнеобеспечения человека и существования биосферы в целом.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. *Какие три составляющие гидросферы вы знаете?*
2. *Перечислите и раскройте сущность фундаментальных свойств гидросферы?*
3. *Почему реки не промерзают до дна? Каким свойством гидросферы это объясняется?*
4. *Представьте схему большого и малого круговорота воды на Земле?*

### **Литература**

- Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989. – 250 с.
- Науки о Земле. Современное естествознание: Энциклопедия в 10 томах. Т.9. – М.: Наука, 2001. – 524 с.
- Общая и полевая геология: Учебник для вузов /А.Н. Павлов, И.А. Одесский, А.И. Иванов и др. – Л.: Недра, 1991. – 463 с.
- Шварцев С.Л.* Общая гидрогеология. – М.:Недра,1996.– 423 с.
- Круть Н.В.* Введение в общую теорию Земли. – М.: Мысль, 1978.– 124 с.

## Глава 8

### АТМОСФЕРА

*Атмосфера* – это газовая оболочка нашей планеты с содержащимися в ней аэрозольными частицами. Аэрозоль – дисперсная система, состоящая из частичек твердого вещества или жидкости, находящихся во взвешенном состоянии в газовой среде. В частности, это атмосфера со взвешенными в ней частицами пыли, дыма, водяного пара и пр.

Газовая оболочка движется вместе с Землей в мировом пространстве как единое целое и одновременно принимающая участие во вращении Земли.

#### 8.1. Химический состав атмосферы и ее функции

Жизнь на Земле возможна до тех пор, пока существует земная атмосфера, состоящая в естественном состоянии из азота – (объемная доля 78 %), кислорода (21 %) и других газов (аргона) 1 %. Таким образом, атмосфера состоит из смеси газов, называемой воздухом. Атмосферный воздух у земной поверхности, как правило, влажный. Кроме этого, в атмосфере содержится мириады микроскопических твердых частиц (сажа, песок, морская соль, пепел вулканов, метеоритов и т.д.).

Воздушная оболочка Земли возникла в результате выделения газов при вулканических извержениях, т.е. тогда, когда планету потрясали природные катаклизмы. Современная атмосфера и ее состав – продукт живого вещества биосферы. Живое вещество способствовало превращению ее из углекисло-метановой (архей, протерозой, кембрий, ордовик, силур) в азотно-кислородную. До высоты 100 км этот химический состав атмосферы не меняется. Относительно постоянный состав воздуха поддерживается непрерывно идущим процессом – использование газов живыми организмами и выделение их в атмосферу. Естественные процессы потребления газов и их поступление в атмосферу сбалансированы.

Но в настоящее время в атмосферу поступает большое количество газов, которых не было в ее составе раньше. Выделено три экологические проблемы, связанные с загрязнением атмосферы: «парниковый эффект», «кислотные дожди», «озоновые дыры».

Особенно большое значение имеет изменение содержания углекислого газа. В результате сжигания огромных количеств ископаемого органического топлива с середины XIX в. глобальное содержание  $\text{CO}_2$  к концу XX в. увеличилось примерно на 12–15%. Некоторые ученые считают, что увеличение содержания углекислого газа может привести к потеплению климата на Земле – «парниковому эффекту».

В воздух могут проникать и другие газы, твердые частицы, соединения, возникающие при лесных пожарах, извержениях вулканов, а также аэрозоли,

образующиеся в результате химических превращений в атмосфере. Например, соединения серной, азотной кислот являются причиной выпадения на Землю так называемых «кислотных дождей» (рН =3–5), оказывающих губительное действие на все живое. Все примеси в наибольших количествах содержатся в нижних слоях атмосферы.

Важнейшую же роль в регулировании поступления солнечной радиации на Землю играет природный озон. Озон  $O_3$  (трехатомарный кислород) образуется в слоях на высотах 14–25 км и, поглощая солнечную ультрафиолетовую радиацию с длинами волн от 0.15 до 0.29 мкм, защищает живые организмы на Земле от ее вредного и даже губительного действия.

Согласно современным воззрениям, сама жизнь могла появиться на суше только после того, как содержание кислорода достигло 1% от современного, и на некоторой высоте в атмосфере образовался слой озона. В последние годы появилось опасение, что выбросы в атмосферу различных химических веществ антропогенного происхождения, в особенности фреонов и оксидов азота, вместе с выбросами стратосферной авиации могут привести к разрушению слоя озона, а это будет иметь пагубные биологические последствия.

Проблема загрязнения воздушной среды древняя. Она возникла с первых поселений людей и до середины 19 века не наносила ущерба окружающей среде. Природа сама обладала способностью к самоочищению.

Загрязнение и очищение атмосферы – это два взаимопротивоположных процесса. Всякое техногенное загрязнение вызывает у природы защитную реакцию, направленную на нейтрализацию его. Этой способностью природы человек долгое время бездумно злоупотребляет. Например, отходы производства долгое время выбрасывались в воздух в расчете на то, что будут переработаны самой природой. Способность атмосферы к самоочищению имеет определенный предел и если он будет превышен, то самоочищение в атмосфере не приведет к полному рассеиванию и разложению примесей.

В настоящее время – загрязнение атмосферы – самый острый вопрос современной экологической ситуации планеты Земля.

Каковы функции атмосферы относительно Земли?

1. Атмосфера защищает живые организмы от вредного воздействия космических ультрафиолетовых лучей, от метеоритного воздействия и резких колебаний температур.

2. Атмосфера обеспечивает человека, животных и растительность мира земли жизненно необходимыми газовыми элементами, в частности, кислородом. Когда хотят подчеркнуть значение чего-нибудь, то говорят, «необходим как воздух». Да, человек может жить без пищи – несколько недель, без воды – несколько суток, то смерть от удушья наступает через 5 – 8 минут. Без оболочки из воздуха и воды Земля бы была необитаемой.

Ресурс атмосферного кислорода очень велик (объем атмосферы около  $4 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>) и возобновим. Но чувствительность живых организмов даже к небольшим изменениям состава воздуха в результате его загрязнения, заставля-

ет рассматривать загрязнение атмосферы как существенное изъятие важнейшего природного ресурса.

Сколько весит воздух? На плече каждого из нас давит в среднем 1 т воздуха, но мы не ощущаем, поскольку воздух оказывает на нас давление со всех сторон. На уровне моря нормальное давление воздуха приблизительно составляет  $1 \text{ кг/см}^2$ . Вся гигантская масса воздуха у нас над головой весит  $5 \cdot 10^{15}$  тонн. Однако, чем *выше*, тем атмосферное давление становится *меньше*. Так на уровне 3500 м оно падает уже до  $700 \text{ г/см}^2$ , а на вершине Эвереста (8848 м) – до  $315 \text{ г/см}^2$ . Воздух там так разрежен, что альпинисты берут с собой запас кислорода.

Почему небо голубое? Цвет неба обусловлен оптическими свойствами молекул газов, из которых состоит атмосферный воздух. Свет Солнца представляет собой смесь всех цветов радуги. Каждый цвет имеет определенную длину волны. Наибольшей длиной волны обладает излучение в красном и желтом диапазоне, а наименьшей – в сине-фиолетовом. Небо имеет голубой цвет, так как молекулы газа сильнее отклоняют короткие световые волны, рассеивающие во все стороны. А вот взвешенные в атмосфере капельки воды рассеивают любые лучи одинаково, как бы смешивая все цвета. Поэтому облака выглядят белыми или серыми.

Изучением атмосферы занимается науки климатология и метеорология. Полеты спутников Земли на высотах в несколько тысяч километров, наблюдения с помощью ракет и космических станций типа «Венера» и других, которые неоднократно пронизывали атмосферу и выходили в межпланетное пространство, позволили в последние годы существенно уточнить сведения о составе и структуре атмосферы, ее динамике.

## 8.2. Строение атмосферы

Атмосфера весьма четко расслаивается на концентрические сферы, отличающиеся друг от друга по своим характеристикам. По составу воздуха в атмосфере выделяется *гомосфера* – нижний слой воздуха толщиной 100 км, в котором в результате постоянного движения и перемешивания атмосферные газы не расслаиваются по плотности. Выше 100 км начинается расслоение газов по плотности, и оно постепенно увеличивается с высотой: в слое от 100 до 200 км преобладающим газом атмосферы является *азот*, а выше 1000 км атмосфера состоит главным образом из гелия и водорода. Вся внешняя часть атмосферы (выше 100 км) носит название *гетеросферы*.

Толщина атмосферы равна приблизительно 2 тыс. км, хотя ее верхняя граница как таковая отсутствует.

По характеру распределения температуры по высоте (рис.37 атмосфера неоднородна и делится на 4 отчетливо выраженных сферы: *тропосферу*, *стратосферу*, *мезосферу*, *термосферу*.

1. *Тропосферой* называется нижний слой атмосферы, в котором температура убывает с высотой (от  $+14^{\circ}\text{C}$  на уровне моря до  $-55^{\circ}\text{C}$  на верхней границы тропосферы). В среднем величина падения температуры с высотой равна  $0.60^{\circ}\text{C}$  на 100 м. Этот слой атмосферы нагревается снизу от Земли, которая в свою очередь нагревается солнечными лучами. Средняя толщина тропосферы примерно 15 км. Здесь зарождается большинство бурь и ураганов, а циркуляция воздуха постоянно приводит в движение облака. Облака обычно закрывают около половины поверхности Земли. Самый нижний слой тропосферы (50–100 м), непосредственно примыкающий к земной поверхности, носит название *приземного слоя*. В верхней части тропосферы существует слой с постоянной низкой температурой – *тропопауза*. В тропиках толщина этого слоя 14–16 км, на полюсе тоньше – 8–10 км.

2. Выше тропосферы до высоты 50–53 км лежит *стратосфера (второй слой)*, характеризующаяся тем, что температура в ней в основном растет с высотой. Средняя толщина стратосферы около 40 км. Наиболее интенсивный рост температуры наблюдается с 36 до 50 км, где расположена верхняя граница стратосферы, называемая *стратопаузой*. Здесь стратосфера почти такая же теплая, как воздух у поверхности Земли. Рост температуры связан с поглощением солнечной радиации озоном. Водяного пара в стратосфере ничтожно мало. Однако на высотах 22–24 км в высоких широтах иногда наблюдаются очень тонкие, так называемые перламутровые облака, состоящие из переохлажденных капель воды. Здесь царит почти полное затишье, поэтому в стратосфере летают реактивные самолеты, избегая турбулентных потоков нижнего слоя.

3. Над стратосферой лежит третий слой – холодная *мезосфера*. Она простирается до высоты примерно 80–82 км. Ее мощность около 30 км. В мезосфере температура снова понижается с высотой, доходя иногда до  $-80^{\circ}\text{C}$  в ее верхней части. Вследствие быстрого падения температуры с высотой в мезосфере сильно развита турбулентность. Здесь происходит сгорание метеорных частиц. В верхней части мезосферы образуются так называемые серебристые облака, по-видимому, состоящие из кристаллов воды. Верхней границей мезосферы является переходный слой, называемый *мезопаузой*, лежащий на высоте около 82 км. Здесь давление воздуха примерно в 100 раз меньше, чем у земной поверхности.

Таким образом, в тропосфере, стратосфере и мезосфере вместе взятых до высоты 80 км заключено более 99.5% всей массы атмосферы.

Верхняя часть атмосферы, которая простирается над мезосферой, называется *термосферой*. В термосфере температура очень резко возрастает с высотой. В годы активного Солнца она превышает  $1500^{\circ}\text{C}$  на высоте 200–250 км. На больших высотах дальнейший рост температуры с высотой уже не наблюдается. Только в областях ярких полярных сияний температура повышается до  $3000^{\circ}\text{C}$ . Часть термосферы на высоте 1000 км называется *ионосфе-*

*рой*, так как воздух здесь сильно ионизирован: в нем содержится атомарный кислород.

Атмосферный слой выше 1000 км выделяется под названием *экзосферы* (внешней атмосферы) или сферы ускользания газов, так как благодаря большой разреженности воздуха на этих высотах скорость движения отдельных частиц достигает второй космической скорости (около 11 км/с для незаряженных частиц) и они, покидая атмосферу, улетают в мировое пространство, двигаясь по параболическим траекториям. Ускользают обычно атомы водорода и гелия.

Поскольку на движение заряженных частиц здесь оказывает влияние магнитное поле Земли, эта область называется еще и *магнитосферой*.

Солнечная радиация (солнечное излучение), приходящая к Земле от Солнца, является основным источником атмосферных процессов, так как количество тепла, получаемое в среднем за год единицей площади земной поверхности от Солнца, в 30 000 раз больше, чем тепло, идущее из недр Земли, и в 30 млн. раз больше, чем энергия от излучения звезд и планет.

### 8.3. Понятие о климате и погоде

Под *климатом* понимаются наиболее часто повторяющиеся для данной местности особенности погоды, создающие типичный режим (период 30–40 лет) температуры, увлажнения, циркуляции атмосферы.

Климат какой-то местности нельзя рассматривать изолировано. Особенности климата отдельных регионов – это преломление общих закономерностей в конкретной обстановке.

Глобальный климат определяется астрономическими факторами (светимость Солнца, положение и движение Земли в Солнечной системе, наклон оси вращения нашей планеты к плоскости орбиты, скорость вращения Земли вокруг своей оси), от которых зависит поступление на Землю солнечной радиации.

В формировании климата определяющую роль играют три основных цикла атмосферных процессов: *теплооборот*, *лагооборот* и *атмосферная циркуляция*.

*Теплооборот* и *лагооборот* включает в себя сложные процессы преобразования солнечной энергии и обмена ею между атмосферой и поверхностью Земли. К теплообороту относится также горизонтальный перенос тепла воздушными течениями. Если бы планета не вращалась вокруг своей оси, воздух циркулировал бы замкнутыми потоками – конвективными ячейками. Поднимаясь над экватором, горячий воздух двигался бы к полюсам, опускался там, охлаждаясь, и возвращался к низким широтам. Вращение Земли осложняет картину – потоки воздуха отклоняются в широтном направлении.

Распределение температуры воздуха по земному шару зависит от следующих основных факторов:

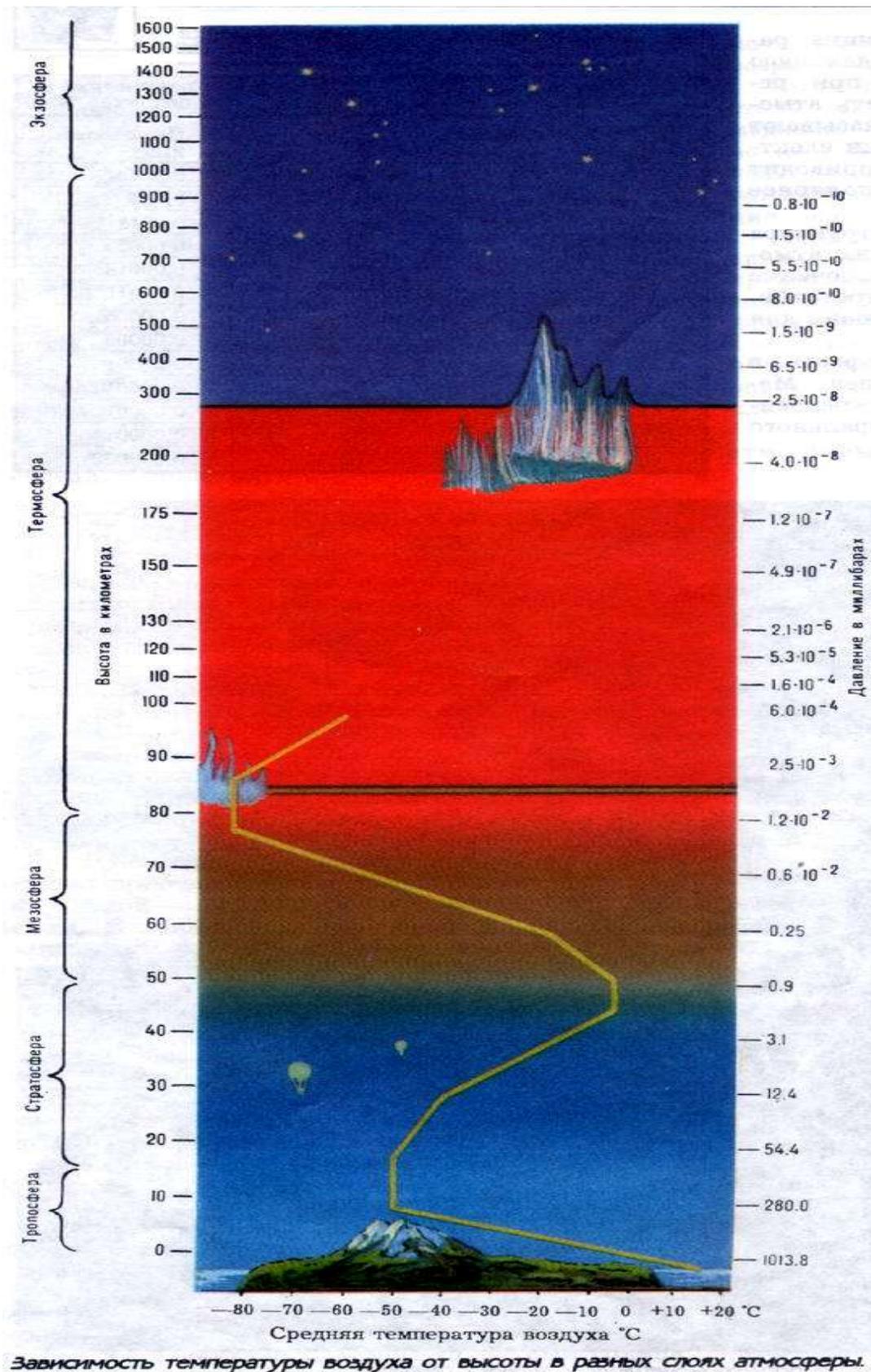


Рис. 7. Зависимость температуры воздуха от высоты в разных слоях атмосферы

- 1) величины притока солнечной радиации по широтам;
- 2) от распределения суши и океана, которые по-разному поглощают солнечную радиацию и по-разному нагреваются;
- 3) строения поверхности суши (рельефа);

Континенты Земли по перечисленным признакам разделены на зоны, различающиеся своим климатом: тундра, тайга, умеренная зона, континентальная зона, средиземноморская зона, пустыня, дождевой тропический пояс, саванна. Например, умеренная зона для побережья средней части Северной Америки. Климат мягкий, зимой осадков много, летом меньше, без морозов и жары. Типичный континентальный климат в Красноярске – очень холодной зимой и жарким летом.

Систему крупномасштабных воздушных течений на Земле называют *общей циркуляцией* атмосферы. Основными элементами общей циркуляции атмосферы являются **циклоны** и **антициклоны**, т.е. вихри размером в несколько тысяч километров, постоянно возникающие в атмосфере.

Вихри с **низким** давлением в центре и вращением воздуха (в Северном полушарии) против часовой стрелки (**циклоны**) поднимают вверх теплый воздух, который поступает со стороны. Это наступление холодного фронта. Отступающему теплу воздуху приходится резко подниматься вверх. Воздух охлаждается, а влага, содержащая в нем, высвобождается и образует облака. На горизонте в летний период скапливаются мощные кучево-дождевые облака. Ветер начинает дуть порывами, обрушивается стена проливного дождя, молнии, гром. После грозы, которая длится не более 2-х часов, становится холоднее. С голубого неба над головой снова воссияет умытое солнышко. Циклон удаляется. В этом случае холодный фронт надвинулся резко. На смену ему идет область повышенного давления воздуха – **антициклон**.

Возможен второй сценарий перехода циклона в антициклон (зимний, осенний периоды), когда холодный фронт надвигается медленно. Облачная полоса вдоль фронта значительно шире, а ненастье продолжительнее (морозящие обложные дожди или снегопад).

Вихри с **высоким** давлением воздуха в центре и вращением (в Северном полушарии) по часовой стрелке (**антициклоны**) делают обратное – опускают теплый воздух, который затем растекается к периферии. В области высокого давления воздух не поднимается, а опускается вниз, а, потому, как правило, достаточно сухой. Отличительные черты погоды при антициклоне – мало облаков и осадков, слабый или умеренный ветер. Зато в антициклоне заметны колебания температуры на материках в течение суток. В Сибири эта разница может достигать 20–25 градусов, а в Сахаре после 40-градусной дневной жары возможны ночные заморозки.

Действительно, нет на Земле стихии более подвижной, разнообразной и капризной, чем воздушный океан. Его сиюминутное настроение мы и назы-

ваем погодой. Состояние атмосферы в данном месте земного шара в данный момент времени называется *погодой*.

Погода характеризуется следующими показателями: *температурой, давлением и влажностью* окружающего воздуха.

Для жителя умеренных широт лучше всего, чтобы *температура воздуха* была от  $+18^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ . Максимальная температура наблюдается почти  $+60^{\circ}\text{C}$  в Северной Африке, а минимальная – почти  $-90^{\circ}\text{C}$  на станции «Восток» в Антарктиде. Средняя величина температуры приземного слоя воздуха равна  $17.7^{\circ}\text{C}$ .

Атмосферное давление на уровне моря – это вес столба воздуха единичного сечения. Если разделить этот вес на ускорение силы тяжести, то получим массу столба равную 1 кг. На уровне моря атмосферное давление равно давлению, которое производит 760 мм рт. столба при температуре ноль градусов Цельсия.

Прямым следствием изменения *давления* атмосферы является ветер. Отчего дует ветер? Движущей силой всех процессов на Земле является энергия Солнца. При нагревании под действием солнечных лучей воздух расширяется и поднимается вверх. Какой силы ветер благоприятен для человека? Например, 1–3 м/сек – легкое дуновение, при скорости более 20 м/сек начинается шторм, более 30 м/сек – ураган.

*Влажность* воздуха обычно характеризуется относительной влажностью (%), под которой понимают отношение абсолютной влажности (фактическое количество паров воды при данной температуре) к максимальной, насыщающей воздух. Человек чувствует себя хорошо при относительной влажности от 40 до 75%.

Другими характеристиками погоды могут быть облачность и осадки.

Климатообразующее значение имеют и циркуляции значительно меньшего масштаба (бризы, климаты города, горно-долинные ветры, и др.), носящие название *местной атмосферной циркуляции*.

*Бризы* – ветры у берегов морей и океанов, которые меняют свое направление в течение суток. Днем морской бриз дует с моря на берег, а ночью – с берега на море. Почему?

В пределах *больших городов* формируются особые климатические условия. Связано это с тем, что территория города всегда прогревается больше на  $4-7^{\circ}\text{C}$  его окрестностей. На окраине города возникает местный атмосферный фронт с более сильными ветрами. К особенностям климата крупных городов относят смог – скопление ядовитого дыма и газа вблизи земной поверхности. Смог висит над городом грязным туманным облаком, причиняя болезни и даже смерть.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Охарактеризуйте химический состав незагрязненной атмосферы, и почему до 100 км

- он не меняется?
2. Перечислите три экологические проблемы, связанные с загрязнением воздуха? В чем сущность каждой из них?
  3. Роль озона в поступлении солнечной радиации на Землю?
  4. Какова функция атмосферы для всего живого Земли?
  5. Почему небо голубое, а облака белые или серые?
  6. Как делится атмосфера по высоте с учетом распределения температуры. Дайте характеристику трех ее частей от поверхности Земли.
  7. Что такое климат? Какие три основных цикла атмосферных процессов играют определяющую роль в формировании климата?
  8. Укажите отличительные черты проявления циклона и антициклон?
  9. Что такое погода. Какими параметрами она характеризуется?
  10. Перечислите и охарактеризуйте климатообразующие формы местной циркуляции?
  11. Почему днем ветер дует с моря на берег, а ночью наоборот?

### Литература

- Эйгенсон М.С. Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 273 с.  
Ракипова Л.Р. Тепловой режим атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 297 с.  
Вернадский В. И. Избр. соч. – М., 1960. Т. 4, Кн.2.– 549 с.  
Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. – Л., Гидрометеоздат, 1974.– 321с.  
Михайлов В. Я., Добровольский А. Д. Общая гидрология. – М., Наука, 1991.– 302 с.  
Хромов С. П., Петросяну М. А. Метеорология и климатология.– М., Наука, 1994. – 274 с.

## ГЛАВА 9.

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВНЕШНЕЙ ГЕОДИНАМИКИ

#### 9.1. Географическая зональность и ландшафты Земли

Географическая зональность (природная, ландшафтная, широтная зональность) – одна из основных географических закономерностей Земли. Она выражается в отчетливой последовательности смены типов природных комплексов (ландшафтов, геосистем, экосистем) и компонентов природной среды (рельеф, почвы, климат, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир (ЭЭС, 1999, с. 524).

Географическая зональность во всей иерархии ее проявления следствие и результат взаимодействия Земли как единой системы с космосом (прежде всего Солнцем) и геосфер между собой (рис. 1).

Положение Земли в Солнечной системе, особенности вращения ее вокруг Солнца и своей оси дифференцирует на поверхности Земного шара макрозоны – термически однородные широтные пояса. В географии их выделено девять (рис. 38). Эти широтные пояса также называются географическими, физико-географическими и климатическими поясами.

*Ландшафт* – природный географический комплекс (биом), где природ-

*ные компоненты (рельеф, климат, вода, почва) находятся в сложном взаимодействии и взаимообусловленности, образуя по условиям развития единую систему.*

С позиции системного анализа ландшафт представляет собой открытую динамическую систему, все компоненты которой связаны между собой энергомассообменом и передачей информации. Ландшафт тесно связан с климатом (балансом тепла и влаги), геологическим субстратом (литогенной основой) и находится под воздействием различных антропогенных факторов.

Устойчивость ландшафтов к антропогенным воздействиям различна, и они делятся по этому признаку на три группы: устойчивые, средней устойчивости и неустойчивые.

Для первых характерно быстрое восстановление экологического равновесия и самозалечивание всех возникших нарушений, у третьих – восстановление экологического равновесия происходит медленно или не происходит совсем.

Каждый ландшафт Земли – это «блюдо» в планетной кухне, «изысканное кушанье», приготовленное самой Природой из горных пород, воздуха, растений в животных, заправленное влагой и солнечным теплом. Всё это намешано в разных пропорциях и различных вариантах. В результате этого мы имеем «на столе» арктические пустыни, влажные тропические леса, степи и саванны, пустыни и муссонные леса (рис. 38). «Вкус блюда» (внешний облик ландшафта, его структура) зависит в основном от соотношения количества воды и тепла. Поступление этих главных «продуктов» связано с широтой местности. Поэтому получающиеся «блюда» – ландшафты – расставлены на земном «столе» главным образом полосами вдоль параллелей. Бывают и исключения, когда вмешиваются горы, морские течения, нарушающие строгий порядок «сервировки».

Больше всего тепла и влаги в районе экватора, где располагаются богатейшие ландшафты влажных экваториальных и тропических лесов. Меньше всего — у полюсов, на северной и южной вершинах планеты. Там влачат существование скудные ландшафты арктических и антарктических пустынь (рис.38).

***Ландшафты влажных экваториальных и тропических лесов.*** Влажные тропические леса распространены в основном около экватора, по обе стороны от него. Они покрывают обширные территории – особенно в Южной Америке, Юго-Восточной Азии и Африке. Самая крупная из таких областей – низменность бассейна Амазонки и её притоков. Этот огромный район, который ещё Александр Гумбольдт назвал гилеей (местностью, покрытой лесом), считается своеобразным образцом, эталоном тропического влажного леса. С запада на восток он простирается на 3600 км, а с севера на юг – на 2800 км.

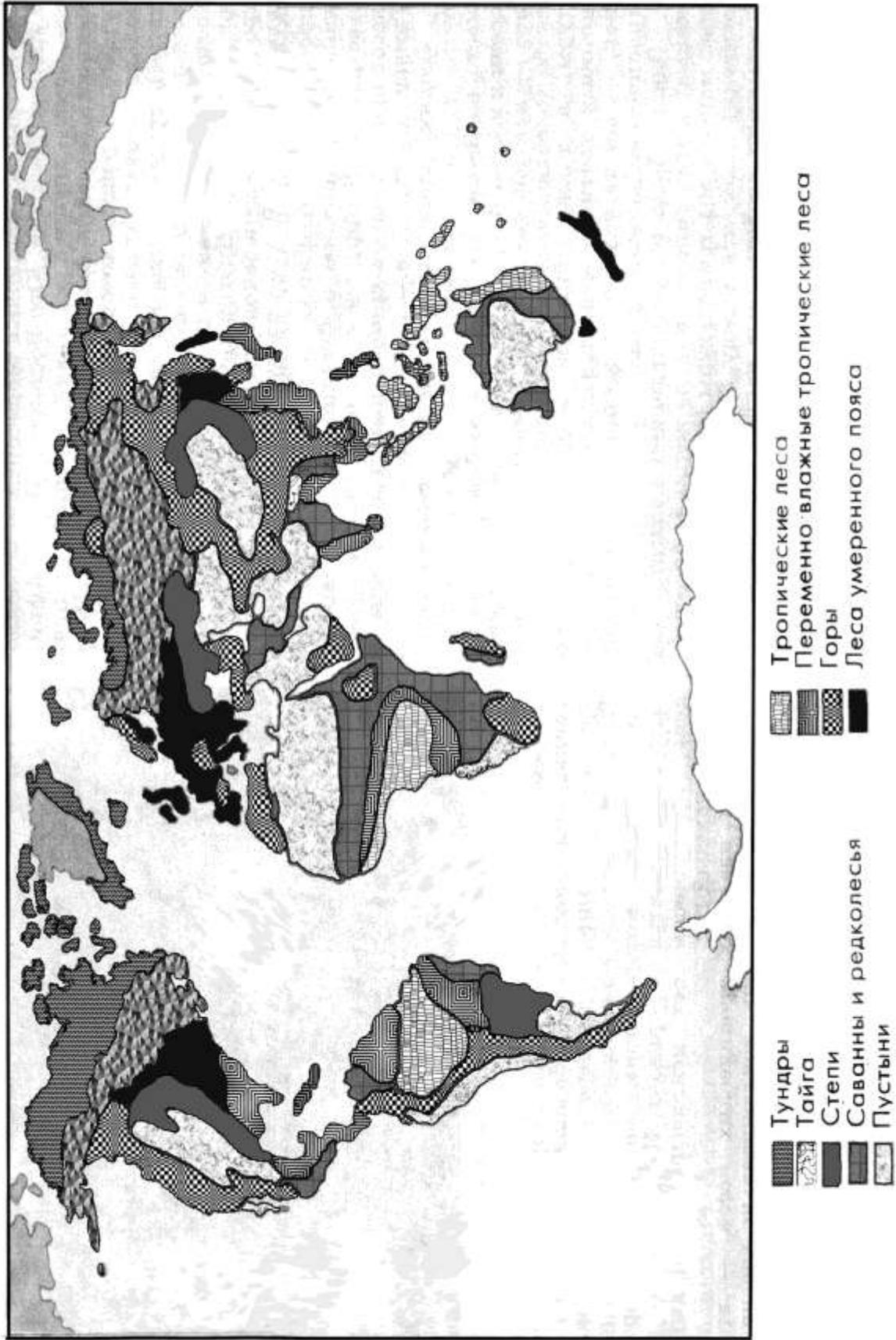


Рис. 38. Основные ландшафты Земли

Другой крупный район влажных тропических лесов находится на восточном побережье Бразилии. В Азии влажный тропический лес простирается от Бирмы и Таиланда через Малайзию, Индонезию и Филиппины до Северной Австралии.

В Африке сплошной массив таких лесов протянулся по прибрежным территориям от Гвинеи до устья Конго.

Людям, привыкшим к сменам сезонов года, очень трудно себе представить, что где-то есть места на Земле, где не существует зимы и лета, осени и весны. А между тем влажный тропический лес – как раз такое место. Необычайно ровные, слабо колеблющиеся на протяжении года температуры, а также обильные осадки, количество которых почти не меняется независимо от сезонов, – вот те условия, в которых произрастают тропические влажные леса. Однако было бы заблуждением полагать, что климат в этих районах крайне жаркий. Абсолютные максимумы температуры (самые высокие их отметки) находятся между  $+33$  и  $+36^{\circ}\text{C}$ , т.е. едва превышают свойственные нашим средним широтам. Но особенно характерно, что здесь в течение всего года среднемесячные температуры остаются практически неизменными:  $+24$  –  $+28^{\circ}\text{C}$ . Вблизи экватора нет и сезонных различий в продолжительности дня, там каждое утро солнце восходит около 6 ч и поднимается в сияющем голубом небе к зениту. В первой половине дня появляются кучевые облака, а затем, обычно после полудня, разражается гроза с сильным ливнем. Вскоре небо вновь проясняется, ярко сияет солнце, и температура повышается. Такая смена погоды может ещё раз повториться до захода солнца, которое примерно в 6 ч вечера быстро скатывается за горизонт. И так изо дня в день, практически без исключений, каждый месяц, каждый год.

Почвы влажных тропических лесов – это «патриархи» среди почв, исключительно древние образования, возникновение которых часто восходит к третичному периоду. Тысячелетиями вода, воздух, корни растений и лапы зверей разрушали материнские горные породы. Отсюда такая высокая степень их разрушенности: мощность перемолотого ими слоя (коры выветривания) местами достигает 20 метров.

Обильные дожди в сочетании с круглогодичным теплом способствуют моментальному вымыванию части химических веществ из почвы, в результате чего почва насыщается окислами железа. Эти окислы окрашивают почву в кирпично-красный цвет, за что она и получила название кремнезёма, или ферраллитной почвы (от лат. «феррум» — «железо»). В этих почвах нет (или почти нет) кальция, азота, фосфора, так необходимых растениям. За сотни веков почти все питательные вещества из почвы перешли в растительность, которая и стала основным хранилищем, аккумулятором питательных веществ в ландшафте. А отмершие части растений настолько быстро распадаются в этом благоприятном климате, что, не успев накопиться, сразу попадают в «лапы» корневым системам деревьев и вновь вступают в биологический круговорот.

Ещё несколько десятилетий назад полагали, что влажный тропический лес – это всегда непроходимые заросли деревьев, кустарников, наземных трав, лиан и эпифитов (растений, живущих на других растениях). Лишь сравнительно недавно стало известно, что в некоторых влажных тропических лесах кроны высоких деревьев образуют настолько плотную крышу, что солнечный свет почти не доходит до почвы, «запутываясь» на самом верху. Под таким зонтиком находится мало желающих поселиться, а через такие леса можно пройти почти беспрепятственно. Бывают и относительно бедные видами, «монотонные» влажные леса, как, например, в Индонезии или в особенно сырых районах бассейна Конго. Лианы – одни из самых удивительных созданий природы в экваториальных районах. Прежде всего 90% их видов встречается только во влажных тропических лесах.

**Ландшафты тропиков с летним влажным периодом.** На некотором удалении от экватора, примерно между 10-й и 25-й параллелями обоих полушарий, находятся ландшафты с тропическим климатом, где тепла ещё очень много, а вот осадки выпадают только в определённые сезоны, которые неотвратимо сменяются сухими и влажными периодами (рис. 38). Здесь идёт постоянная борьба между лесом и сообществами травянистых растений. Кто побеждает в этой борьбе – зависит от местного климата и почв.

Эти ландшафты оригинальны прежде всего тем, что они никогда не протягиваются сплошными широтными полосами. «Виноваты» в этом пассаты и муссоны, горы, морские течения и другие «помехи». В Юго-Восточной Азии, например, летнезелёные леса отлично себя чувствуют недалеко от океана. Здесь в период дождей, продолжающийся с апреля по октябрь, юго-западный ветер – муссон – приносит около 1000 мм осадков. Остальные месяцы года оказываются абсолютно сухими, но накопленной за лето влаги хватает растениям для безбедной жизни. Тепла же им вполне достаточно: даже в зимний засушливый, период среднемесячная температура редко опускается ниже +20° С. Чем дальше удалены территории от морского побережья, тем меньше на них выпадает осадков, а засушливый период растягивается до 8 месяцев. Такая картина повторяется в Юго-Восточной Азии, в Северной Австралии, в Африке (рис. 38). Там, где для деревьев и кустарников не останется из-за недостатка влаги уже никакой возможности выжить, развиваются полупустыни и пустыни.

В Южной Америке мы не найдём такого «правильного» размещения этой зоны — тут вмещиваются высокие горные хребты и пассаты, которые на протяжении всего года дуют из тёплых районов Атлантики. Островки ландшафтов тропических лесов с сухим периодом расположены в бассейне Ориноко и на северо-востоке Бразилии (рис. 38).

Процессы, формирующие почву в тропических районах, где чередуются сухие и влажные периоды, в общем-то очень сходны с экваториальными. Только краснозёмы здесь обладают одной очень неприятной особенностью: при высыхании образуется очень крепкая, будто бетонная, не размягчающая-

ся в дальнейшем корка. Редкая травинка способна накопить в себе достаточно сил, чтобы пробить этот панцирь. Вот почему эти районы с трудом могут восстановить свой прежний облик после вырубki или пожара. Почвы здесь, конечно, не такие мощные, как во влажных тропических лесах, и окраску имеют не просто красную, а буро-красную или красно-коричневую. В зоне тропиков с летним сухим периодом располагается несколько разных ландшафтов.

**Летнезеленые муссонные тропические леса.** Когда эти леса покрыты листвой, они очень похожи на вечнозелёные экваториальные. Только здесь намного светлее и видовой состав деревьев гораздо беднее, хотя лиан и эпифитов по-прежнему много. Если в экваториальном лесу Вы не увидите неба, стоя под кронами, то в летнезелёных муссонных лесах кроны деревьев, напротив, стараются не соприкоснуться друг с другом.

В этих ландшафтах вступает в силу закон борьбы разных растений за влагу. Чтобы пережить трудное для всех время засухи, надо в этот период затаиться, заснуть, не дышать и не расходовать ни капли воды. Остроумный выход нашли деревья – сбросить листья и замереть, пока первый дождь не просигналит: «Хватит спать!» Другие научились поворачивать листья таким образом, чтобы солнце практически никогда не падало на них отвесно. Даже почки у сбросившего листья дерева надёжно защищены от лишней потери влаги.

Внешний вид муссонного тропического леса ко времени наступления засухи совсем не похож на лиственный лес зимой где-нибудь в Европе. Наши деревья сбрасывают листву дружно, будто сговорившись. В муссонных лесах каждое отдельное дерево само решает – пора скинуть листья или ещё можно потянуть. Если повезло – растёт поближе к водоёму – то может не спешить, а если расположилось на пригорке – надо торопиться, там почва высыхает быстрее. Если засуха задержалась – можно использовать несколько лишних дней и не сбрасывать листья заранее, на всякий случай.

**Саванны.** Африканские саванны образно описаны геоботаником Пассаржем: «и голым, мёртвым, коричневым и жёлтым выглядит она во время засушливого периода, земля чернеет от золы обгоревших злаков, стволы деревьев покрыты копотью. Жаркий поток лучей тропического солнца пронизывает ландшафт, где почти нет тени. Но как раз в то время, когда сухость и жара особенно сильны, когда всё раскалено и засыхает, многие деревья покрываются светло-зелёной, блестящей, словно лакированной, листвой, образуются длинные соцветия-серёжки, их мелкие цветки опыляются ветром, а крупные цветки других деревьев распространяют одурманивающий аромат. Когда же приходят грозы и на землю с шумом низвергаются дожди, паразитально быстро начинают расти злаки и другие травянистые растения, прежде голые деревья покрываются листвой, всё цветёт и благоухает, и множество насекомых гудит и порхает в воздухе».

Сухой период времени в саванне длится уже 5–8 мес в году. Особен-

ность деревьев саванн – их уплощенные дисковидные или зонтиковидные кроны. Существует еще один способ пережить засуху – запастись водой. Деревья, научившиеся это делать, отличаются очень своеобразным обликом: толстыми стволами и ветвями, мясистыми листьями. Эти органы – резервуары, где растения сберегают так необходимую им в этих суровых условиях влагу.

С ещё большим уменьшением количества осадков – до 200 мм в год и менее, при продолжительности засушливого периода 8–9 мес – деревья всё чаще «выбывают из игры», уступая место колючим кустарникам, поэтому такие ландшафты называют колючекустарниковой саванной.

**Ландшафты пустынь и полупустынь.** «Чем дальше продвигаешься на юг, тем скуднее становится травянистый покров. Степь постепенно переходит в огромный пояс пустынь, который тянется через всю Центральную Азию с запада на восток (рис. 38). Неоднократно пересекаешь низкие горные гряды, а между ними снова лежат бесконечные пространства ровных песчаных и каменистых пустынь, где целыми днями не увидишь ни антилопы, ни какого-либо другого животного. Безводной и голой выглядит эта местность, покрытая камнями и щебнем, а местами песком или лёссовидными суглинками. Лишь на склонах холмов, по краям солончаков и барханов и вдоль пересохших русел дождевых промоин растут немногочисленные злаки и уродливые кустарники. Низкие колючие кусты упорно борются со смертоносным песком, который скапливается вокруг них и грозит засыпать. Эти небольшие песчаные холмики, из которых торчат колючие ветви, подобны гигантским ежам с растопыренными иглами». Это описание пустыни Гоби принадлежит П.К. Козлову, известному русскому исследователю Центральной Азии. Но Гоби – лишь одна из пустынь.

Ландшафты пустынь охватывают весь земной шар и занимают свыше 1/4 всей поверхности суши Земли. Существование пустынь везде связано с одной причиной – жестокой нехваткой влаги.

В Северном полушарии наиболее знаменита пустыня Сахара, лишь немногим уступающая по площади всей Европе. Известны также аравийские пустыни, иранские и индийские пустыни (Деште Луг и Тхар), а также пустыни и полупустыни юго-запада Северной и Центральной Америки (пустыня Сонора).

В южном полушарии пустынь меньше, но они не менее «пустынные» — Чилийско-Перуанская прибрежная пустыня в Южной Америке, прибрежная пустыня Намиб, пустыня Калахари и полупустыня Карру на юго-западе Африки (рис. 38). Есть пустыни, где бывает холодно, особенно в зимние месяцы. Прежде всею это среднеазиатские, ирано-туранские и Казахстанские пустыни (например, Каракум, Кызылкум и Голодная Степь). Такими же холодными являются центрально-азиатские пустыни Гоби, Такла-Макан, а также холодные высокогорные пустыни Тибета.

Пустыни и полупустыни потому так и называли, что там почти «пусто\* – мало растительности. А причина этому во всех случаях одна – мало осадков

при высокой испаряемости. Недостаток влаги – это то, что объединяет пустынные ландшафты. Но разные пустыни сильно отличаются друг от друга. Прежде всего, одни расположены в тропическом климате, где зимы тёплые, а другие – в субтропическом и умеренном, где зимы холодные. Различаются пустыни и по количеству выпадающих осадков: от крайне засушливых областей, где дождей совсем нет или они — большая редкость, до районов с регулярными летними дождями и зимней засухой или, наоборот, с дождливой зимой и засушливым летом. Встречаются пустыни, поступление влаги в которые происходит почти исключительно с туманами. Образование почв в пустынях идёт очень вяло. Свойства таких неразвитых пустынных и полупустынных почв определяются исключительно свойствами материнской породы, которые и определяют типы пустынь – песчаные, галечниковые, каменистые, глинистые и др. Они сильно засолены. Растения вынуждены накапливать эти соли в своих тканях. Иногда содержание растворимых солей в таких растениях достигает 35% их веса.

Во всех засушливых областях земного шара прослеживается закономерность: в направлении от края к центрам пустынь растительный покров становится более редким. Сокращая до предела поверхность листьев, растения пустынь сильнее развивают корневые системы. Корни здесь занимают во много раз большую площадь, чем надземные органы. Они разрастаются вширь и в состоянии быстро поглощать дождевую влагу с больших площадей. Другие растения, особенно кустарники песчаных пустынь, наоборот, имеют корни, уходящие вглубь на много метров. Это даёт им возможность доставать до грунтовых вод. Они способны переносить даже многолетнюю засуху.

**Ландшафты степей и полустепей.** Русское слово «степь» встречается во многих языках мира. Потому что самая обширная область степей – евросиби́рская – простирается поясом шириной до 1000 км от Восточной Европы (устье Дуная) до Восточной Азии (Амурская область) (рис. 38). И на всём этом пространстве безлесные, поросшие злаками территории с умеренным климатом называются словом «степь».

Степные области центральной части Северной Америки называют «пре́риями». Они раскинулись на Среднем Западе до восточного склона Скалистых гор, на север – до Южной Канады, а на юге – почти до Мексиканского залива. В Южном полушарии относительно мало суши, и здесь в районах с умеренным климатом степей немного. Пространства с естественным растительным покровом из злаков имеются преимущественно в Аргентине, их называют «пампой» (рис. 38).

Для этой зоны *характерно*: 1) большие запасы живого и мертвого органического вещества; преимущество составляет мертвое в виде почвенного гумуса (96 %) – плодородие очень высокое; 2) величина первичной продукции значительна; 3) общий газообмен интенсивный, но вклад в кислородный баланс атмосферы планеты несущественный, т.к. идет расход на окисление

мертвой органики.

Степи – ландшафты с умеренным климатом и холодной зимой – расположены в областях с недостатком влаги. Влага здесь испаряется больше, чем выпадает осадков (причём нередко в два раза). Степи – это тёплое лето со средней температурой июля  $+20 - +25^{\circ}\text{C}$  и холодная зима со средними температурами значительно ниже нуля и снежным покровом. Именно снег определяет – какое лето будет в степи.

Почвы степей знамениты во всём мире. Это – чернозёмы, которые так и называются на всех языках. Для появления чернозёмов, этого чуда природы, необходимы были именно такие подстилающие породы – лёссы, именно такая растительность – злаки и именно такой климат – умеренно тёплый, умеренно влажный. Чернозёмы замечательны своим гумусом – органическим веществом почвы – чёрным, тучным, плодородным. В ландшафтах степей могут развиваться и другие типы почв – каштановые на юге, солончаковые в местах, где грунтовые воды подходят близко к поверхности.

Самое главное в растительном покрове мощный слой опавших листьев и стеблей. Она образуется в течение многих лет и служит для разных целей. Подстилка (или степной войлок, потому что она действительно напоминает слежавшиеся волокна) удерживает влагу и не даёт почве иссушаться летом, поддерживает комфортную температуру на поверхности, хранит банк семян степных растений, даёт убежище мелким степным животным. В общем, без подстилки не было бы настоящей степи.

На границе степи и леса образуются уникальные лесостепные ландшафты. Пониженные места в них заняты лесами (в Европе – дубравами), а возвышенности – степями и лугами. Если климат становится влажнее, леса поднимаются вверх, вытесняя степь, а если суше – прячутся на склонах, днищах оврагов и балок. Только человек положил конец этим многовековым колебаниям. Распахав благодатные почвы степей, он навсегда «загнал» лес в овраги и низины. Ландшафты широколиственных лесов очень сильно изменены человеком, и их естественных, ненарушенных участков сохранилось до наших дней очень мало.

***Ландшафты широколиственных лесов.*** Вы не найдёте во внутренних частях материков. Они располагаются на окраинах материков — на востоке Северной Америки, в районах Восточной Азии с умеренным климатом и в Европе т.е. только там, где достаточно тепло и дожди часто приносят воду от океанов (рис.38).

В Европе широколиственные леса произрастают намного севернее, чем в Северной Америке. «Виновато» в этом тёплое течение Гольфстрим, огибающее европейский континент и утепляющее его северные районы. За Уралом широколиственные леса могут расти только узкой полосой – холодный и сухой климат для этих ландшафтов не подходит.

Тепла здесь ещё достаточно, только зимы бывают морозными и длятся 3–4 месяца. Деревья, кустарники и травы сбрасывают листву и засыпают, пере-

жидая холод в таком состоянии. И это настолько вошло у них в «привычку», что местные растения скидывают листья, даже когда их выращивают в теплицах, где они защищены от холода. Зимой не только растения замирают в лесу, но и почвенные микроорганизмы отдыхают, не выполняя свою обычную работу – разложение растительных остатков. Поэтому весь круговорот совершается гораздо медленнее, чем, скажем, в тропиках. Опавшие листья образуют лесную подстилку. Со временем эта подстилка превращается в гумусовый слой.

Ландшафты широколиственных лесов занимают такую благоприятную климатическую полосу, что многие растения хотят и могут жить там. Прежде всего, это могучие великаны – буки, дубы, клёны, а также кустарники: бузина, лещина, а также дикие виды плодовых деревьев.

На тех местах, где человек многие века старательно уничтожал леса, образовались ландшафты сухих и умеренно сухих лугов. Они издавна используются как пастбища и сенокосы.

**Таежные ландшафты.** На нашей планете есть два зелёных океана — лесные тропические и экваториальные ландшафты и таёжные ландшафты российской Сибири и Канады (рис. 38).

Их распространение определено климатом (приходом тепла и влаги). Обязательным элементом хвойных ландшафтов в Западной Сибири являются болота. Они занимают площадь более 54 тыс. кв. км. Это не удивительно, т.к. здесь осадков выпадает больше, чем успевают испариться за год. Мерзлая глинистая почва не дает воде просачиваться вглубь, а плоский рельеф замедляет ее сток в реки. Кроме этого, неотектонические процессы ведут к опусканию поверхности Западно-Сибирской низменности. Все это как будто нарочно создано для заболачивания тайги.

Для биома тайги *характерно*: 1) большой запас живого и мертвого органического вещества, причем, преобладает живая биомасса (99 %); 2) плодородие почв низкое. Объясняется низкое плодородие почв недостатком тепла в течение большей части года, что тормозит деятельность организмов – редуцентов, разрушающих хвою и листья. Наиболее распространённый в тайге тип почв – подзолистые. Недостаток тепла в течение большей части года тормозит деятельность микроорганизмов, разрушающих опавшую хвою и листья, поэтому в почве образуется грубый гумус. В результате сложных химических и физических процессов под горизонтами гумуса всегда обнаруживается светло-серый, белёсый, похожий на золу горизонт, за свой цвет получивший название «подзолистый». Он и дал название всему типу таежных почв; 3) величина первичной продукции значительна, но бедна видами (4 вида: ель, пихта, сосна, лиственница); 4) вклад в кислородный баланс атмосферы планеты существенен (1 га леса выделяет за 1 год около тысячи метров куб. кислорода, что соответствует годовой потребности в нем человека). В связи с быстрым сокращением площади лесов на земном шаре возникает угроза нарушения баланса содержания кислорода в атмосфере.

Почти обязательным элементом хвойных ландшафтов являются болота. Ведь здесь осадков выпадает больше, чем успевает испариться за год, мёрзлая глинистая почва не даёт воде просачиваться вглубь, глины не пропускают влагу, а плоский рельеф замедляет её, сток в реки. Всё это как будто нарочно создано для заболачивания тайги.

Территория средней и северной тайги осваиваться стала недавно, исключения составляют поймы рек. Принципиальные изменения в структуре таежного биома произошли во второй половине 20 века. Возрос объем заготовок древесины, появилась сеть автомобильных и железных дорог, т.е. тайга стала доступной. Лесной покров подвергается антропогенному воздействию и частым лесным пожарам. Они наносят ущерб лесам, охотничьим и ягодным угодьям (Забайкалье – 1996 г., Сахалин – 1998 г.). А мы знаем, что леса выполняют водоохранную и почвозащитную функции. К чему приводит вырубка леса и осушение болот? После вырубки леса усиливается испарение с поверхности, в результате, уменьшается пополнение поверхностных и подземных вод, т.е. ухудшается гидрологический режим рек. Вследствие этого, усиливаются весенние паводки, пересыхают ручьи в меженный период.

Осушения болот вызывает целый ряд негативных экологических последствий. Естественная болотная растительность после осушения болот деградирует. Затем торфяной слой мощностью 2–3 м через 10–20 лет срабатывается до минерального дна. Примером является Белорусское полесье, где господствуют сейчас черные пыльные бури. Осушение болот ведет к нарушению режима питания рек, т. к. многие ручьи чаще всего вытекают из болот.

**Ландшафты тундр.** Слово «тундра» происходит от финского «тунтури», что означает «плоский безлесный холм». Действительно, отсутствие деревьев – эта самая яркая особенность тундр.

Тундры широко распространены в основном в Северном полушарии – в Евразии и в Северной Америке. Почти непрерывным поясом они тянутся по самым северным территориям материков вокруг Северного полюса, как говорят учёные, циркумполярно («циркум» по-латыни – «вокруг») (рис. 38).

В России тундры занимают по площади второе место после тайги. Лето в тундре холодное ( $+ 10^0$ ), короткое (2 –2.5 месяца) и светлое (полярный день). Осадков очень мало, как в пустыне. Но воды много. Кругом озера, реки, мокрый мох под ногами.

Для зоны тундры характерно: 1) небольшие запасы живого и мертвого вещества; 2) низкая скорость разложения растительных остатков, и, соответственно, процессы образования почв идут вяло, как бы нехотя; 3) небольшое разнообразие видов растений (менее 100); 4) наличие многолетне мерзлых пород.

Еще в начале прошлого века тундра была малообитаемая. Преобладали естественные экосистемы. В последние десятилетия 20 века в экстремальных условиях Севера хозяйственная деятельность получила интенсивное развитие (геологоразведка, добыча нефти, газа, строительство дорог, нефтегазопрово-

дов, поселков). Стада оленей сконцентрировались на небольших площадях, отсюда, деградация растительного покрова.

Важным фактором, влияющим на техногенное освоение тундры и изменения компонентов окружающей среды, является наличие многолетних мерзлых пород (м.м.п.). Нарушение почвенно-растительного покрова усиливает приток тепла в грунт. Это приводит к таянию подземного льда и просадке грунта. Следы от трактора уже на следующий год могут стать канавой глубиной до 6 метров. Расчищенная грунтовая площадка через несколько лет превращается в провальное озеро.

Особую экологическую опасность в районах распространения м.м.п. представляют геолого-разведочные работы. Результатом их является:

1) образование термокарста – явление неравномерного проседания или провала почвы в результате вытаявания подземного льда;

2) образование скваженных кратеров диаметром до 250 метров: они образуются под действием тепла, выделяемой в процессе бурения;

3) низкие температуры и незначительное содержание кислорода в почве способствует длительному сохранению нефтяного загрязнения: самоочищение здесь практически не происходит;

4) ягель на оленьих пастбищах отрастает очень медленно (6–8 см за 50 лет).

Таким образом, биомы тундры очень уязвимы к вмешательству человека.

**Ландшафты полярных пустынь.** Полярные пустыни – это незаходящее летом солнце и затяжная зимняя ночь, озаряемая полярными сияниями; это мир морозов, метелей, дрейфующих льдов.

Большая часть полярных пустынь расположена в Арктике (потому и называют их чаще арктическими). В Антарктике они тоже есть, но там их очень немного. Впрочем, арктические пустыни тоже не образуют сплошной полосы. Они занимают лоскутки каменистой суши, на короткий срок освобождающиеся из-под снега на островах Земли Франца-Иосифа, Северной Земли, Северного острова Новой Земли и на многочисленных мелких островках Ледовитого океана. На материке ландшафты арктических пустынь лишь узкой каймой примыкают к окраине тундр с севера. Хуже просто не бывает – долгая и лютая зима, до 4–4,5 мес. темноты, лето (а его можно так называть только условно) – лишь 10–20 дней со средней температурой выше нуля. Но грунт успевает всё же оттаять на полметра. Камни вымораживаются и выпираются из грунта наверх, а затем раздвигаются от центра к периферии.

С таким «своеобразным» климатом готовы, оказывается, мириться более 100 видов цветковых растений. Среди этих «героев» – снежный лютик, полярный мак, различные камнеломки, а ещё мхи и накипные лишайники. Кустарники же и деревья – представьте себе – в высоту достигают 2–3 см.

Сложный характер циркуляции воздушных масс и водного обмена ведет к усложнению рисунка границ природных зон, которые в отдельных секторах

континентов могут выпадать, выклиниваться и т.д., но, однако, это не нарушает общей закономерности распределения ландшафтов на Земном шаре (рис.38). Гидротермический фактор – ведущий, но не единственный в формировании природных зон. Названия природным зонам даются по типу растительности как индикатора ландшафта. Следует отметить, что адаптивные возможности зональных геосистем различны, и это требует разработки зонально дифференцированных стратегий природопользования и охраны природы.

## 9.2. Современное представление о выветривании и почвах

Геологические процессы, протекающие на поверхности Земли, называются *экзогенными*. Они обусловлены главным образом действием силы тяжести и солнечной энергии. Экзогенные процессы, изменяя внешний облик Земли, медленно, но неотвратимо, разрушают даже самые прочные породы. Этот цикл принято делить на 3 части:

- выветривание (разрушение горных пород);
- денудация (снос продуктов этого разрушения под действием силы тяжести, ветра, текучих вод и т.д.)
- аккумуляция (накопление осадков).

**Выветривание (weathering, degradation)** - процесс разрушения и изменения горных пород и минералов в приповерхностных условиях под воздействием физико-химических факторов атмосферы, гидросферы и биосферы.

**Факторами** выветривания являются:

1. Колебание температур (суточное, сезонное);
2. Химические агенты: O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>;
3. Органические кислоты (гуминовая и др.);
4. Жизнедеятельность организмов.

В зависимости от факторов, вызывающих выветривание различают несколько его видов (табл.9).

Таблица 9

Классификация видов выветривания

Тип	Выветривание		
Класс	Физическое	химическое	органическое
Вид	Температурное Морозное	Окисление Растворение Гидратация Гидролиз	Механическое разрушение Разложение (химическое) Образование органогенных соединений

**Физическое выветривание** пород происходит без изменения их химического состава. Порода просто дробится на обломки с постепенным уменьше-

нием их размера от глыбы, щебня, дресвы, песка и алевролита. Скопление этих продуктов приводит к формированию рыхлых осадочных горных пород.

Примером такого физического разрушения может служить температурное выветривание.

Температурное выветривание происходит в результате резких колебаний температур. Она вызывает неравномерное изменение объема горных пород и слагающих их минералов. Периодическое нагревание и охлаждение пород при суточных и сезонных колебаниях температур приводит к образованию трещин и к распадению их на глыбы, которые в свою очередь подвергаются дальнейшему измельчению. Чем резче колебания температур, тем интенсивнее проявляется физическое выветривание, и наоборот, в условиях «мягкого» климата механическое разрушение пород происходит крайне медленно. Наиболее активно температурное выветривание проявляется в пустынях, полупустынях и высокогорных областях, где горные породы очень сильно нагреваются и расширяются днем, охлаждаются и сжимаются ночью. Интенсивность и результаты выветривания определяются также составом, структурой и цветом породы: полиминеральные породы будут разрушаться быстрее, чем мономинеральные. Этому значительно способствует анизотропия и неодинаковые коэффициенты расширения главнейших породобразующих минералов. Например, коэффициент объемного расширения кварца в два раза больше, чем у ортоклаза.

Глубина температурного выветривания при суточных колебаниях температур составляет не более 50 см, а при сезонных колебаниях – несколько метров. Частными случаями температурного выветривания являются



Рис. 39. Десквамация (шелушение) пород

процессы десквамации (шелушения).

**Десквамация** – это отделение от гладкой поверхности скал чешуек или толстых пластин параллельно поверхности породы при ее нагревании и охлаждении независимо от текстуры, структуры и состава породы (рис.39).

Другим видом физического выветривания является **морозное выветривание**, при котором породы разрушаются под действием замерзающей воды, проникающей в поры и трещины. При замерзании воды объем льда увеличивается на 9 %, что создает значительное давление в горных породах. Таким способом легко дробятся породы с высокой пористостью, например, песчаники, а также сильно трещиноватые породы, в которых трещины распираются ледяными клиньями. Наиболее интенсивно морозное выветривание протекает в зонах, где средне-

годовая температура близка к нулю. Это зона тундры, а также в горных районах на уровне снеговой линии.

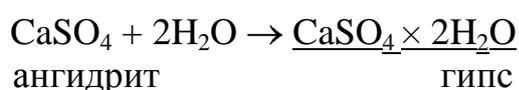
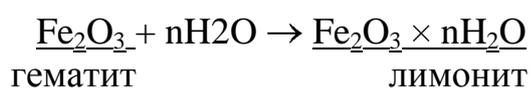
**При химическом выветривании** разрушение горных пород происходит с изменением их химического состава под воздействием кислорода, углекислого газа и воды, а также активных органических веществ содержащихся в атмосфере и гидросфере.

Главными реакциями, обуславливающими химическое выветривание, являются **окисление, гидратация, растворение и гидролиз**.

**Окисление** – это переход элементов с низкой валентностью в высоковалентное за счет присоединения кислорода. Особенно быстро окислению подвергаются сульфиды, некоторые слюды и другие темноцветные минералы. Лимонит – это самая устойчивая форма существования железа в поверхностных условиях. Все ржавые пленки и ржаво-бурая окраска пород обусловлена присутствием гидроокислов железа. Так как железо постоянно входит в химический состав многих породообразующих минералов – значит, при химическом выветривании этих минералов  $Fe^{++}$  перейдет в  $Fe^{+++}$ , т.е. лимонит. Окисляется не только Fe, но и другие металлы.

**Растворение** – способность молекул одного вещества растворяться вследствие диффузии в другом веществе. Оно происходит с различной скоростью для разных пород и минералов. Наибольшей растворимостью обладают хлориды (галит NaCl, сильвин KCl и др.). Менее растворимы сульфаты, карбонаты.

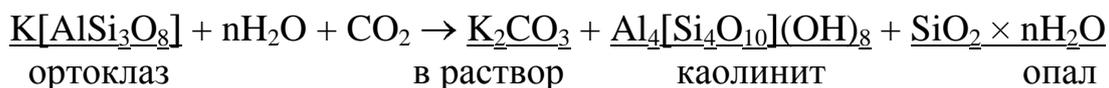
**Гидратация** – это химическое присоединение воды к минералам горных пород с образованием новых минералов (гидросиликатов и гидроокислов) с другими свойствами.



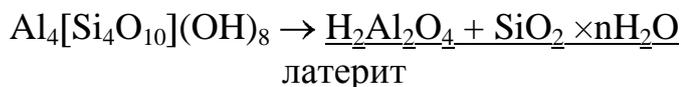
Превращение ангидрита в гипс всегда сопровождается значительным увеличением объема породы, что приводит к механическому разрушению всей гипс-ангидритовой толщи.

**Гидролиз** – наиболее важный процесс химического выветривания, т.к. путем гидролиза разрушаются силикаты и алюмосиликаты, которые слагают половину объема внешней части континентальной коры. Гидролиз – это обменное разложение вещества под влиянием гидролитической диссоциации воды, сопровождающееся разрушением одних и образованием других минералов.

Наиболее характерен пример гидролиза полевых шпатов:



Дальнейший гидролиз каолинита приводит к его разложению и образованию латерита:



Интенсивность процесса гидролиза, которому сопутствуют растворение и гидратация, зависит от климатических условий:

- в умеренном климате гидролиз протекает до стадии образования гидрослюд;
- во влажном теплом климате – до стадии образования каолинита;
- в субтропическом климате – до стадии образования латерита.

Таким образом, при гидролизе разрушаются силикаты, алюмосиликаты; на их месте накапливаются глинистые минералы, а за счет вытеснения катионов образуются свободные окислы и гидроокислы алюминия, железа, кремния, марганца.

При выветривании образуются разнообразные полезные ископаемые: сульфидные руды, каолиновые глины, латериты, строительные материалы и др. Латериты являются ценными рудами на алюминий.

**Органическое выветривание.** Воздействие органического мира на горные породы сводится или к физическому (механическому) разрушению их, или к химическому разложению. Важным результатом органического выветривания (в совокупности с физическим и химическим) является образование почвы, отличительным свойством которой является ее плодородие.

Большая часть поверхности суши покрыта различной по составу и строению **почвой**. Она образует очень тонкую, но энергически и геохимически весьма активную оболочку Земли, которую называют *педосферой*. Изучением происхождения и строения почв занимается наука *почвоведение*. Основателем этой науки является В.В. Докучаев (1846 – 1903).

**Почва** – сложное естественно – историческое (природное) тело, особый продукт выветривания. *Почва* – верхний слой горных пород, образовавшийся под влиянием растений, животных, микроорганизмов и климата из материнских горных пород, на котором она находится. Таким образом, почва создается под влиянием 3 основных факторов почвообразования: почвообразовательных пород, климата, растительного и животного мира.

*Почвообразовательная порода* – это основа, на которой формируется почва. От нее зависит и химический, минералогический состав, плотность, пористость. Живые организмы обуславливают накопление органического вещества в почве (гумуса).

От *климата* зависит температурный и водный режим почв.

Все природные тела Земли делятся на живые (биоценоз) и косные (горные породы). Почва занимает промежуточное положение – обладает свойствами горной породы и несет в себе живое биологическое начало. Согласно классификации В. И. Вернадского, она представляет *биокосное* вещество.

Биохимические процессы в почвах соответствуют конкретной природной среде. Возможное сочетание процессов и условий почвообразования на Земле столь велико, что насчитывает более 130 типов почв, которые разделяются на подтипы, виды, разновидности. Они разделяются по мощности, по составу, свойствам и т.д. Известны следующие главнейшие типы почв: черноземы, подзолистые почвы, тундровые, болотные, таежные (*кислые*), каштановые и т.д. Например, подзолистые почвы малопродуктивны. Перегнойный (гумусовый) горизонт их от 2 до 20 см. Они формируются при большом количестве атмосферных осадков в холодном климате. Под гумусовым горизонтом – кремнезем или каолинит. Каждому типу почв соответствует определенные типы растительных сообществ (легкие песчаные почвы – сосна, береза) (тяжелые суглинистые – ель, сосна).

Закон зональности, установленный В.В. Докучаевым, гласит, что почвенные зоны вытянуты в направлении с запада на восток, а в направлении с севера на юг – закономерно сменяют друг друга.

На территории России выделяют следующие основные типы почв:

- почвы тундры и лесотундры;
- подзолистые и дерново-подзолистые лесные почвы;
- черноземы лесостепи;
- каштановые и бурые почвы степи;
- солонцы и солончаки.

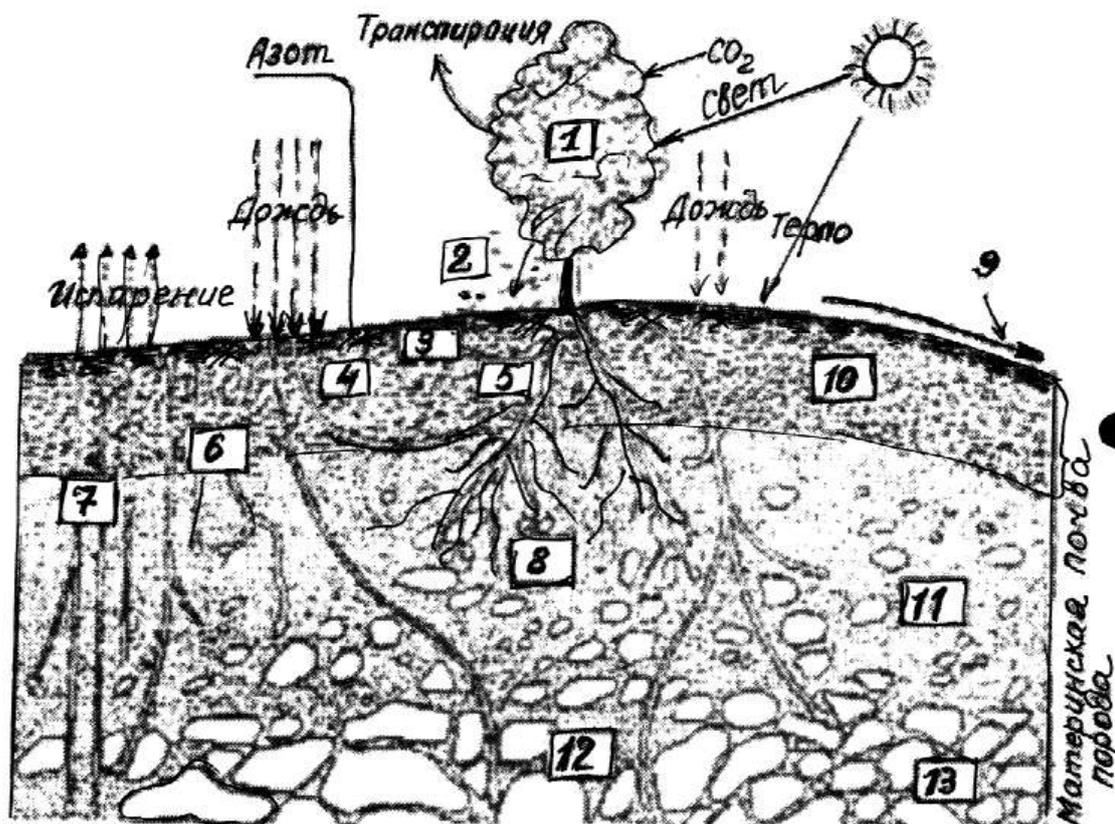
Любые почвы по *составу* содержат все стабильные элементы периодической системы Д.И. Менделеева. Больше всего в почвах кислорода, кремния, алюминия и железа.

Основные *свойства* почвы как экологической среды – это ее физическая структура, механический и химический состав, pH, содержание органических веществ, увлажненность и т.д. Например:  $pH = (\text{отрицательный логарифм концентрации (г/моль) ионов водорода}) = 7$ , то почвы нейтральные (наиболее благоприятные для растений);  $pH = 8-9$  щелочные (известковые и засоленные почвы);  $pH = 4$  кислые (торфяные почвы).

Почва теряет те минеральные элементы, которые растения взяли из нее. В лесах часть питательных веществ вновь возвращаются в почву через листопад. Для культурных растений потери минеральных веществ должны восполняться внесением минеральных удобрений (азота, калия, фосфора). Они должны быть трансформированы микроорганизмами в биологически доступную форму.

Рассмотрим развитие почвенного профиля под влиянием взаимодействия вышеперечисленных факторов (рис. 40).

**Осадки** являются важным источником воды для фотосинтеза и поддержания жизни во всех организмах (бактерии, грибы, земляные черви, травы, деревья и т.д.), участвующих в формировании почвы. В сочетании с рельефом местности осадки определяют скорость и масштабы нормальной (ускоренной) эрозии. Транспирация – испарение воды с поверхности растений. Высокой транспирацией обладают сельскохозяйственные культуры – кукуруза, сахарная свекла, рис и т.д.



**Рис. 40. Развитие почвенного профиля**

- 1 – синтез органического вещества растениями;
- 2 – возврат органического и минеральных веществ в почву;
- 3 – микроорганизмы;
- 4 – фиксация азота;
- 5 – разложение с освобождением минеральных веществ;
- 6 – капиллярное передвижение;
- 7 – движение паров;
- 8 – материнская порода, разрушаемая корнями;
- 9 – поверхностный сток и нормальная эрозия;
- 10 – мелкие обломки материнской породы, разрушаемые в почве;
- 11 – свежий материал материнской породы, поступающий в почву в результате непрерывной эрозии;
- 12 – просачивание воды и вымывание;
- 13 – выветривающаяся материнская порода (Оуэн О.С., 1977).

Поскольку почва очень рыхлое природное образование, она постоянно находится под угрозой нарушения – *эрозии* под влиянием потоков воздуха и воды. Целый ряд неразумной сельскохозяйственной деятельности привел к изменению свойств почвы. Плодородные черноземы Казахстана были превращены в низко плодородные пластичные почвы. Там, где почва лишена естественной защиты в результате распашки, культивации, сведения лесов, возможность эрозии возрастает, вплоть до случаев полного сноса почвенного слоя и явлений *опустынивания*.

Мы знаем, что почва дает человечеству продукты питания, корм для животных, место поселения и отдыха. Это основной невозобновимый и незаменимый природный ресурс в сельском хозяйстве, предмет и средство труда человека, основа благосостояния. Почва является основным национальным богатством любой страны.

Почва выполняет многие функции в развитии биосферных процессов (рис.40). Почва – мощный аккумулятор органического вещества – почвенного гумуса, а гумус, единственный на Земле аккумулятор солнечной энергии. Поэтому одной из главных задач человечества – сохранить почву, повышая ее плодородие.

Коры выветривания играют важную экологическую роль, и с ними связаны месторождения алюминия, никеля, кобальта, меди, железа и т.д. Коры выветривания и почвы являются областью обитания и жизнедеятельности микроорганизмов, растений и мелких позвоночных животных.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Назовите основные виды выветривания и их факторы.
2. Перечислите продукты физического выветривания.
3. Что такое гидролиз? Его суть и конечный результат.
5. Что такое почва? Факторы ее образования.
6. Дайте характеристику состава и свойств почв?
7. Что такое почвенный профиль? Рисунок.

### **Литература**

- Выветривание и литогенез /В.П. Казаринов, В.И. Бгатов, Т.М. Гурова и др.– М., Наука, 1969.– 302 с.
- Короновский Н.В. Геология: учебник для экол. специальностей вузов. – Издательский центр «Академия», 2003. – 448 с.
- Экологический энциклопедический словарь. – М.: Издательский дом «Ноосфера», 1999. – 930 с.
- Петров В.П. Основы учения о древних корах выветривания. – М.: Наука, 1967. – 458 с.
- Добровольский В.В. Кора выветривания и гипергенное рудообразование.–М.: Наука, 1977. – 219 с.

### 9.3. Деятельность поверхностных текучих вод

Поверхностные текучие воды являются одним из главнейших агентов разрушения (*денудации*) поверхности Земли. При этом водные потоки изменяют поверхность Земли, одновременно разрушая существующий рельеф и создавая множество новых форм. Текучие воды разрушают горные породы, перемещают обломочный материал вниз по течению и накапливают (аккумулируют) его на более низких уровнях.

Таким образом, геологическая деятельность поверхностных текучих вод складывается из: 1 – смыва; 2 – размыва (эрозии); 3 – транспортировки продуктов разрушения; 4 – аккумуляции продуктов разрушения. Наукой, которая изучает формы земной поверхности (рельеф) является геоморфология.

**Плоскостной смыв и образование делювия.** Работа временных потоков совершается во время дождей и таяния снега. Струйки воды, густой сетью или сплошной пеленой стекающие вниз по склону, оказывают механическое и химическое воздействие на поверхность Земли. Они увлекают с собой минеральные частицы, переносят их и откладывают в нижних частях склона и у его основания, где энергия потока падает. Такой процесс называется *плоскостным смывом*. Продукты разрушения (выветривания), смываемые, переносимые и откладываемые в процессе плоскостного смыва, называются *делювием*.

Делювий образует покровы на пологих склонах и сплошные шлейфы в их основании. В верхних частях шлейфа накапливаются крупные песчаные зерна, гравий и даже мелкая щебенка, а самые тонкие пылеватые и глинистые частицы выносятся дальше от склона. Такой состав делювия характерен для равнинных областей. В горах делювий намного грубее. В нем много щебня и более крупных обломков, снесенных со склонов. Его наибольшая мощность 2-3 м.

Особенно интенсивно плоскостной смыв идет на склонах со слабо развитым растительным покровом в степных и полупустынных областях. На пашнях в результате плоскостного смыва почвенный покров разрушается, уменьшается в мощности, лишается плодородного гумуса. На залесенных и плотно задернованных склонах плоскостной смыв практически отсутствует. Вот почему вырубка лесов сразу приводит к развитию плоскостного смыва и эрозии почв.

**Русловые потоки, образование оврагов, балок и пролювия.** На склонах в небольших понижениях собираются более мощные струи воды. Их эрозионная и транспортирующая способность больше, чем у плоскостных струй. В результате возникают борозды, которые со временем увеличиваются, превращаясь в рывины и промоины. Так плоскостной сток постепенно переходит в русловой. При дальнейшем углублении и расширении промоин формируются *овраги* — крутосклонные V-образные углубления на поверхности Земли.

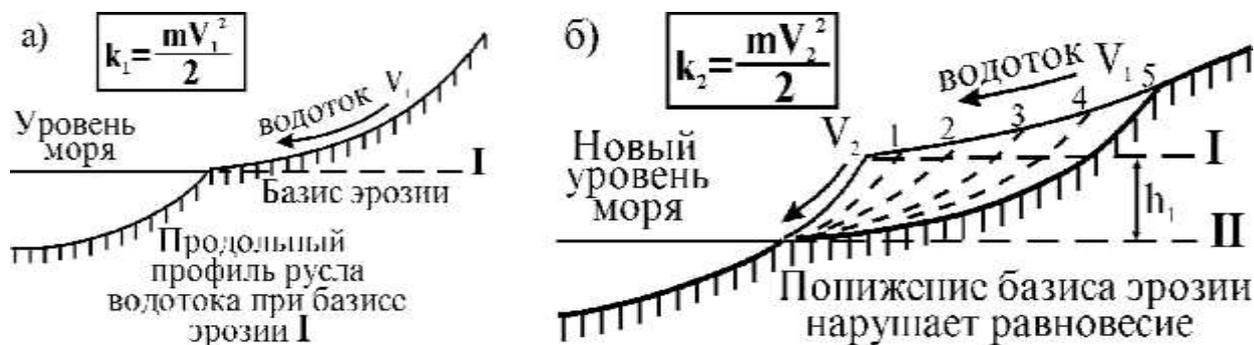
При росте оврага значительную роль играет вершинный уступ, обуславливающий возникновение «водопадного эффекта». Низвергаясь с уступа, поток образует под ним углубление — эрозионный котел, постепенно подтачивающий основание уступа и приводящий к его обрушению и отступанию. Этот процесс называется *регрессивной* (пятящейся) *эрозией*.

В результате овраги растут, разветвляются и въедаются в водоразделы. Скорость роста вершин оврагов составляет в среднем 1—3 м/год, хотя может достигать и 100 м/год.

Потоки, текущие в оврагах, при размывании пород, слагающих дно и склоны, выносят за пределы оврагов твердый материал, называемый *пролювием*, который накапливается в устьевых частях оврагов в виде выпуклых конусов выноса. Овраги углубляются до уровня более низкой поверхности или реки, озера либо моря. Эти уровни являются *базисами эрозии* оврагов. Новое врезание оврага возможно, если базис эрозии понизится (рис 41).

Особенно интенсивно овраги растут на склонах, сложенных рыхлыми, легко размываемыми породами – лессовидными суглинками, супесями. Росту оврагов способствуют вырубка лесов, неправильная распашка полей, умеренный выпас скота.

В степной и лесостепной зонах Европейской части России более 75% всех оврагов связаны с деятельностью человека. В настоящее время суммарная протяженность оврагов здесь превышает 500 млн. км, и ежегодно она увеличивается на несколько тысяч километров.



**Рис. 41. Схема формирования продольного профиля равновесия:**  
а – до изменения базиса эрозии, б – после понижения базиса эрозии

Если положение базиса эрозии не изменяется, то дно оврага постепенно расширяется, склоны становятся более пологими и рост оврага в глубину прекращается. Поступающий со склонов материал удаляется из оврага или остается на его дне. Овраг превращается в плоскодонную и пологосклонную форму – *балку* – более крупную, долгоживущую форму. Овражно-балочный рельеф характерен для лесостепной и степной зон России, Украины и других областей.

**Сели.** Временные водные потоки в горах могут превращаться в мощные грязевые или грязекаменные реки,двигающиеся с огромной скоростью и переносящие гигантские глыбы и валуны. Такие потоки называются *селями*. Сели образуются при быстром таянии снега, сильных ливнях или при прорыве плотинных горных озер. Материалом для селей служат отложения ледников, обвальные и оползневые массы и другие скопления рыхлого материала. Сели обладают громадной разрушительной силой и наносят значительный материальный ущерб, разрушая дома, дороги, плотины, засыпая целые поселки. Многие города, среди которых – Алма-Ата и Ереван, не раз страдали от селей. Для борьбы с селями применяют ряд мер: спускают накапливающуюся в озерах воду, взрывая возникшие запруды, строят защитные плотины, способные выдержать массу селя и не дать ему обрушиться на город.

Геологическая деятельность **постоянных водных потоков – рек** проявляется в следующем.

Реки разнообразны по протяженности. Некоторые почти от края до края пересекают континенты, достигая нескольких тысяч километров в длину (например, Миссисипи, которая вместе с Миссури считается самой длинной рекой в мире – более 7000 км), длина других – несколько сот или десятков километров.

Реки, берущие начало в высоких горах, питаются обычно водой тающих ледников и снежников; реки, зарождающиеся в зоне с умеренным климатом, как равнинные, так и горные, питаются подземными водами, атмосферными осадками и талыми снеговыми водами. В зависимости от питания находятся и режимы рек, высота *меженного* (среднего) уровня воды и *паводкового* подъема в результате ливней или таяния снега. Питание рек зависит от сезонов года и положением реки в географической зоне. Зайков Б.Д. (1984) все многообразие режимов рек подразделил на три основные группы:

- 1) реки с весенним половодьем;
- 2) реки с половодьем в теплую часть года;
- 3) реки с паводочным (дождевым) режимом.

На территории России распространены реки с весенним половодьем, где преобладает снеговой тип питания. Реки западносибирского типа отличаются относительно невысоким и растянутым весенним половодьем, повышенным летне-осенним стоком и низкой зимней меженью. Например, река Васюган, впадающая в Обь. Для рек первых двух групп характерны ежегодно повторяющиеся примерно в одни и те же сроки большие подъемы воды и низкая водность в остальное время года.

Поверхностные воды изучает наука *гидрология*.

Работа рек заключается в размыве (эрозии), переносе и отложении материала – *аллювия*. Весь материал, который переносится реками и затем откладывается называется аллювием (лат. «аллювио» – нанос, намыв).

В результате всех этих процессов формируется речная долина. Ее образование происходит под влиянием климатических условий, от которых зави-

сит количество воды в реке, и тектонических движений, создающих уклоны русла и влияющих на энергию реки. Под действием *глубинной (донной) эрозии* долины углубляются, под действием *боковой* – расширяются. При этом продукты разрушения пород переносятся на различные расстояния тремя способами:

- а) *волочением или перекачиванием по дну* (самые крупные обломки);
- б) *в виде взвеси*;
- в) *в растворенном состоянии*.

*Влекомые по дну* обломки и взвешенные частицы называют твердым стоком реки. Обломочный материал, перемещаемый рекой по дну, усиливает глубинную эрозию, а сам постепенно измельчается, истирается и окатывается – образуются валуны, галька, гравий, песок. Размер и масса обломков перекачиваемых по дну, пропорциональна шестой степени скорости течения. При скорости течения 0.3 м/сек переносится по дну мелкий песок, а при скорости 2.0 м/сек – крупная галька (до 10 см).

Количество переносимого материала *во взвешенном состоянии* определяется скоростью и турбулентностью течения. От количества взвешенного материала зависит мутность воды. Во время половодий, когда скорость и турбулентность потока резко возрастают, река переносит наибольшее количество материала в виде взвеси, главным образом, глинистых частиц и песка, отчего вода становится мутной. Зимой, когда воды становится меньше, скорость течения падает, количество взвешенных частиц резко уменьшается, и вода становится прозрачной.

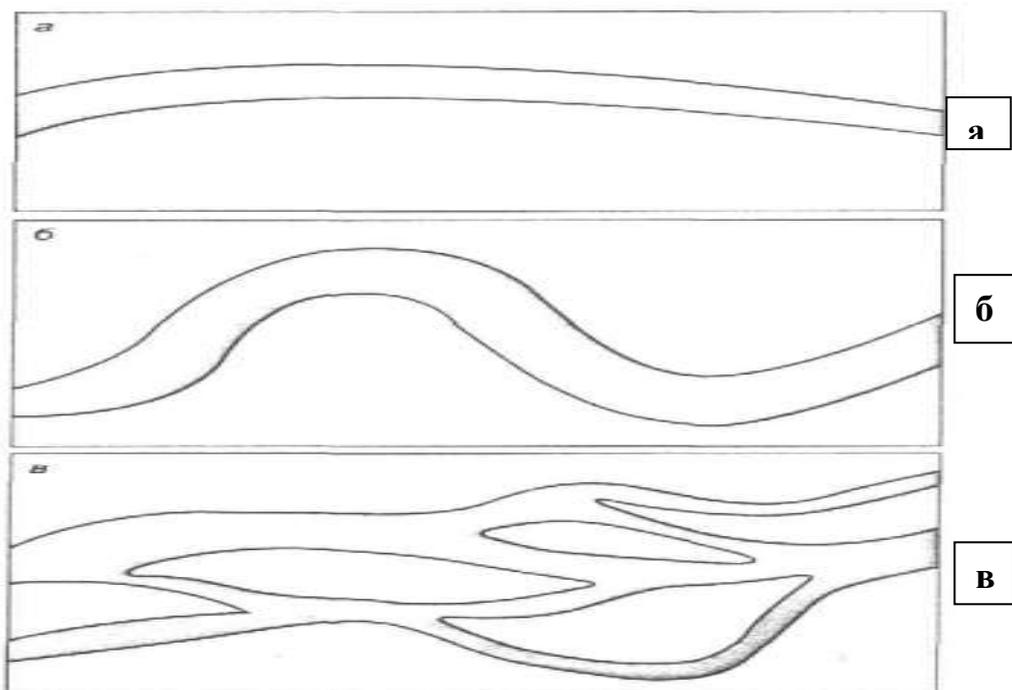
Значительное количество минерального вещества (до 40%) переносится *в растворенном состоянии*. В растворенном состоянии перемещаются карбонаты Ca, Mg, Na ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{NaCO}_3$ ), кремнезем, а также легкорастворимые соли ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ).

Таким образом, аллювий может переноситься тремя способами:

- а) *влекомым* – тащится и перекачивается по дну русла;
- б) *во взвешенном состоянии*;
- в) *в растворенном виде*.

В начале формирования речной долины (молодой возраст реки) преобладает глубинная эрозия. Наиболее глубокая часть долины – *талвег* – заполняется самым грубым аллювием. Русло реки обычно спрямленное (рис. 42, а), а в горных реках – часто с порогами и водопадами. В таких случаях говорят, что продольный профиль реки (профиль водной поверхности) крутой, невыработанный.

Постепенно в нижнем течении реки уклон продольного профиля становится меньше, происходит выполаживание дна долины. Начинает действовать боковая эрозия (средний возраст реки), в результате чего склоны долины подмываются, разрушаются, образующийся аллювий перекрывает плоское дно долины. На этой стадии русло обычно имеет извилистый характер, образуя излучины – *меандры* (рис. 42, б).

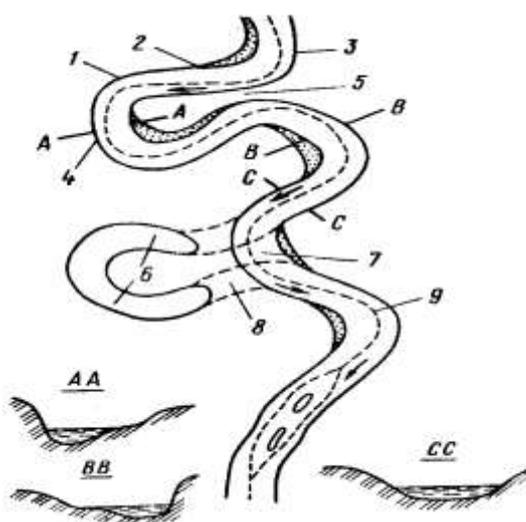


**Рис. 42. Основные типы речных русел: а – спрямленное; б – меандрирующее; в – разветвленное**

При поступлении в долину большого количества обломочного материала, что обычно происходит во время таяния снега, а в горах – ледников, начинается его аккумуляция. При этом русло разветвляется на множество рукавов или проток (рис. 42, в), из-за чего образующийся аллювий имеет различную крупность обломков. Это старый возраст реки.

Таким образом, по форме русла реки можно определить, какой процесс имеет место во всей долине или на отдельных ее участках.

Формирование поймы и террас происходит следующим образом.



**Рис. 43. Схема формирования меандр и стариц**

1- возвышенный берег; 2 – перекат; 3 – отмель (низкий берег); 4 – плесы (обычно находится ниже максимальной кривизны); 5 – сближенные части крыльев излучины, подверженные прорыву; 6 – прежнее русло; 7 – место прорыва между крыльями излучины; 8 – занесенная отложениями часть прежнего русла; 9 – стрежень (форватер); точками показаны отмели

В долине реки, помимо ее русла, в котором образуется русловой *аллювий*, обычно выделяются *пойма* и *террасы*.

*Пойма* – самая низкая часть долины, заливаемая в половодье. Проследить ее формирование можно на примере меандрирующей реки (рис. 43).

Вода в реке вследствие инерции стремится двигаться прямолинейно, поэтому на поворотах струя с максимальной скоростью ударяет в вогнутый берег, разрушает его, в результате чего он становится обрывистым и постепенно отступает. Этот процесс у крупных равнинных рек может происходить с катастрофической скоростью – до 40–50 м/год, приводя к разрушению прибрежных строений. У подмываемого берега возникают наиболее глубокие участки реки – *плесы*. Течения переносят вымываемый материал ниже по реке, откладывая его, образуя *перекаты* – наиболее мелкие участки дна. Часть материала от подмываемого берега переносится к противоположному, выпуклому берегу излучины, где он откладывается, образуя прирусловую *отмель*. Процесс подмыва вогнутых берегов и наращивания выпуклых идет на всем участке меандрирования. В результате меандры увеличиваются в размерах и постепенно смещаются вниз по течению, а долина расширяется.

Состав руслового аллювия обычно гравийно-песчаный у равнинных рек. В периоды паводков русловой аллювий перекрывается тонкими горизонтально-слоистыми супесчано-суглинистыми отложениями – *пойменным аллювием*.

На реках со слабым уклоном вершины соседних меандров могут сблизиться настолько, что узкий перешеек между ними в одно из половодий прорывается и русло реки спрямляется. Отрезанный от основного русла меандр, или излучина, превращается в старицу. В ней накапливаются тонкие илистые осадки, а затем, при постепенном ее зарастании, образуется торф.

Аллювий равнинных рек обычно представлен тремя разновидностями, или *фациями*: русловой, пойменной и старичной.

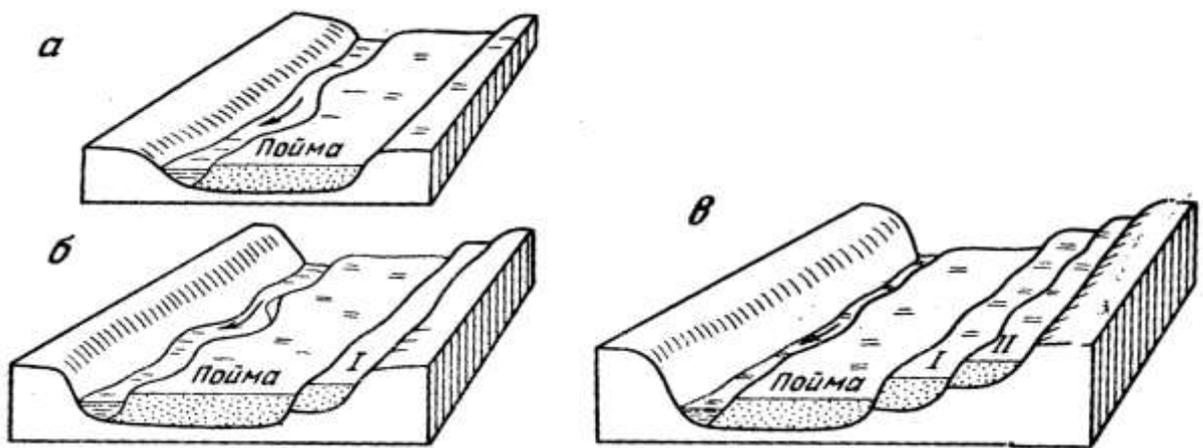
Когда в реке увеличиваются количество воды и скорость течения, что связано с понижением базиса эрозии, река прорезает пойму, врезается в коренные породы и формирует новую долину на более низком гипсометрическом уровне. В результате пойма оказывается прорезанной и уже не заливается водой. Она превратилась в *террасу*.

Терраса – это выровненная площадка в долине реки, созданная деятельностью водного потока, представляющая бывшую пойму (рис. 44).

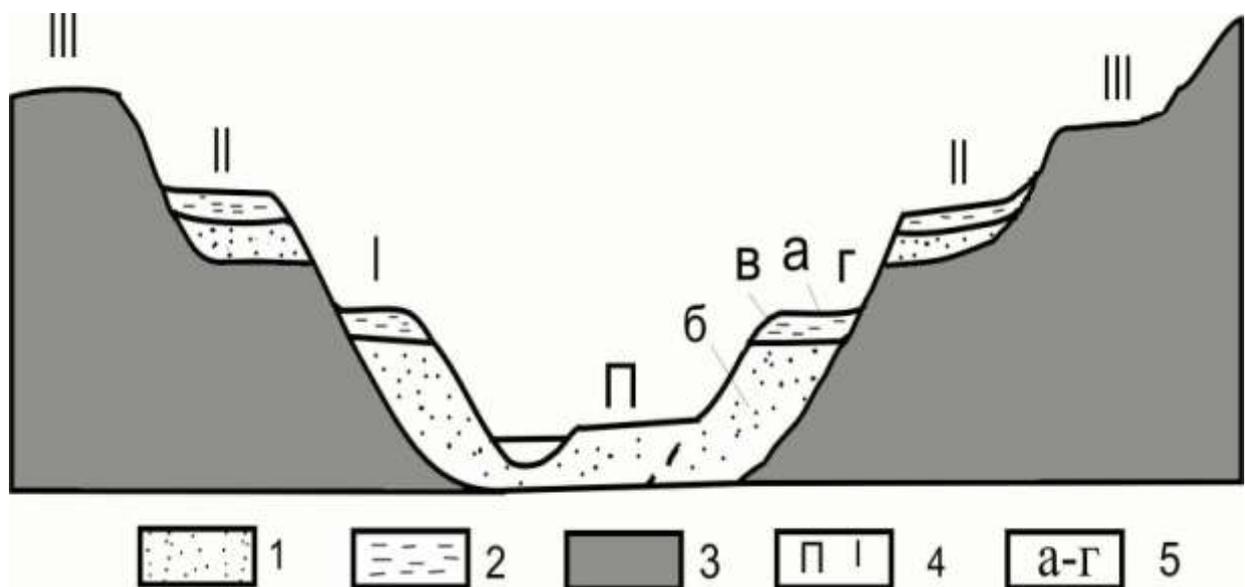
Формирование террас свидетельствует о циклическом развитии речных долин, связанном с проявлениями новейших тектонических движений, также циклическими изменениями климата. Основных – *цикловых* – террас в долинах рек насчитывается от двух до шести.

В зависимости от того, на какую глубину река врезается в пойму при превращении ее в террасу, выделяются:

- *аккумулятивные террасы* (террасы накопления), сложенные аллювием;



**Рис. 44. Образование надпойменных террас при омоложении реки: б – первый цикл эрозии; в – второе омоложение; I, II – надпойменные террасы**



**Рис. 45. Схема строения речной долины, в которой развиты пойма и речные террасы**

1 – русловой аллювий; 2 – пойменный аллювий; 3 – коренные породы;  
 4 – формы рельефа: пойма (П), терраса, ее номер и тип: 1 – аккумулятивная, П – эрозионно-аккумулятивная, Ш – эрозионная;  
 5 – элементы строения террас: а – площадка, б – уступ, в – бровка, г – тыловой шов

- *эрозионно-аккумулятивные террасы* (смешанные), сложенные в верхней части аллювием, а в нижней части уступа выходят коренные породы или цоколь;
- *эрозионные террасы* (террасы размыва), выработанные в коренных породах и лишённые аллювия.

Речные долины редко имеют симметричное строение, при котором пойма и террасы одинаково развиты на обоих берегах. Еще М. В. Ломоносов писал: «У знатных рек одна сторона нагорная, другая луговая, т.е. одна состоит из берегов крутых и высоких, другая из низких и песчаных, а следовательно, оные реки с одной стороны приглубы, с другой отмелы».

Эта асимметрия долин может быть объяснена влиянием планетарных причин, в частности вращением Земли. В результате у рек, текущих в меридиональном направлении, в Северном полушарии подмываются и становятся более крутыми правые берега, а у рек Южного полушария более крутые левые берега. Подтверждением этого правила, названного законом Бэра – Бабине, служат долины многих крупных рек – Волги, Дона, Днепра, Енисея, Томи и др.

Речные долины являются тонким индикатором тектонических движений, приводящих к поднятиям и опусканиям земной поверхности. Изменения уклонов поверхности, вызываемые этими движениями, приводят к изменениям скоростей водных потоков и их энергии, что немедленно отражается на динамике русловых процессов, строении поймы и террас, мощности и составе отложений.

В устьевых частях некоторых рек у впадения их в море или озеро возникают своеобразные конусы выноса – дельты. Дельта в плане имеет форму треугольника, одной вершиной вдающегося в долину. В дельте происходит ветвление русла на ряд протоков и рукавов, веером расходящихся от ее вершины и самостоятельно впадающих в море или озеро. Между протоками располагаются многочисленные острова. На формирование дельты и слагающих ее осадков оказывают большое влияние морские приливы и отливы, а также сгонно-нагонные изменения уровня воды, обусловленные ветром. Так, ветры, дующие навстречу течению реки, приводят к его замедлению, поднятию уровня и выходу реки из берегов. Примером этого служит р. Нева, от периодических наводнений которой страдал Санкт-Петербург до того, как построили защитную дамбу. Общая мощность дельтовых отложений у разных рек различна, наибольшая (до 600 м) – у североамериканской р. Миссисипи, впадающей в Мексиканский залив.

На морских побережьях, испытывающих тектонические опускания, устьевые части рек иногда затоплены морем и превращены в заливы, глубоко вдающиеся в долины рек. На северных побережьях морей, где действуют приливы и отливы, они называются *эстуариями*. На северном побережье Сибири их называют *губами* (Обская губа, Енисейская губа). Там же, где нет приливов и отливов, образуются широкие, менее глубокие заливы – *лиманы*.

Русла многих современных рек имеют свои продолжения на окраинах материков – *шельфах*. В настоящее время в результате таяния ледниковых покровов 15–20 тыс. лет назад эти окраины затоплены морями и океанами. Геофизические методы позволяют определить глубину, ширину русел, мощность заполняющих их осадков и другие детали строения. Длина таких подводных русел может достигать нескольких сот километров, особенно у рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана (например, у Оби и Енисея).

Поверхностные воды в настоящее время стали фактором глобальных экологических проблем. В первую очередь – это обеспеченность чистой питьевой водой населения Земли. Кроме того, поверхностные воды являются важнейшим фактором глобального переноса биогенных элементов – углерода, азота, серы, фосфора и др.

С эрозионной аккумулятивной деятельностью поверхностных вод связаны не только смыв, перенос и накопление рыхлых образований (вместе с обломочным материалом поверхностные воды размывают и уничтожают почвы), но и формирование ценных полезных ископаемых. Они называются аллювиальными россыпными месторождениями. Устойчивые минералы, как самородное золото, платина, касситерит, вольфрам, магнетит, циркон, гранат, алмаз, образуют промышленные скопления полезных ископаемых – россыпи.

Одновременно водные потоки являются причинами катастрофических стихийных явлений, которые наносят ущерб природе и приводят к человеческим жертвам. К их числу относятся наводнения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Охарактеризуйте понятие – линейный сток и базис эрозии.
2. Какие виды эрозии водотоков различаются?
3. В чем выражается деятельность временных водотоков?
4. Дайте характеристику аллювия. Чем пойменный аллювий отличается от руслового?
5. Перечислите основные стадии развития речной долины и дайте их краткую характеристику.
6. Охарактеризуйте экологическую роль поверхностных водотоков?

### **Литература**

1. Эрозионные процессы: (Географическая наука – практике) / Под ред. *Н. И. Маккавеева и Р. С. Чалова*. – М.: Мысль, 1994. – 342 с.
2. *Чалов Р. С.* Географические исследования русловых процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1978.–267 с.
4. *Костенко Р.П.* Геоморфология.– М.: Изд-во МГУ, 1985.– 312 с.
5. *Чистяков А.А.* Аллювий горных рек. – М.: Изд-во МГУ, 1978.– 402 с.

## 9.4. Деятельность подземных вод

Отрасль геологии предметом которой является изучение подземных вод и условий их образования называется *гидрогеологией*.

**Формы существования воды в горных породах.** Интенсивная деятельность подземных вод определяется, прежде всего, их огромной массой. По оценке В. И. Вернадского, масса подземных вод достигает  $5 \cdot 10^{12}$  т, что примерно в три раза меньше общей массы Мирового океана. Практически в пустотах и трещинах земной коры содержится огромный подземный океан, превышающий по массе воды, например, Атлантического океана. Влага земных недр питает родники, источники подземной воды, выходящие на поверхность.

Где же содержится такое огромное количество воды?

Вода, заполняющая различные пустоты (поры) горных пород в зависимости от давления и температуры в условиях земной коры, может находиться в *парообразной, жидкой или твердой* фазах.

К *парообразной фазе* относят водяные пары, которые вместе с воздухом заполняют поры, каверны и трещины горных пород. При понижении температуры или повышении давления водяные пары конденсируются на стенках пустот горных пород и переходят в жидкую фазу.

Скапливаясь в пористых или трещиноватых породах, вода образует целые подземные «залежи», которые называются водоносными горизонтами. В них подземные воды свободно передвигаются.

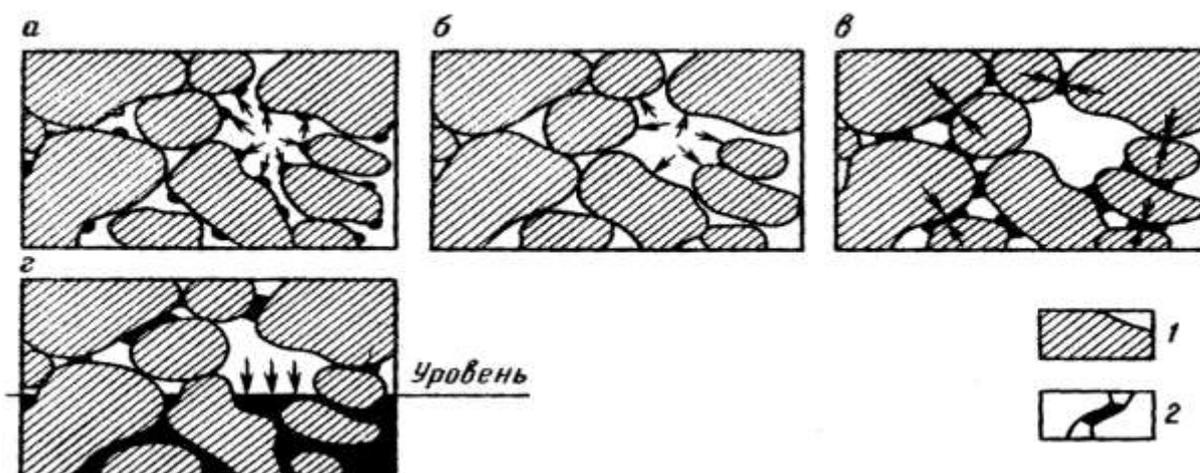
*Водоносные горизонты* – это пласты хорошо проницаемых пород, насыщенные водой. Породы с очень мелкими порами (глины) или практически не имеющие трещин (слабопроницаемые) являются препятствием для передвижения воды. Они называются *водоупорами*.

Подземную воду, находящуюся в горных породах в *жидкой фазе*, подразделяют на *свободную и физически связанную* воду.

Свободная вода может свободно передвигаться: по порам и трещинам горных пород. Ее называют гравитационной. *Гравитационная* вода находится в капельножидком состоянии в проницаемых породах, передает гидростатическое давление и передвигается под действием гравитационных сил (рис.46, г). Сила тяжести обуславливает наличие у гравитационной воды уровня, или зеркала. Подземные воды в сильно раздробленных породах – в зонах тектонических нарушений – называются *трещинно-жильными*.

Физически связанная вода удерживается разными силами вокруг частиц горной породы и неспособная к независимому течению по порам и трещинам внутри ее. Она может быть трех разновидностей:

- гигроскопическая,
- пленочная,
- капиллярная.



**Рис. 46. Формы нахождения воды в пустотах горных пород:**  
*а – гигроскопическая, б – пленочная, в – капиллярная, г – гравитационная,*  
*1 – зерна породы, 2 – вода*

Гигроскопическая вода в виде сплошной одномолекулярной пленки или отдельных мельчайших капелек покрывает стенки пустот (рис. 46, а). Она настолько прочно связана с частицами породы, что не способна передвигаться в пустотах породы под влиянием силы тяжести. Выделить гигроскопическую воду из породы можно только путем нагревания последней до температуры более 100°С, при которой вода переходит в парообразную фазу.

С увеличением количества воды в пустотах породы возникает пленочная вода, образующая на поверхности минеральных частиц сплошную пленку из нескольких слоев молекул (рис. 46, б). Толщина такой пленки может быть различной. Пленочная вода способна передвигаться от частиц с большей толщиной пленки к частицам с меньшей ее толщиной. Движение воды на стенках пустот происходит до тех пор, пока толщина пленок не станет равной, причем пленочная вода движется в различных направлениях, не испытывая влияния силы тяжести.

При еще большем содержании воды в породах образуется капиллярная вода, заполняющая мелкие пустоты и микротрещины, в которых она удерживается силами поверхностного натяжения (рис. 46, в). Проведем такой опыт. Опустим гонкую трубочку в стакан с окрашенной водой. Уровень воды в соломинке будет выше уровня воды в стакане. Это физическое явление называется капиллярным поднятием. Чем уже трубка, тем выше поднимается вода. В природе происходит то же самое. Капиллярная вода может продвигаться по капиллярным каналам в любом направлении, в том числе и снизу вверх, т.е. в направлении, противоположном действию силы тяжести. Продвигается она обычно тем дальше, чем тоньше диаметр пор или трещин, по которым она движется. В песках высота капиллярного поднятия может достигать 120–130 см, а глинистых грунтах – несколько метров. В результате в верхней зоне

литосферы формируется воды капиллярной каймы, поднявшиеся над водоносным горизонтом. Это большое подспорье для растений.

Особенно много связанной воды в глинах и торфах. По своим свойствам связанная вода отличается от свободной – у нее немного больше плотность, выше температура кипения и ниже точка замерзания.

Кроме перечисленных в природе существуют также воды, *химически связанные* с горными породами, участвующие в строении кристаллической решетки минералов.

**Физические свойства горных пород.** Содержание и накопление воды в породе зависит от ее физических свойств, т. е. от способности вмещать и пропускать через себя воду и любую другую жидкость или газ.

Общее содержание свободной и связанной воды в горной породе называется *влажностью*.

Емкостная способность пород, т. е. способность вмещать жидкость или газ, определяется их *пористостью*. Пористостью ( $n$ ) называется отношение суммарного объема пор  $V_n$  к общему объему породы  $V_{\text{общ}}$ , выраженное в процентах:  $n = (V_n / V_{\text{общ}}) \cdot 100 \%$ .

Пористость обломочных пород зависит от их *гранулометрического состава*, под которым понимают размеры и форму слагающих породу частиц.

Пористость осадочных пород, особенно песков и алевритов, тем выше, чем более однородны по размеру и лучше скатаны отдельные песчинки. И наоборот, чем разнообразнее по размеру частицы, слагающие породу, и чем меньше они окатаны, тем меньше пористость породы.

Различные породы обладают пористостью 20–30 % и более. Пористость хорошо отсортированных песков может составлять 15–20 %, а некоторых разновидностей сухой глины даже 50–60 %. Однако опыт показывает, что далеко не все породы, обладающие пористостью, могут пропускать через себя жидкость. И действительно, величина пористости никак не отражает характер соединения пор между собой, а следовательно, и фильтрационную способность породы. Это свойство горных пород характеризуется *проницаемостью*. Проницаемость – способность породы пропускать движущийся флюид или газ в условиях полного заполнения им всех пор и трещин. Если движется вода, то такое свойство называется водопроницаемостью.

Физический смысл заключается в том, что проницаемость характеризует площадь сечения каналов пустотного пространства, по которым происходит фильтрация.

Степень водопроницаемости оценивается *коэффициентом фильтрации* ( $K_f$ ), который измеряется в м/сут или см/с. Это одна из основных расчетных характеристик, которой пользуются при оценке количества и скорости движения подземных вод. Коэффициент фильтрации – это скорость фильтрации при градиенте напора равном единице. Скорость фильтрации воды в грунтах ( $V$ ) характеризуется законом Дарси:

$$V = K_{\phi} \frac{H}{l} = KI;$$

где,  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $I$  – градиент напора при разности напоров  $\Delta H$  и длине фильтрации  $l$ ;

Все горные породы в той или иной степени способны пропускать воду, однако степень проницаемости их различна. По степени проницаемости горные породы подразделяются на три группы:

1) проницаемые породы, через которые вода фильтруется наиболее легко. Это пески, гравий, галечники, трещиноватые разности других пород с коэффициентом фильтрации равным от 25 до 100 м/сут.

2) полупроницаемые породы – супеси, лёсс, торф и др.

3) непроницаемые породы – глины, плотные глинистые сланцы, аргиллиты, сцементированные осадочные породы, не трещиноватые разности магматических и метаморфических пород с коэффициентом фильтрации менее 0,005 м/сут.

**Происхождение и состав подземных вод.** Уже древние греки догадывались, откуда берутся подземные воды. Они объясняли появление воды в источниках и колодцах просачиванием дождевых и талых вод в верхнюю часть литосферы.

Подземные воды по происхождению подразделяются на следующие типы:

- *инфильтрационные,*
- *конденсационные,*
- *седиментационные (или реликтовые),*
- *магматогенные (ювенильные).*

*Инфильтрационные воды* образуются в результате просачивания (инфильтрации) атмосферных осадков или вод рек и озер по порам и трещинам горных пород. Вода в природе постоянно движется, находится в гигантском круговороте. Общий объем воды, выпадающей на поверхность Земли в течение года оценивается в 108,4 тыс. км<sup>3</sup>. У атмосферных осадков на суше «судьба» разная. Все они делятся на четыре неравные части. Из них, более двух третей (71.1 тыс. км<sup>3</sup>) испаряется, т. е. возвращается в атмосферу, а одна треть (37.3 тыс. км<sup>3</sup>) формирует поверхностный сток (стекает в различные водоемы); третья часть этого стока, расходуется на увлажнение почв («выпивается» растениями). А вот четвертая – проникает вниз и попадает в пористые или трещиноватые горные породы, образуя инфильтрационные воды. Чем круче будут склоны, и чем меньше проницаемость пород, тем больше ее стечет в реки. При затяжном обложном дожде на глубину проникает больше влаги, чем при сильном, но не продолжительном ливне. Атмосферные осадки – не единственный источник подземной влаги.

*Конденсационные воды.* Их происхождение объясняют конденсацией атмосферной влаги в порах и трещинах пород в условиях резких суточных колебаний температуры воздуха. Испарение влаги будет зависеть от направления и скорости ветра, влажности воздуха.

*Седиментационные* (реликтовые) воды образуются за счет захоронения вод древних морских бассейнов совместно с накопившимися в них осадками. Большая часть осадочных горных пород образовалась из осадков, которые формировались в водной среде. Воды этих древних морских или озерных водоемов могли сохраниться в осадках или просочиться в окружающие породы.

*Магматогенные (ювенильные) подземные* воды поступают из глубинных недр земной коры, их происхождение связано с остыванием расплавленной магмы. Слово ювенильный происходит от лат. *Juvenilis* – «юный», «девственный». Она образуется непосредственно из водорода и кислорода, выделяющихся из магмы. Большинство исследователей считают, что гидросфера Земли – это «продукт» дыхания магмы, а генезис всех вод Земли – мантийный.

Подземные воды, как правило, содержат растворенные соли. Суммарное их количество в единице объема называют общей минерализацией вод. насыщение подземных вод различными солями происходит в процессе сложного взаимодействия подземных вод и горных пород, по которым они движутся. Подземные воды, растворяя легкорастворимые соединения, переносят их на большие расстояния и при определенных условиях могут осаждают в виде минералов в пустотах горных пород или у выходов подземных вод на поверхность.

Крупнейший советский геохимик В. И. Вернадский подразделил все природные воды по степени их минерализации 4 группы:

- пресные (менее 1 г/л растворенных солей);
- солоноватые (1–10 г/л);
- соленые (10– 50 г/л);
- рассолы (более 50 г/л).

Подземные воды классифицируют на классы по химическому составу на основании преобладающих анионов и катионов:

- гидрокарбонатные ( $\text{HCO}_3^- > 25\%$ -экв),
- сульфатные ( $\text{SO}_4^{2-} > 25\%$ -экв),
- хлоридные ( $\text{Cl}^- > 25\%$ -экв),
- сложного состава (сульфатно–гидрокарбонатные, хлоридно–гидрокарбонатные и т. д.).

Если при классификации вод используют данные о составе солей, то выделяют воды гидрокарбонатно – кальциевые, гидрокарбонатно–магниевого, сульфатно – кальциевые, хлоридно – кальциевые и т. д.

Таким образом, при полной характеристике подземных вод указывают их класс по степени общей минерализации и тип по составу преобладающих анионов и катионов. Например, характеризуя воды глубокозалегающих водоносных горизонтов европейской части России, отмечают, что они представлены рассолами с общей минерализацией 270–350 г/л, хлоридно-

натриевыми и хлоридными натриево-кальциевыми по составу.

В верхних слоях земной коры в общем случае устанавливается четко выраженной вертикальной гидрохимической зональности: сверху вниз располагаются зоны гидрокарбонатных, сульфатных и, наконец, хлоридных вод.

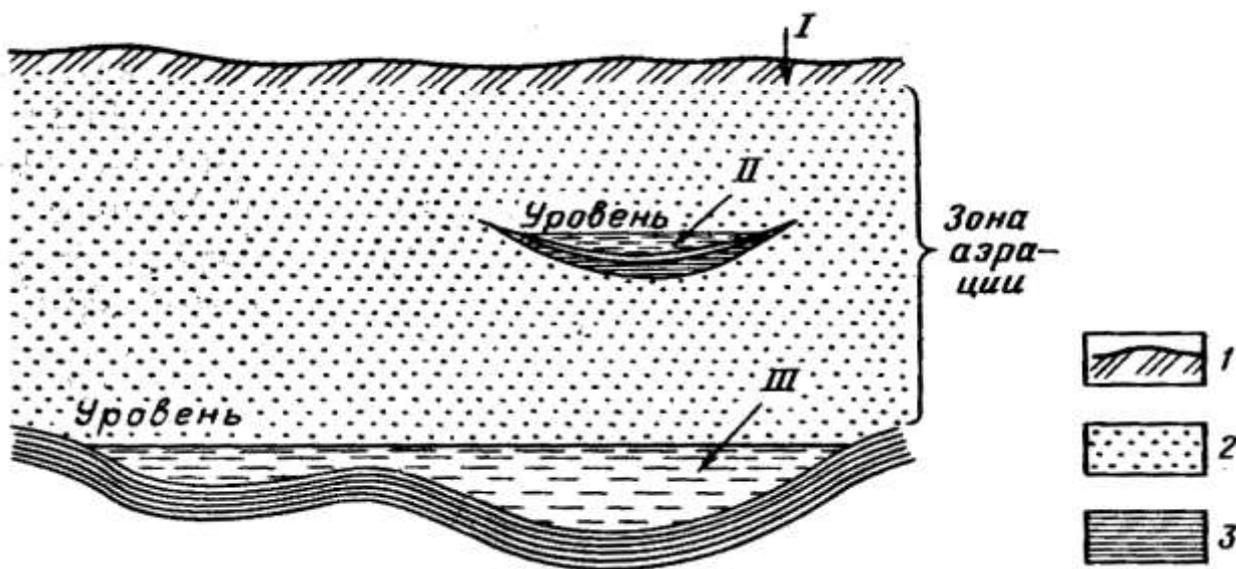
Целебные подземные воды использовались людьми еще в глубокой древности. Основные лечебные вещества подземных вод – углекислый газ, сероводород, железо, мышьяк, бром, йод, кремневая кислота, органические вещества.

В зависимости от степени минерализации подземные воды делятся на:

- лечебно-столовые (минерализация 2-8 г/л);
- лечебные питьевые (менее 10 г/л);
- купальные (10 – 140 г/л).

**По условиям залегания** обычно выделяют следующие типы подземных вод:

- Воды верховодки;
- Грунтовые воды;
- Межпластовые воды.



**Рис. 47. Схема залегания:**

почвенной воды(1), верховодки (II) и грунтовой воды (III). 1- почва, 2 – пески, 3 - глины

*Верховодкой* называется подземная вода, залегающая на небольшой глубине в зоне аэрации – зоне свободного проникновения воздуха. Обычно верховодка не имеет сплошного распространения, а образует сравнительно небольшие линзы, которые подстилаются водоупорными породами (рис.47). Мощность таких линз верховодки обычно не превышает 0.5–1 м, реже достигает 2–3 м. Здесь вода находится уже в гравитационной форме и обладает

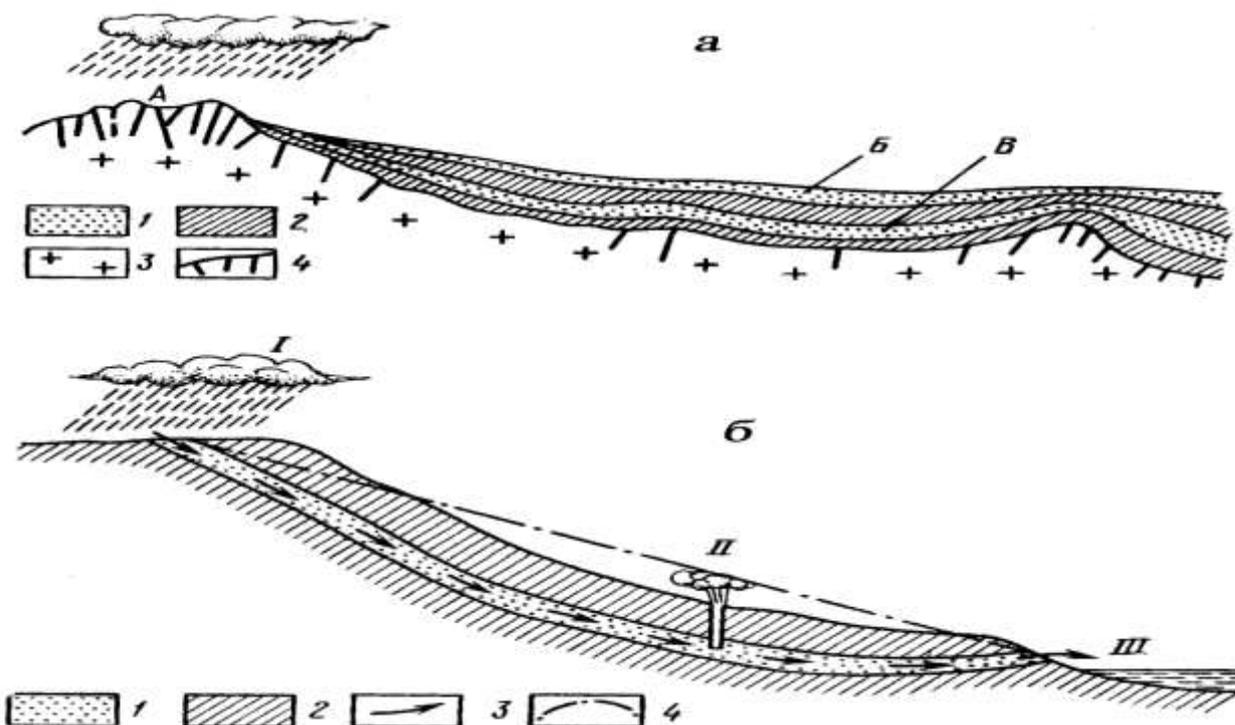
уровнем. Уровень воды верховодки подвержен значительным колебаниям, чем и объясняется ее исчезновение в колодцах в районах с засушливым климатом. Приходит весна (март), когда колодец снова пополняется: вода поднимается до прежнего уровня.

*Грунтовые воды* – это атмосферные воды, просачившиеся сверху вниз до водоупора. Над ним вода скапливается, а затем, перемещаясь в горизонтальном направлении, постепенно заполняют все пустоты горной породы. Так возникают водоносные горизонты (рис. 47). Водоносным горизонтом называется пласт или слой породы, в котором поры, пустоты и трещины заполнены водой. У каждого такого пласта имеются кровля и подошва. Если пласт не полностью заполнен водой, то под водоносным горизонтом понимают лишь его водонасыщенную часть.

Грунтовые воды обладают свободной поверхностью – зеркалом или уровнем грунтовых вод. Этот уровень непостоянен. Обычно он повышается в дождливые и понижается в засушливые периоды.

В целом грунтовые воды характеризуются наличием свободной водной поверхности – уровня, подстилающего водоупора или отсутствием напора.

*Межпластовые (пластовые) воды.* Отличие межпластовых вод состоит в том, что они заключены между двумя водоупорами, т. е. ограничены ими и сверху (со стороны кровли) и снизу (со стороны подошвы) (рис.48 б). Водоносные горизонты, содержащие межпластовые воды, обычно характеризуются обширной областью распространения, часто измеряемой тысячами квад-



**Рис. 48. Гидрогеологические бассейны:** а – трещинных и пластовых вод (А – трещинных и жильно-трещинных вод; Б – почвенных вод; В – пластовых вод.

Породы: 1 – коллекторы, 2 – водоупоры, 3 – магматические, 4 – система трещин в магматических породах); б – межпластовых вод (I – питания; II – напора; III – разгрузки). Породы: 1 – пласт-коллектор, 2 – глинистые пласты, 3 – направление движе-

ратных километров. При этом они залегают на значительной глубине, выходя на поверхность лишь на периферии.

Подземные воды вместе с вмещающими их породами образуют гидродинамические системы, которые делятся на *безнапорные* и *напорные*.

*Безнапорные* гидродинамические системы обычно характерны для бассейнов грунтовых вод, не обладающих естественным напором.

В пределах напорных систем атмосферные воды попадают в проницаемый пласт в районах, где он обнажается на поверхности, в так называемой области питания. Постепенно атмосферная влага проникает вглубь и полностью насыщает весь пласт. Перемещаясь по пласту, вода достигает других участков выхода его на поверхность и самоизливается, образуя источники подземных вод. Это область разгрузки, или дренажа пластовых вод.

В зависимости от рельефа и высотного положения областей питания и разгрузки в центральной, наиболее прогнутой части бассейна могут существовать условия, благоприятные для создания напора, т.е. самопроизвольного излияния воды под давлением.

Таким образом, в центральной части бассейна образуется область напора, в пределах которой вода из скважин способна изливаться в виде фонтана. Высота подъема воды зависит от расположения скважин относительно областей питания и дренажа и от положения напорной поверхности.

Напорная поверхность есть воображаемая поверхность, проходящая через область питания и разгрузки и определяющая высоту подъема воды в данном месте (рис. 48). Величина напора обычно выражается в абсолютных отметках по отношению к уровню моря. Напорные поверхности отражаются картами гидроизопъез.

Другой характеристикой области напора является гидростатический (пьезометрический) напор, под которым понимают высоту столба воды от кровли водоносного горизонта до напорной поверхности. Пьезометрический напор выражается в метрах.

Подземные воды занимают исключительное место в природе и жизни человека. Они обеспечивают водой и минеральными веществами животный и растительный мир.

В настоящее время при определении запасов подземных пресных вод предъявляются повышенные требования к их качеству. При проектировании любого масштаба строительства необходим учет гидрогеологического состояния территории.

С минеральными и подземными термальными водами связано развитие курортного строительства и добыча минеральных вод. Термальные источники и подземные воды с высокой температурой (свыше  $50^{\circ}\text{C}$ ) могут быть использованы для теплофикации населенных пунктов, обогрева промышленных зданий и теплиц, а с температурой (свыше  $100^{\circ}\text{C}$ ) – для энергетических целей, в частности, для эксплуатации геотермических станций.

## Вопросы для самоконтроля

1. В каких фазах находится вода в горных породах?
2. Что такое пористость и проницаемость и коэффициент фильтрации? Как делятся горные породы по этим признакам?
3. Как подразделяются подземные воды по происхождению и условиям залегания?
4. Чем отличаются грунтовые воды от артезианских?

## Литература

Гидрогеология //Под ред. В.М. Шестакова и М.С. Орлова. – М.: Недра,1984. – 467 с.  
Общая гидрогеология //Под ред. Е.В. Пиннекера. – Новосибирск: ПРЕСС ,1980. – 269 с.

## Глава 10.

### ОСНОВЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Одним из важных информационных методов управления природопользованием является экологическое картографирование.

Карта – это графо-математическая модель природной обстановки разного масштаба. Карта является информационной и гносеологической моделью. Карты по содержанию могут быть топографическими, геологическими, инженерно-геологическими, геоморфологическими, четвертичных отложений, почвенными, гидрогеологическими, экологическими и т. д.

#### 10.1. Основные понятия картографии

Объектом топографии является рельеф. Это совокупность разномасштабных положительных и отрицательных неровностей поверхности литосферы.

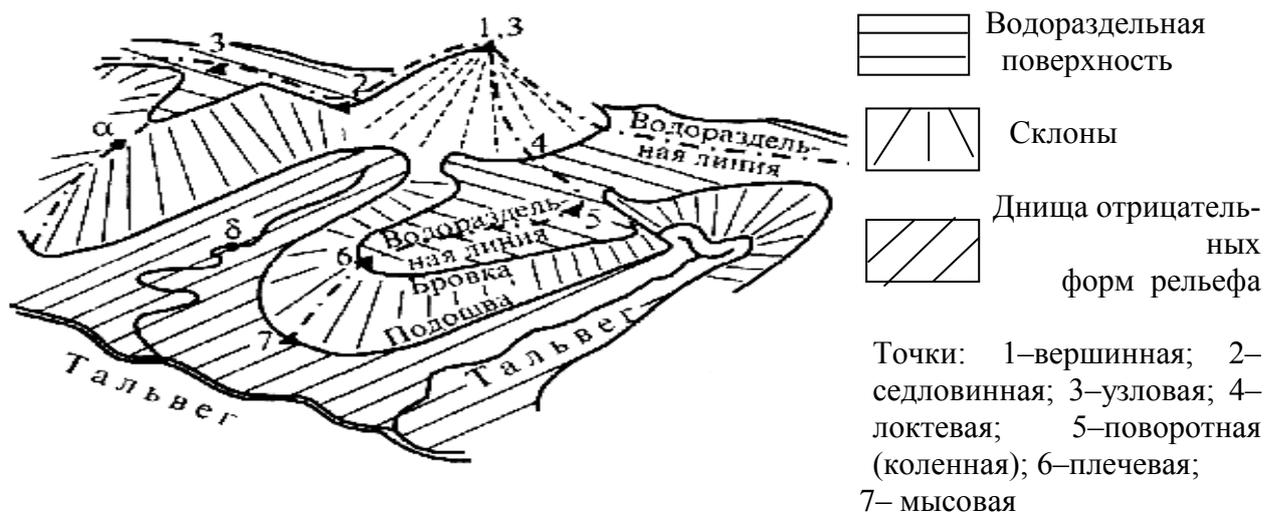


Рис. 49. Панорама условного ("идеального") ландшафта

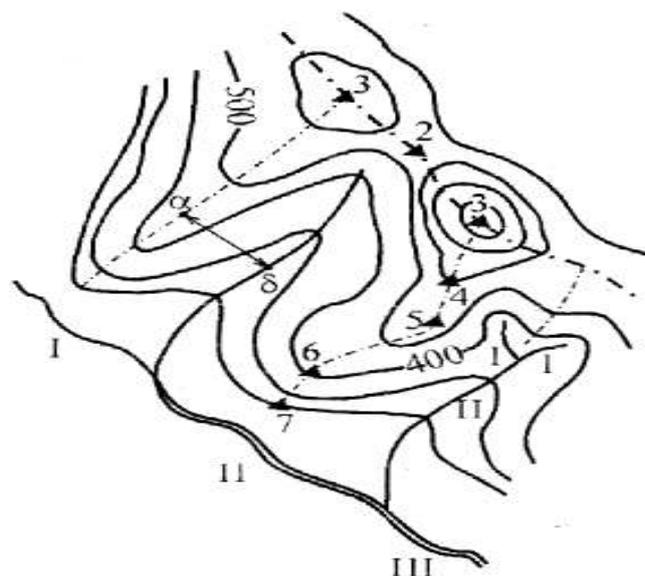


Рис. 50. Топографическая карта "идеального" ландшафта

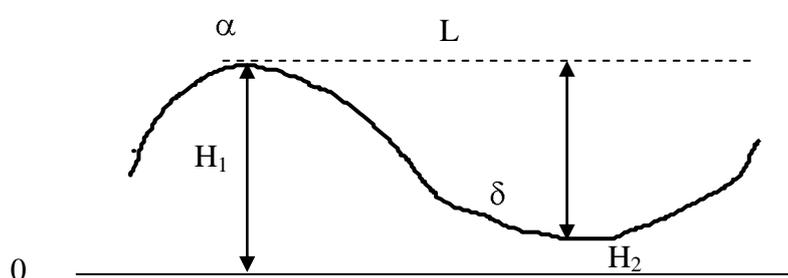


Рис. 51. Схема соотношения основных цифровых (морфометрических) показателей рельефа в вертикальном сечении

$H_1$  – абс. отметка в точке  $\alpha$

$H_2$  – абс. отметка в точке  $\delta$

$h$  – превышение (относительная отметка)

$L$  – кратчайшее расстояние между соседними водораздельной линией и тальвегом (густота эрозионного расчленения)

Наиболее простыми элементами рельефа являются *точки*, *линии* или *ребра* и *поверхности* или *границы* (рис.49).

Точки – вершинная, седловинная фиксируют четкие перегибы любых линий в рельефе.

*Линии* (ребра) фиксируют переломы поверхностей рельефа. Из всех линий в любом рельефе замечательными являются четыре: водораздельные соединяют точки рельефа с максимальными абсолютными отметками, они отчетливы на резко выраженных узких хребтах, гребнях и с трудом проводятся на широких равнинных пространствах, распадаясь там на несколько.

Отметим, что элементарные поверхности рельефа составляют основное содержание топографических карт.

Далее на топографические карты (уменьшенная математическая модель) местности наносится информация тематического характера (геоморфологическая, геологическая, почвенная, геоэкологическая и т.д.).

Пример геоморфологической карты и карты четвертичных отложений приводится на рисунке 52 и 53.

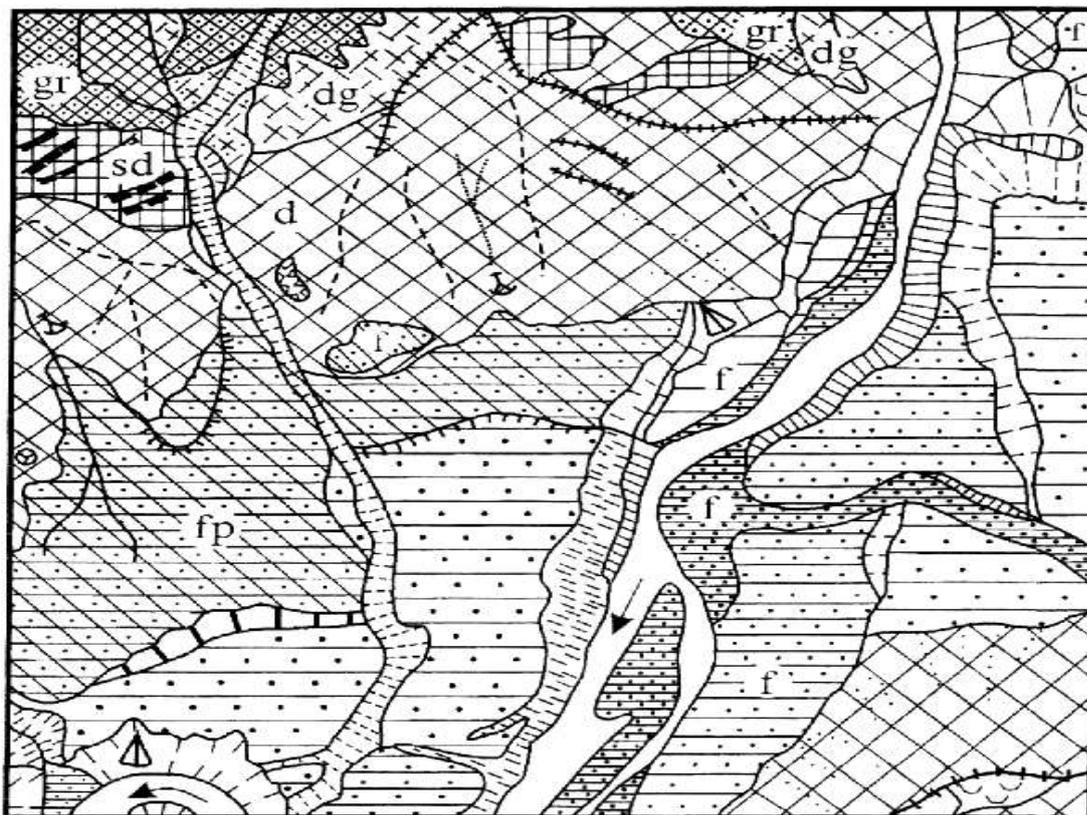


Рис. 52. Геоморфологическая карта масштаба 1: 50 000 (по Г.С. Ганешину с изменениями С.С.Гудымовича)



**Выработанный рельеф.** Склоны: 1 – литоморфные;

**Денудационный рельеф.** Склоны: 2 – открытые гравитационного сноса с отдельными осыпями; 3 – длительного плоскостного смыва (делювиального сноса); 4 – денудационно-эрозионные в рыхлых четвертичных отложениях;

5 – то же в коренных породах; 6 – эрозионные в рыхлых четвертичных породах; 7 – то же в коренных породах; 8 – денудационные, 9 – оползневые.

Скульптурные террасы: 10 – 1-ая надпойменная, 11 – 2-ая надпойменная.

**Аккумулятивный рельеф.** Склоны: 12 – осыпные (коллювиальные) шлейфы, 13 – конечно-моренные гряды. Террасы: 14 – пойма, 15 – 1-ая надпойменная, 16 – 2-ая надпойменная, 17 – 4-ая надпойменная. Полого наклоненные поверхности: 18а – аллювиально-пролювиальный шлейф, 18б – пролювиальные (конусы выноса).

**Отдельные формы и элементы рельефа.** Уступы: 19 – структурно-денудационные, 20 – эрозионные. Формы рельефа: 21 – карстовые воронки, 22 – конуса выноса, 23 – русла временных водотоков, 24 – типы водоразделов: а – гребневидные, б – уплощенные.

**Генетическая индексация.** sd – структурно-денудационный, d – денудационный, gr – гравитационный, f – флювиальный, fp – флювиально-пролювиальный.

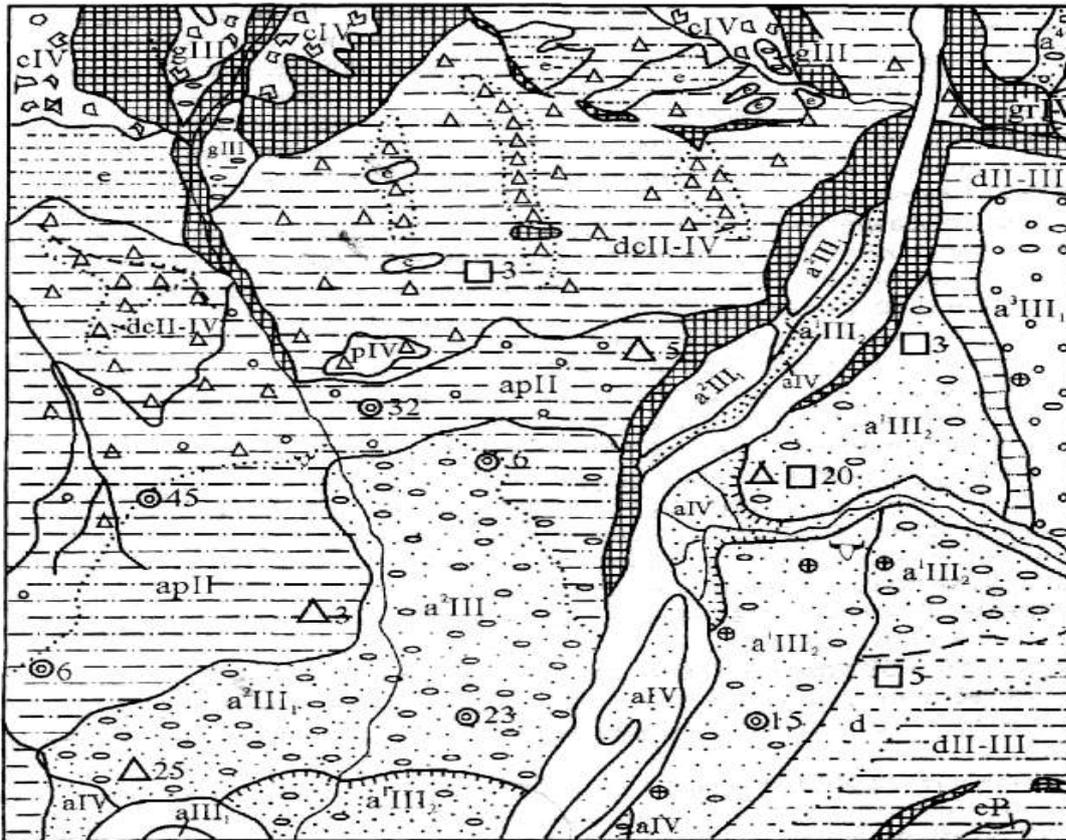


Рис. 53. Карта четвертичных отложений масштаба 1: 50 000 (по Г.С. Ганешину, с изменениями С.С. Гудымовича)

**Условные обозначения**

aIV	1	pIV	2	dcIV	3	cIV	4	a'III <sub>1</sub>	5	a''III <sub>1</sub>	6	gIII	7	a'II	8
apII	9	dclI-IV	10	dII-III	11	a'I	12	d	13	e	14	[grid pattern]	15	[circle with dot]	16
[dots pattern]	17	[triangles pattern]	18	[dots pattern]	19	[dots pattern]	20	[horizontal lines pattern]	21	[horizontal lines pattern]	22	[trapezoid pattern]	23	[circle with dot]	24
[triangle]	25	[circle with dot]	26	[triangle]	27	[square]	28								

**Голоцен:** 1 – аллювиальные пески поймы, 2 – пролювиальные щебенистые отложения, 3 – оползневые супесчаные отложения, 4 – коллювиальные глыбовые осыпи;

**Верхний неоплейстоцен:** 5 – аллювиальные валунные пески первой террасы, 6 – аллювиальные песчано-валунные отложения второй террасы, 7 – ледниковые валунные суглинки позднечетвертичного оледенения;

**Средний неоплейстоцен:** 8 – аллювиальные галечники третьей террасы, 9 – аллювиально-пролювиальные щебенисто-галечные суглинки предгорного шлейфа; **Средний неоп-**

**лейстоцен-голоцен:** 10 – делювиально-коллювиальные щебенистые суглинки горных склонов;

**Средний-верхний неоплейстоцен:** 11 – делювиальные супеси склонов (уступа);

**Нижний неоплейстоцен:** 12 – аллювиальные валунно-галечно-песчаные отложения четвертой террасы;

**Четвертичные отложения:** 13 – делювиальные суглинистые и супесчаные отложения склонов гор, 14 – элювиальные супесчано-суглинистые отложения на палеогеновой коре выветривания, 15 – дочетвертичные образования;

**Литологический состав:** 16 – глыбы, 17 – валунник, 18 – щебень, 19 – галечник, 20 – пески, 21 – супеси, 22 – суглинки;

**Прочие знаки:** 23 – места нахождения ископаемых костей позвоночных, 24 – места нахождения пыльцы и спор, 25 – палеолитические стоянки, 26 – скважины, 27 – опорные обнажения, 28 – горные выработки;

Геоморфологическая карта (рис. 52) и карта четвертичных отложений (рис.53) составлены в одном масштабе для одной и той же территории. Они дают представление об особенностях содержания карт и технологии его изображения на обеих картах.

Полный индекс четвертичного образования на картах четвертичных отложений включает в себя обозначение генетического типа в виде латинской буквы, проставляемой перед возрастной частью индекса: а – аллювий, е – элювий, р – пролювий и т.д.

Террасы обозначаются арабской цифрой, проставляемой справа сверху от буквы, обозначающей генетический тип: а<sub>3</sub> – третья надпойменная аллювиальная терраса. Остальные правила индексации подразделений четвертичной системы – те же, что и для более древних отложений.

**Геологическая карта** – это графическое изображение на топографической карте в определенном масштабе геологического строения какого-либо участка земной коры. Карта должна содержать материал, необходимый для решения вопроса какие полезные ископаемые можно найти в данном районе и где их искать.

## 10.2. Принципы составления геологических карт и разрезов

Главным достоинством карты является насыщенность ее фактическим материалом, наглядность, структурность отображения геологических тел. На карте условными знаками (краской, штриховкой, буквенными индексами и т.д.) показывают распространение осадочных, изверженных и метаморфических пород различного возраста, а специальными значками – состав пород. Линиями разного характера обозначают геологические границы различных пород. Для указания состава, времени формирования и условий залегания горных пород на геологических картах применяются особые условные знаки, которые могут быть цветовыми, буквенными, цифровыми или штриховыми.

Условные знаки разрабатывались на протяжении длительного времени как отечественными, так и зарубежными геологами.

Геологические карты по масштабу делятся на обзорные (1:1 000 000 и мельче), мелко- (1:500 000 и 1:200 000), средне- (1:100 000 и 1:50 000) и крупномасштабные (1:10 000 и крупнее).

Буквенными и цифровыми обозначениями (индексами) обозначается возраст, а для интрузивных и вулканических пород – и их состав.

В составлении индекса осадочных, эффузивных и метаморфических пород существуют определенные правила. Вначале ставится латинизированное название системы в виде заглавной (первой буквы слова): например, каменноугольная система – С. Состав пород в индексе не отражается. Отдел обозначается арабской цифрой, помещенной справа внизу у индекса системы: например, нижний отдел каменноугольной системы – С<sub>1</sub>. Далее следует индекс яруса, составленный из одной или двух начальных строчных букв его латинизированного названия, например: С<sub>1</sub>t – турнейский ярус нижнего отдела каменноугольной системы; части яруса (подъяруса) указываются также арабскими цифрами С<sub>1</sub>t<sub>2</sub>.

Для обозначения генезиса осадочных горных пород применяются строчные латинские буквы: m – морские, g – ледниковые, f – флювиогляциальные, а – аллювиальные и т. д. Размещаются эти буквы перед обозначением системы (например, aQ – аллювиальные четвертичные отложения).

При чтении индекса следует соблюдать определенный порядок от более крупного подразделения последовательно к более мелкому; например, индекс С<sub>1</sub>t<sub>1</sub> будет читаться так: «цэ» — один, «тэ» — один.

Индексация интрузивных и эффузивных пород по вещественному составу проводится с помощью следующих прописных и строчных букв греческого алфавита:

#### ***Интрузивные породы***

Граниты  $\gamma$  (гамма малая)

Диориты  $\delta$  (дельта малая)

Сиениты  $\xi$  (кси малая)

Габбро  $\nu$  (ни малая)

Пироксениты, перидотиты, дуниты  $\sigma$  (сигма малая)

Нефелиновые сиениты  $\epsilon$  (эпсилон)

Диабазы  $\beta^1$  (бета малая прим)

#### ***Эффузивные породы***

Риолиты  $\lambda$ . (лямбда малая)

Кварцевые порфиры  $\lambda^1$  (лямбда малая прим)

Трахиты  $\tau$  (тау малая)

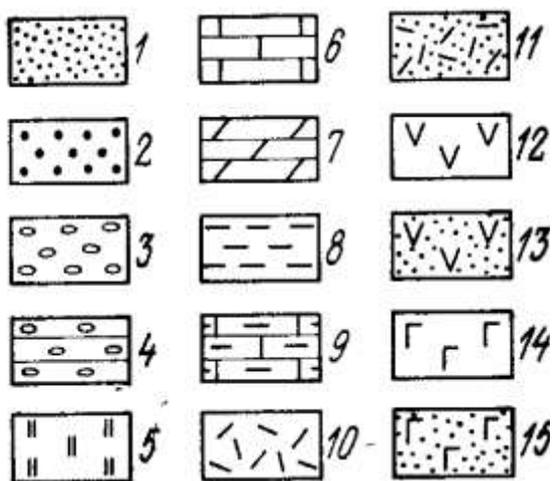
Андезиты  $\alpha$  (альфа малая)

Андезитовые порфириты  $\alpha'$  (альфа малая прим)

Базальты  $\beta$  (бета малая)

Для указания возраста магматических пород рядом с индексом состава ставится возрастная индекс: например,  $\gamma C$  – каменноугольные граниты. Та-

ким же образом индексируются новейшие вулканические породы, не перекрытые более поздними отложениями, например:  $\beta N_2$  – базальты позднео-гонового возраста.



**Рис. 54. Штриховые условные знаки:**

1 — пески, 2 — песчаники, 3 — галечники; 4 — конгломераты 5—кремнистые породы (яшмы, опоки, диатомиты); 6—известняки, 7—доломиты, 8—глины, 9—мергели; 10—П — породы кислого состава: 10—лавы, 11 туфы; 12—13 — породы среднего состава: 12—лавы, 13—туфы; 14—15 — породы основного состава: 14—лавы, 15—туфы

Штриховые обозначения применяются обычно на геологических картах, разрезах и стратиграфических колонках, выполненных каким-либо одним цветом, например черным. Наиболее употребительные штриховые знаки приведены на рис. 54.

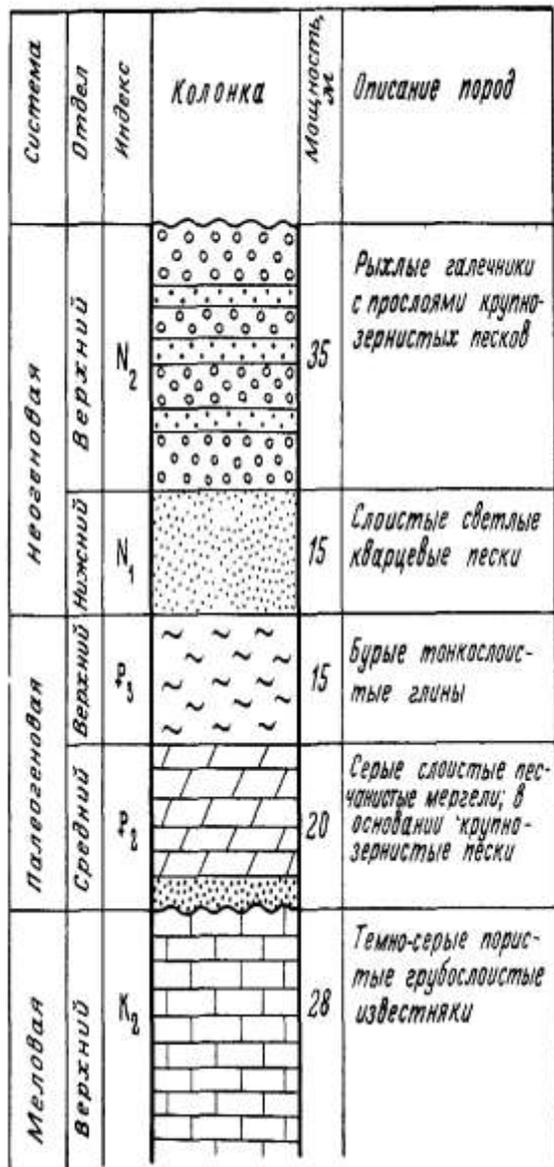
Геологические границы на картах изображаются различными знаками. Установленные геологические границы показываются сплошными тонкими черными линиями, предполагаемые – пунктирными (прерывистыми), границы между различными по составу, но одновозрастными породами (фациальные) – точечными (пунктирными) линиями.

Средне-, крупномасштабные и детальные геологические карты обычно сопровождаются стратиграфическими колонкой и разрезами.

На стратиграфической колонке (рис. 55) в возрастной последовательности снизу вверх от древних к молодым условной штриховкой изображаются дочетвертичные осадочные, вулканические и метаморфические породы, вулканические и метаморфические породы, развитые на территории, представленной на карте (рис. 56).

Интрузивные образования на колонке не показываются.

Породы на колонке расчленяются в соответствии с выделяемыми на карте стратиграфическими подразделениями. Слева от колонки указываются стратиграфическое положение пород (система, отдел, ярус) и индекс; справа – мощность (в метрах) и состав пород.



**Рис. 55.** Стратиграфическая колонка. Взаимоотношения в залегании четвертичных отложений показываются на отдельной схеме у геологической карты.

стратиграфическое положение пород (система, отдел, ярус) и индекс; справа – мощность (в метрах) и состав пород.

В последней графе приводятся все более мелкие стратиграфические подразделения, имеющиеся на карте (серии, свиты и т. д.) и встреченные в слоях окаменелости. Масштабы для построения колонок в зависимости от общей мощности пород могут быть различными. Их высота не должна превышать 40–50 см, ширина граф 1 – 4 см. При колебаниях мощности в колонке отражается максимальное ее значение, а цифрами указываются крайние пределы.

Геологические разрезы представляют собой изображение залегания пород на плоскости вертикального сечения земной коры от ее поверхности на ту или иную глубину. Они могут отстраиваться по геологической карте, данным буровых скважин, геофизическим или каким-либо иным материалам. На геологической карте разрезы составляются по прямым (а при необходимости и по ломаным) линиям в направлениях, которые дают наиболее полное представление о залегании пород, слагающих изображенную на карте территорию. При наличии опорных скважин разрезы следует проводить через них. На концах линий разреза и в местах ее излома ставятся литерные буквы (русские) в алфавитном порядке.

Горизонтальный и вертикальный масштабы разрезов должны соответствовать масштабу карты. Увеличение вертикального масштаба допустимо только для районов с пологим или го-

ризонтальным залеганием пород. Исказить вертикальный масштаб следует до значений, при которых мощность слоя, имеющего минимальное значение

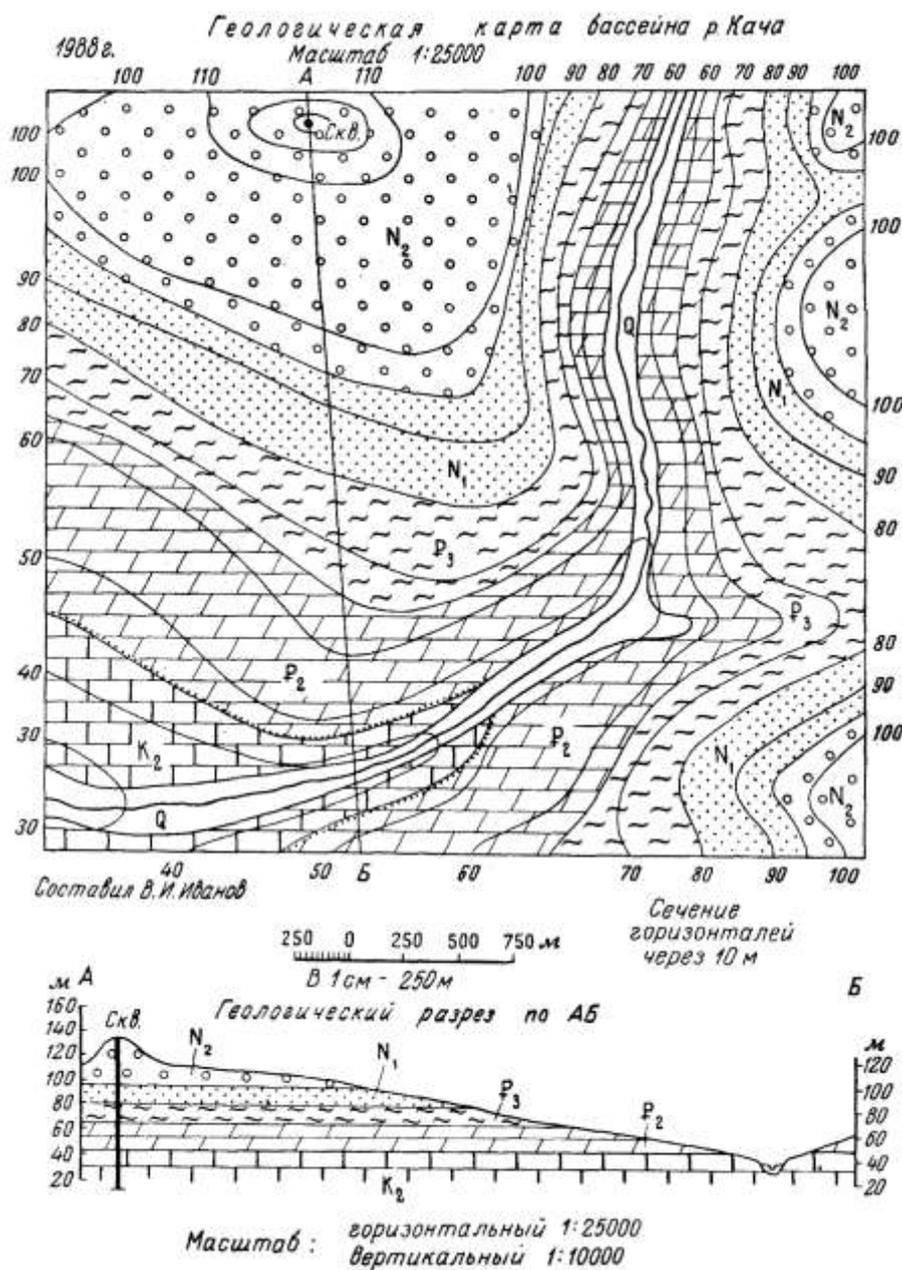


Рис. 56. Геологическая карта и геологический разрез

Разрезы составляются, раскрашиваются и индексируются в полном соответствии с геологической картой. Для каждого листа геологической карты обычно дается один – три разреза. Все геологические границы на разрезах показываются одним знаком – в виде сплошных черных тонких линий. Глубина разреза обуславливается теми данными, которыми располагает составитель. Слева на чертеже разреза располагаются З, СЗ, ЮЗ и Ю, а справа – В, СВ, ЮВ и С.

на разрезе, будет иметь ширину не менее 1 мм. На каждом разрезе должны быть показаны: гипсометрический профиль местности, линия уровня моря, шкала вертикального масштаба с делениями через 1 см (на обоих концах разреза) и буквенные обозначения, соответствующие указанным на карте. Буровые скважины изображаются на разрезах либо черными сплошными линиями, если они попадают на линию разреза или располагаются вблизи нее, либо штриховыми линиями – при проектировании их на плоскость разреза. Забой скважины ограничивается короткой горизонтальной линией в виде подсечки.

Следует обратить внимание на зарамочное оформление средне-, крупномасштабных и детальных геологических карт. Обычно геологическая карта, стратиграфическая колонка и геологические разрезы монтируются на одном листе. Геологическая карта помещается на середине листа так, чтобы ее северная рамка находилась в верхней части листа. В заголовке над северной рамкой карты указывают название карты, район и числовой масштаб. Год составления карты располагают над рамкой слева.

Автор – составитель карты – указывается слева под рамкой карты. В середине под рамкой приводятся числовой и линейный горизонтальный масштабы и сечение горизонталей (рис. 56). Справа от восточной рамки карт помещаются условные обозначения, а слева от западной – стратиграфическая колонка. Геологические разрезы располагаются внизу под южной рамкой карты.

**Инженерно-геологическая карта** – это обобщенное уменьшенное изображение на плоскости природных факторов, отобранных и охарактеризованных в соответствии с требованиями проектирования и строительства инженерных сооружений.

В последние годы составляются **геоэкологические карты**. Основным методом изучения сложной зависимости между изменениями геологической среды и воздействием на нее человека является системный подход, когда изменение природной среды рассматривается как результат природных и техногенных факторов. Отражается информации о загрязнении природной среды.

В основе составления **почвенных карт** лежат принципы, разработанные В.В. Докучаевым и его последователями, совместное изучение почв и факторов почвообразования. При составлении почвенных карт разных масштабов используется метод полевой почвенной съемки, т.е. изучение профилей почв и их связей с факторами почвообразования на местности.

**Карты четвертичных отложений** входят в комплект карт, обязательно составляемых при производстве государственной геологической съемки масштаба 1:50 000–1:200 000. Следовательно, их содержание и правил составления определяется инструкцией по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (1995) (рис. 53).

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение карты?
2. Что отображается на топографических картах?
3. Как делятся карты по масштабам? По содержанию?
4. Методика построения геологических карт?
5. Чем отличается карта четвертичных отложений от геоморфологической?
6. Какое содержание экологических карт?

## Литература

- Аверкина Т. И. и др. Устойчивость геологической среды: теория, проблемы картографирования /Сб. науч. трудов. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 215 с.
- Гудымович С.С. Геоморфология и четвертичная геология: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 202 с.
- Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Основные проблемы экологической геологии //Геозкология. – 1994. –№ 3. – С.28–35.

## Глава 11

### ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗЕМЛИ

Недра России – одна из самых богатых в мире кладовых всех важнейших видов минеральных ресурсов (газ, нефть, уголь, железная руда и т.д.). Это одно из главных экономических достояний России, территория которой составляет 11,4 % суши Земли. Экологические аспекты использования минеральных ресурсов связаны с проблемами загрязнения окружающей среды при разведке, добыче и эксплуатации полезных ископаемых.

Далее рассмотрим основные понятия данной темы.

#### 11. 1. Основные понятия

1. *Что такое окружающая среда?* Окружающая среда – это природная среда и то, что создано человеческой цивилизацией. Она включает совокупность (систем) сред: (Розанов, 1984) *природную (атмосферу, гидросферу, литосферу), искусственно созданную (элементы техносферы) и социально-экономическую (системы образования, здравоохранения и т.д.).*

2. *Природные ресурсы* – это то, что не создано самим человеком, а используется им для поддержания своего существования, для обеспечения развития общества. Они обладают полезными для человека свойствами. Природные ресурсы, с одной стороны, это *тела (вид материи), с другой, - силы природы (вид энергии).* Например: природные ресурсы могут выступать в виде материи – глина, вода, воздух, рыба в воде и т.д. или в виде источников энергии – ветра, воды, солнца и т.д. Какова же особенность природных ресурсов? Они входят в *природную* сферу, как неотъемлемый компонент, и *социальную* сферу как вещественный элемент производства.

Природные ресурсы классифицируются по многим признакам. Наибольший интерес для науки и практики представляет ранжирование природных ресурсов по признаку *исчерпаемости*. Исчерпаемые природные ресурсы могут быть возобновимые (почвы, растительность, животный мир и т.д.) и невозобновимые (большая часть полезных ископаемых). Неисчерпаемые природные ресурсы могут быть космическими (солнечная радиация, атмосферный воздух) и энергетическими (энергия приливов, солнца, ветра). Из

группы неисчерпаемых природных ресурсов нас интересуют не только их количество, но их качество: не вода вообще, а вода, пригодная для питья, воздух пригодный для дыхания и т.д.

Человечество не может существовать, не используя эти природные ресурсы.

3. *Природопользование* – теория и практика рационального использования человеком природных ресурсов. *Природопользование* – процесс эксплуатации природных ресурсов (извлечение полезных свойств природы) для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. Природопользование предполагает вовлечение природных ресурсов в хозяйственную деятельность человека. Оно может быть *рациональным и нерациональным*.

*Рациональное* (оптимальное, разумное) природопользование подразумевает:

1) профессионально грамотное изучение природных ресурсов; 2) бережную их эксплуатацию (эффективность освоения и охрана); 3) воспроизводство природных ресурсов с учетом будущих интересов развития народного хозяйства.

Природопользование считается рациональным, если не приводит к резкому изменению *природно-ресурсного потенциала*. *Природно-ресурсный потенциал* – это часть природных ресурсов, которая может быть реально вовлечена в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества. Обязательным условием является *сохранение среды жизни* человека на Земле. Для территории России построены мелкомасштабные карты по районированию ее на разные природно-ресурсные районы.

К сожалению, современное состояние природопользования в нашей стране можно охарактеризовать как нерациональное. Это такое, которое вызывает истощение природных ресурсов, нарушение экологического равновесия природных систем, загрязнение окружающей среды. Нерациональное природопользование не обеспечивает сохранение природно-ресурсного потенциала, когда не соблюдается основное условие – сохранение среды жизни человека. Причин этому много. Среди них, наряду с общим экономическим состоянием общества в России, недостаточное познание специалистами законов экологии, а также недостаточная согласованность с ними своих действий. По мере перехода общества к устойчивому развитию следует стремиться и к рациональному использованию природных ресурсов.

4. *Минеральные ресурсы* – это совокупность полезных ископаемых, заключенных в недрах. Они составляют важную часть природных ресурсов. Минеральные ресурсы являются основой для развития важнейших отраслей промышленного производства, таких как энергетика, черная и цветная металлургия, химическая промышленность, строительство и других.

*Полезные ископаемые* - это природное скопление минералов в земной коре, которые могут быть эффективно использованы в народном хозяйстве. Понятие «полезное ископаемое» условно. Ископаемое потому, что его извлекают из недр, т. е., отторгают от каменной оболочки Земли. Полезность его меняется с изменениями потребности народного хозяйства. Такое скопление «полезного ископаемого» в глубинах недр называется *промышленным месторождением*. Оно может разрабатываться, если отвечает качественным и количественным критериям, а также возможности экономических условий страны разработки и эксплуатации его. А если такое «минеральное образование» не отвечает по качественным и количественным критериям потребителям, но экономические условия страны позволяют его разрабатывать, то его обогащают. В этом случае это минеральное образование, в котором полезные компоненты (металлы или минералы) составляют лишь часть общей массы, называют *рудой*. «Руда» – *древнерусское название крови*. Разработку руды выполняют не всегда. Последнее должно быть технологически возможным и экономически выгодным. *Обогащение руды* – процесс обработки руды с целью выделения из нее полезных компонентов, удаления вредных примесей и т.д.

Запасы и кондиции каждого месторождения утверждаются Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых.

Все полезные ископаемые находятся в недрах Земли. В настоящее время термин «недра» используется в широком смысле в связи с охраной и рациональным использованием минеральных ресурсов.

Все минеральные ресурсы делят на две группы: *металлы и неметаллические полезные ископаемые*.

*Металлы*. Только кислород, кремний и еще семь химических элементов (алюминий, железо, кальций, магний, натрий калий, титан и др.) составляют 99% массы континентальной земной коры. Средняя концентрация остальных химических элементов очень мала. Некоторые из этих элементов образуют скопления в виде рудных месторождений (алюминий, железо, магний, титан, и марганец). Остальные металлы геохимически редки. Для них существует реальная опасность исчерпания наиболее рентабельных месторождений.

Производство металлов сопровождается значительным загрязнением окружающей среды.

*Неметаллические полезные ископаемые и нерудное минеральное сырье* составляют еще большую массу веществ, используемых человечеством. Так, 1/3 их – сырье для химической промышленности и производства минеральных удобрений; 2/3 – строительные материалы.

Потребление *минеральных удобрений* (фосфорных, калийных, азотных) растет. За 30 лет (1960 – 1990 г.г.) их мировое производство увеличилось в 5 раз – с 45 до 230 млн. т в год. Источниками фосфатов являются месторождения апатитов, фосфоритов и других фосфатных минералов, находящихся, в

основном, в преобразованных морских отложениях. Из обогащенного апатита по простой технологии с применением серной кислоты производится главное фосфорное удобрение – суперфосфат. Сумма разведанных мировых запасов фосфора близка к 45 млрд. т.

Калий концентрируется в месторождениях калийных солей морского происхождения, в основном в виде KCl или в смеси с хлоридами натрия и магния. Эксплуатационные запасы калия превышают 60 млрд. т.

Важным сырьем для химии является сера. Она идет для производства минеральных удобрений и пестицидов. Сера находится в месторождениях самородной серы вулканического происхождения, в составе природного газа (H<sub>2</sub>S), сульфидных рудах, колчеданах и сульфатах морского происхождения. Мировое производство серы из всех источников приближается к 70 млн. т в год

Из других видов минерального сырья для неорганической химии важны запасы хлоридов и сульфатов натрия, магния и кальция. Они содержатся в скоплениях морских эвапоритов. *Эвапориты – химические осадки, выпавшие на дно бассейна в результате перенасыщения растворов.*

*Строительные материалы* – это самая большая по массе и объему группа веществ, извлекаемая для нужд хозяйства. *Первая группа* - бутовый и дробленый строительный камень, песок, гравий. *Вторая группа* представлена материалами, подвергаемыми химической и термической обработке, - глины для производства кирпича и керамики; известняки, доломиты, гипс для производства цемента, бетонов, стекла; а также слюда и асбест. Запасы месторождений этих материалов велики и составляют 4 млрд. т.

В зависимости от области промышленного использования выделяют следующие группы минеральных ресурсов:

- *Топливо-энергетические* – нефть, газ, уголь, горючие сланцы, торф, урановые руды;
- *Рудные ресурсы* – железная и марганцевая руда, бокситы, медные, свинцо-цинковые, никелевые, вольфрамовые, молибденовые, оловянные руды, руды благородных металлов;
- *Горно-химическое сырье* – апатиты, фосфориты, поваренная и калийная соль, сера, бром- и йодсодержащие растворы;
- *Нерудные полезные ископаемые и драгоценные камни* – известняк, доломит, глина, песок, мрамор, гранит, яшма, агат, алмазы;
- *Гидроминеральные ресурсы* – пресные подземные и минерализованные воды.

## 11.2. Этапы горнорудного дела в России и их экологическая значимость

Исключительно важное значение полезных ископаемых в развитии человеческого общества отражены в названии длительных исторических периодов «каменный», «бронзовый», «железный».

«Каменный век» (8-4 тыс. лет до н. э.) – самый продолжительный в истории человечества. На этой стадии своего развития человек использовал твердые горные породы – *обсидиан, кремьнь, кварцит*. Он изготовлял из них ножи, скрепки, живя еще в пещере. К концу каменного века первобытный человек начинает строить жилища из камня, дерева. Женщины используют украшения из золота и камней.

«Бронзовый век» (4 - 1 тыс. лет до н. э.) – человек научился использовать самородную медь. Это мягкий металл. Поворотным моментом в истории человечества стало открытие сплавов: *медь с оловом, медь со свинцом, медь с сурьмой, медь с серебром*. Их можно было ковать, но в отличие от чистой меди они были прочными. Это была *бронза*. Центры добычи меди становились центрами экономическими и политическими (Афины, Македония, Спарта, Греция). Золото находили в песках и галечниках речных долин.

«Железный век» (1 тыс. лет до н. э.) – коренной перелом в укладе жизни человечества. Дешевое железо заменило дорогую бронзу. Это резко повысило эффективность хозяйства. Началась эпоха, когда железо стало металлом царей. Тот побеждал, у кого было железное оружие. Кельты (галлы) на территории современной Франции, Бельгии и Северной Италии знали секрет получения железа. Они жили рядом с месторождением лимонита (оксид железа) и держали в трепете даже римлян.

*На заре человечества (к началу нашей эры, 1 - XVII век)* Хомо сапиенс научился добывать и обрабатывать золото, серебро, медь, бронзу, свинец, железо. Он знал и использовал цветные драгоценные и полудрагоценные камни (агаты, топаз, горный хрусталь, бирюзу, малахит и т.д.).

*В средние века (XVII - XVIII век)* – заложены основы рудной геологии и создана горнорудная промышленность. В России наибольшие события происходили во время правления Петра 1 (1689 - 1725 гг.). В становлении отечественной науки геологии и минералогии большой вклад внес М. В. Ломоносов. Осваивались богатства Урала.

*Новое время (XVIII - XX век)* – темп исторических событий высокий. Характерно: становление науки; окончательное создание горнорудного дела; лавинное ускорение научно-технического прогресса. XIX век – век чугуна.

*Первая половина XX века* – (1900 - 1960 гг.) – время великих открытий. Создаются новые отрасли науки и производства: электротехническая, автомобильная, радиоэлектронная. Изготовлены новые виды оружия для 1 и 2 Мировых войн. В первой половине XX века философское обоснование экологических проблем в системе «человек – природа» звучало следующим образом: *человек – царь природы и взять ее богатства – наша задача*. В обществе технологический уклад представлен распространением электричества и двигателей внутреннего сгорания.

*Вторая половина XX века* (1960 – 2000 гг.) – современный этап развития человечества. Современные достижения космической геологии, физики Земли, механики, математической геологии, компьютерной технологии при-

вели к новому подъему в рудной геологии. Во второй половине 20 века социально организованный человек удваивает свою мощь через каждые 15 лет. Объективными причинами явилось: а) рост населения на земном шаре до 6 млрд. человек; б) быстрый рост в мире научно-технического прогресса. Это приводит к усилению взаимодействия природы и общества. Философским обоснованием этого периода является вначале *рациональное природопользование*, а затем философия *экологического гуманизма*. Экологический гуманизм (человечность) – как система норм поведения, признающая самоценность природной среды. В обществе господствует информационно-технологический уклад. В промышленности на первый план выдвигается микроэлектроника.

Рассмотрим подробнее этапы человечества с экологической точки зрения.

Степень воздействия человечества на биосферу, в том числе и недра, была незначительна до *середины XIX века* нового времени, включая каменный, бронзовый, железный век до нашей эры, начало нашей эры, средние века. Природа могла сама «залечить раны», нанесенные ей хозяйственной деятельностью человечества. Начиная с середины XIX века, воздействие на окружающую среду настолько усилилось, что природе не удается собственными силами ликвидировать нарушения в экосистемах. Нужны неотложные меры по охране природы.

Что же ждет человечество в XXI веке? Философским обоснованием развития системы «человек – природа» является *стратегия устойчивого развития*, принятая в декларации на «глобальном саммите» в Рио-де-Жанейро в 1992 г. и резолюции XXI Конференции ООН по ОС и Развитию. Достижение глобальной устойчивости общества означает обеспечение потребностей сегодняшнего дня без риска способности окружающей среды поддерживать жизнь в будущем. Это значит, обеспечить качество жизни, экологическую безопасность и здоровье нации.

Кроме стремления к вышеизложенной структуре управления, в России управление разработкой недр включает следующие *две* задачи: 1) прогнозирование нарушений ОС при разработке недр (оценка воздействия на ОС); 2) разработка надежных и эффективных природозащитных мероприятий по предупреждению и ликвидации этих нарушений.

### **11.3. Современные черты и особенности горнодобывающей промышленности России**

Основу экономического развития любой страны составляет величина *природно-ресурсного потенциала*. Природно-ресурсный потенциал – это та часть природных ресурсов, которая может быть реально вовлечена в хозяйственную деятельность страны с условием сохранения среды жизни. Как будет

обеспечена промышленность и сельское хозяйство минеральным сырьем, таковы будут темпы прироста производительных сил каждой страны.

Природно-ресурсный потенциал России занимает особое место в мировом природно-ресурсном комплексе в силу его крупномасштабности. Наибольшую значимость в природно-ресурсном потенциале России играет *минерально-сырьевой комплекс*

В недрах России сосредоточено 13 % разведанных мировых запасов нефти, 35% газа, 12% угля, 27% железной руды, значительная часть золота, алмазов, цветных и редких металлов.

В России разведано 22 тыс. (1997 г.) месторождений полезных ископаемых. Добыча полезных ископаемых за 7 последних лет упала в 2 раза. Но в последние годы отмечается вовлечение природных ресурсов в хозяйственный оборот страны во все больших масштабах. Это объясняется не только большим спросом на них внутри страны, но растущим вывозом топлива и сырья за рубеж. Если в 1960 г. экспорт нефти составлял 17,8 млн. т, то в 1985 г. он возрос до 117 млн. т. По данным Государственного таможенного комитета РФ Россия в 2000 году вывезла нефти, бензина и мазута в объеме 44,6 % от всего экспорта. Практически каждая вторая тонна добываемой нефти, и каждый 8-9 кубометр газа уходят за границу. Газ и нефть не требуют при своей разработке дотации государства. Еще в 1992 году указом президента РФ были утверждены компании, объединяющие весь цикл циркуляции нефти от скважины до бензоколонки (Восточная нефтяная компания, ОАО «ЮКОС» и т.д.). В совокупности они обеспечивают более 40% нефтедобычи в стране и более 30% экспорта сырой нефти. Специалисты утверждают, что разведанных запасов нефти России хватит на 35 лет. Подготовка к освоению новых районов ведется на шельфах северных морей России и восточной ее части. За последние годы 70% дохода в российский бюджет поступает от торговли сырьем, большей частью минеральным. Поскольку это не воспроизводимые ресурсы, то означает прямой вычет их из нашего природного потенциала. Для развивающихся стран характерно потребление минерального сырья 10-40% от его производства. Центральные ведомства и министерства действуют по принципу «валюта любой ценой». Решение проблем охраны природы до сих пор на втором месте.

В Томской области разведанных месторождений с углеводородным сырьем в 1996 году насчитывалось 89. Добыча нефти в 1998 году составила 160 – 180 млн. т в год по сравнению с 60-ми годами (385 млн. т).

До *перестройки* в России при административно-командной системе управления разведка недр и эксплуатация сырья осуществлялась с узковедомственных позиций, не комплексно. В результате этого, низкая производительность труда (производительность добычи золота 1 кг на 1 работающего в Америке – 12 кг, в России – 1 кг), высокая себестоимость добычи полезного ископаемого, нарушение природной среды (ущерб от загрязнения ОС соизмерим с затратами на их добычу).

В середине 90-х годов, когда планирование перешло во внутрифирменное управление, наметились следующие принципы и тенденции в *перестройке* горнодобывающей промышленности в России.

Принцип *к о н ц е н т р а ц и и* горного производства в одном экономическом районе. Этот принцип «островной» геологии предполагает концентрацию всех видов геологоразведочных работ на ограниченном числе разведываемых и разрабатываемых месторождений. Такой принцип должен будет обеспечить увеличение эффективности разработки месторождений в 1.5 – 2 раза.

Принцип *о п т и м и з а ц и и* природопользования в геологии заключается в одновременном учете экономического и экологического подхода к разработке полезного ископаемого. Повысить экономичность и экологичность месторождения можно, если все этапы жизненного цикла его (разведка – эксплуатация – рекультивация) имеет одного хозяина. С экологической точки зрения предусматривается прогнозирование нежелательных и опасных ситуаций с обязательным комплексом мер по их предотвращению. Своевременное и точное обнаружение опасных ситуаций в природной среде достигается системой организации наблюдений за ее изменениями. Такие системы носят название мониторинга («монитор» – впередсмотрящий).

Принцип *с т р а т е г и и* «передовой техники» заключается в том, что используя рабочую «дешевую» силу и современные технологии запада, создать в России совместные с иностранными партнерами комплексы на базе месторождений. Это совместное предпринимательство было задумано для придания импульса развитию наукоемких отраслей производства. Однако сегодня уже складывается впечатление, что процесс создания современных предприятий идет стихийно, уводя нас в сторону от основного пути развития научно-технического прогресса. Похоже, нашим иностранным партнерам надо получить прибыли за счет использования наших природных богатств, так как цена на топливно-сырьевые товары на нашем внутреннем рынке в 2 раза ниже, чем на мировом. Организация переработка этих ресурсов на нашей территории тоже понятна: они относятся к разряду «грязных» производств. Например: В 1998 году Министерством нефтяной промышленности подписан протокол о намерениях по созданию совместного предприятия «Тенгизполимер» с иностранными партнерами: итальянскими, американскими, японскими о создании крупнейшего в Восточном полушарии газохимического комплекса на базе месторождения углеводородов. Комплекс будет производить ежегодно 1 млн. т гранулированной серы, 60 тыс. т полиэтилена и других пластмасс. Значительная часть продукции должна экспортироваться. Загрязнение окружающей среды и другие экологические последствия от совместных предприятий лягут на плечи российского народа (газета «Аргументы и факты», № 24, май 2000 года).

Переход к устойчивому развитию требует *з а м е д л е н и я* темпов истощения запасов невозобновимых природных ресурсов. В будущем – замена их

на другие не лимитированные виды ресурсов (солнечную и ветровую энергии), замена экстенсивного пути развития на интенсивный (научно-технический прогресс, увеличение производительности труда, комплексное использование минерального сырья).

В дальнейшем экономическом развитии нашей страны предполагается учет двух экологических ограничений: а) ограниченные возможности окружающей среды принимать и поглощать (ассимилировать) отходы и загрязнения; б) конечный характер невозобновимых природных ресурсов. Учитывая рыночные условия, в которых приходится работать геологическим предприятиям, руководителям новой формации необходимо освоить принципиальные основы рынка – менеджмент, маркетинг и мониторинг.

*Особенности горнодобывающей промышленности.* Особенности горнодобывающей промышленности России накладывают свой отпечаток на направленность природоохранной деятельности в этой области. Они заключаются в следующем:

1. Разведка и разработка месторождений полезных ископаемых очень специфична. Нет месторождений, которые бы по вещественному составу, по физико-механическим свойствам, технологическим схемам добычи и переработки сырья были бы похожи. В минерально-промышленном комплексе выделяются самостоятельные стадии производства: разведка, подготовка к эксплуатации, добыча полезных ископаемых, обогащение, консервация.

2. Особенность природоохранной деятельности горнодобывающего предприятия определяется невозобновимым характером минеральных ресурсов и существенным негативным влиянием деятельности горных предприятий на окружающую среду. Поэтому горнопромышленный комплекс стал одним из первых в России производств, обратившихся к решению проблем в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

3. Реализуемые на горнодобывающих предприятиях меры ресурсосберегающего характера связаны со следующим.

*Во-первых*, с обеспечением *комплексности* и *полноты* освоения недр и использования добытого минерального сырья. *Комплексное* использование минерального сырья предполагает извлечение из месторождений попутных компонентов. Мы знаем, что большинство месторождений содержат не одно, а несколько ценных компонентов. Например в месторождениях железных руд Донбасса присутствует марганец, хром, титан, медь, цинк и другие. В месторождениях нефти и газа Томской области полезными являются сера, гелий, йод, бром и т.д. Различные данные говорят, что извлечение попутных компонентов из месторождений повышает их ценность в 1,5–2 раза.

*Полное* использование минерального сырья предполагает исключение его потерь. Потери минерального сырья происходят при добыче, обогащении, транспортировке и переработке его из-за несовершенства, чаще всего, технологии и техники при этих операциях. Миллионы тонн угля остаются невыбранными в боковых стенках и целиках (опорах), поддерживающих

кровлю угольного пласта. Потеря в недрах при добычи угля составляет 23,5 % , калийной соли – 62,5 %. При транспортировке газа теряется каждый седьмой кубический метр. Решить вопрос отдачи месторождений – значит расширить минеральную и топливную базу в несколько раз.

*Во-вторых*, с заменой первичного сырья вторичным путем разработки техногенных полезных ископаемых, т.е. использованием отходов горных производств. Это приведет также к уменьшению ущерба, наносимого природе отвалами и терриконами. Они занимают огромные площади сельскохозяйственных земель, нарушают гидродинамическое равновесие верхней части литосферы, загрязняют воздух, почву, воду. Например, сульфидные рудные отвалы, выщелачиваясь, высвобождают кадмий и мышьяк. Это значит, что не надо складывать в отвалы то, что является ценным сырьем. Использовать отходы горного производства (вмещающие и вскрышные породы месторождения) можно в качестве стройматериалов, строительстве дорог и других инженерных сооружений. Ради этой «пустой породы» – щебенка, песок, глина – часто приходится неподалеку копать специальные карьеры и напрасно «ранить» Землю. Больше половины горных пород, которые снимают с поверхности Земли, чтобы добраться до полезного ископаемого, и более 60% отходов обогащения руд пригодны для производства строительных материалов: кирпича, керамзита, цемента, извести [15].

*В-третьих*, с уменьшением землеемкости горнодобывающего производства за счет рекультивационных работ, снятия плодородного слоя почвы перед разработкой месторождения.

*В - четвертых*, со снижением водоемкости горного производства путем сокращения потребления пресной воды в результате разработки схем оборотного водоснабжения при обогащении и переработке полезных ископаемых, а также использование тех вод, которые будут получены при создании противодиффузионных завес вокруг шахтного поля.

*В-пятых*, с внедрением малоотходных технологий в горнопромышленных предприятиях. Они частично могут устранить образование отходов и, таким образом, уменьшить ущерб окружающей природной среде. Наиболее перспективным направлением ресурсосберегающей политики горнодобывающего предприятия является организация малоотходного производства и внедрение новых технологий. При этом производстве большая часть исходного сырья превращается в ту или иную продукцию. Например, применение метода электролиза, позволило извлекать из тонны влажного осадка, полученного при очистке сточных промышленных вод, до 50 кг чистой меди. Использование бактерий для обработки некондиционных углей позволяет за 6-8 часов получить «жидкую почву», содержащие необходимые элементы для повышения сельскохозяйственных культур. Внедрение новых технологий извлечения полезных ископаемых, основанных на переводе их с помощью тепловых, химических, гидродинамических или микробиологических процессов прямо в недрах, в состояние, пригодное для транспортировки че-

рез скважины на поверхность Земли. Издавна подземным растворением добывали каменную соль. В настоящее время развивается подземная выплавка серы.

Таким образом, внедрение новых технологий существенно повысит эффективность получения полезных ископаемых и снизит загрязнение окружающей природной среды.

#### **11.4. Охрана недр – как часть единой проблемы охраны окружающей среды**

Проблемы рационального освоения и охраны недр рассмотрим на примере организации природоохранной деятельности горнодобывающего предприятия. Общие проблемы охраны недр изложены в основах законодательства РФ о недрах, рассмотрены выше и сводятся к следующему:

1. Комплексное геологическое изучение месторождений полезных ископаемых.
2. Полное (комплексное) извлечение из недр и рациональное использование основных и сопутствующих полезных компонентов месторождений.
3. Исключение вредных выбросов и отходов в окружающую среду.
4. Устранение самих причин загрязнения, что требует применение малоотходных, а в перспективе безотходных технологий производства
5. Утилизация и переработка отходов горнопромышленного производства
6. Охрана месторождений полезных ископаемых от затопления, обводнения и застройки.

Рост недовольства общественности и ужесточение экологического законодательства на горнодобывающих предприятиях требуют преобразований в природоохранной сфере. На предприятиях экологическое преобразование возможно будет лишь при условии осознания руководством особой важности задач охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Исследования последних лет показывают, что совершенствование природоохранной деятельности на локальном уровне следует начинать с введения системы экологического менеджмента. Он должен быть разработан на основе международных стандартов ISO 14000. Они должны быть адаптированы к условиям недропользования. Система экологического менеджмента должна представлять собой часть общей системы управления предприятием. Рекомендуемый порядок построения системы экологического менеджмента на горном предприятии предусматривает следующую стадийность:

1) *Планирование деятельности*, ориентированной на обеспечение экологической безопасности горного производства.

В этой классификации основные направления природоохранной деятельности увязываются с видами этой деятельности. Выделено 4 вида природоохранной деятельности горного предприятия:

а) *регламентационно – контролирующие*, связанные в первую очередь с осуществлением различных видов мониторинга; б) *организационно-управленческое*, направленное на формирование эффективных форм и методов реализации экологической политики предприятия; в) *технотехнологические* виды природоохранной деятельности предусматривают внедрение программ экологически чистого производства и требуют для своего осуществления значительных по объему инвестиций; г) *финансово-экономические* виды отражают затратно – результативные аспекты. Они являются малозатратными.

Выделено три группы оценочных показателей, позволяющих осуществить планирование и учет количественных результатов природоохранной деятельности в экологической, социальной и экономических сферах.

2) *Организация и практическая реализация* природоохранной деятельности в процессе геологического изучения недр, добычи полезных ископаемых и их переработки.

Выделяют различный срок реализации природоохранных мероприятий: *краткосрочные (до 1 года), среднесрочные (от 1 до 5 лет), долгосрочные (более 5 лет)*. Важна степень завершенности природоохранных мероприятий: *Достигшие конечного результата* (например, когда очистные сооружения полностью готовы к эксплуатации) и *подлежащие дальнейшей эксплуатации* (например, продолжается перевод котельных с угля на газ). В зависимости от целей проведения природоохранные мероприятия могут быть *превентивные* (предупредительные) и *ликвидационные*, направленные на устранение последствий ущерба.

3) *Внутренний мониторинг и корректировка* намеченной деятельности в области сохранения и улучшения качества окружающей среды и минеральных ресурсов.

4) *Независимая оценка результатов природоохранной деятельности.*

Рассмотрим систему экологического менеджмента, действующего на горнодобывающем предприятии Урала. Ключевым звеном организационной структуры управления является экологическая служба на предприятии. Состав и численность персонала экологических служб определяется масштабами и спецификой горного производства. Если численность персонала на производстве менее 50 человек, то рекомендуется один специалист, а если 50 – 100 человек – два специалиста по экологии и т.д.

Очень важно включение природоохранной деятельности в систему учета и экономического анализа предприятия. «Не можешь измерить и проанализировать, не сможешь управлять». Основной объект учета – затраты на природоохранную деятельность. Следует выяснить, уменьшены ли воздейст-

вия на окружающую среду при одновременном повышении прибыльности предприятия.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. *Понятие природных ресурсов. Их особенность и классификация по признаку возобновимости*
2. *Чем характеризуется рациональное природопользование. Природно-ресурсный потенциал*
3. *Классификация минеральных ресурсов в зависимости от области промышленного использования и категориям запасов*
4. *Какие природные ресурсы России можно считать главным эколого-экономическим богатством страны и почему?*
5. *Этапы развития человеческого общества («каменный», «бронзовый», «железный» века, начало нашей эры, средние века). Их экологическая значимость.*
6. *Развитие человеческого общества в период нового века – 18 – 20 века и оценка воздействия его на биосферу*
7. *Охарактеризуйте принципиальные подходы к системе управления экологически ориентированным развитием общества*
8. *Современные черты и особенности горнодобывающей промышленности России*
9. *Охрана недр – как часть единой проблемы охраны окружающей среды*

### **Литература**

- Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. – М.:Наука, 1989.– 250 с.
- Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И.* Основные проблемы экологической геологии //Геоэкология. –1994. – № 3. – С.28–35.
- Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И.* Основные проблемы экологической геологии //Геоэкология. – 1994. – № 3. – С.28–35.
- Круть Н В.* Введение в общую теорию Земли. – М.: Мысль, 1978. – 124с.
- Малиновский Ю.М.* Недра – летопись биосферы. – М.: Недра, 1990.– 159 с.
- Мочалова Л.А.* Совершенствование системой управления природоохранной деятельностью горнодобывающего предприятия //Авт. дисс. – Екатеринбург. – 20 с.
- Осипов В. И.* Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер// Геоэкология. – 1993. –№ 1. –С.4–12.
- Полканов М.О.* Экологические проблемы недропользования России //Геоэкологические исследования и охрана недр. – 1997. – № 1. – С.3–5.
- Потемкин Л. А.* Охрана недр и окружающей природы / Под ред. Л. А. Потемкина. – М.: Недра, 1977. – 205с.
- Проблемы взаимодействия природы и общества. Научные труды. Вып. 2.*  
*/ Под ред. В. П. Парначева.* – Томск: Изд-во ТГУ, 1997. – 90 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

с.

ПРЕДИСЛОВИЕ		3
Глава 1.	Науки о Земле, их предмет и задачи	4
Глава 2.	Планета Земля в космическом пространстве	11
2.1.	Строение солнечной системы	11
2.2.	Строение земной коры, мантии и ядра	16
2.3.	Влияние космических процессов на развитие жизни на Земле	20
2.4.	Химический и минеральный состав вещества солнечной системы и Земли	21
Глава 3.	Геофизические поля Земли и их значение для биоты	23
3.1.		23
3.2.		25
3.3.	Гравитационное поле Земли	27
Глава 4.	Тепловое поле Земли	28
4.1.	Тектоника плит и напряженное состояние земной коры	28
4.2.	Землетрясения	37
4.3.	Вулканическая деятельность	39
4.3.	Морфоструктуры как проявление внутренней геодинамики в формах поверхности Земли	44
Глава 5	Вещественный состав земной коры	47
5.1.	Минералы	47
5.2.	Горные породы	52
Глава 6.	Возраст и геологическая история Земли	66
6.1.	Стратиграфия	66
6.2.	Геологическая история Земли	67
Глава 7.	Гидросфера	85
7.1.	Происхождение гидросферы и ее фундаментальные свойства	86
7.2.	Круговорот воды и тепла на земном шаре как взаимодействие геосфер	88
Глава 8.	Атмосфера	90
8.1	Состав атмосферы	90
8.2	Строение атмосферы	93
8.3.	Понятие о климате и погоде	95
Глава 9.	Взаимодействие геосфер и процессы внешней геодинамики	99
9.1.	Географическая зональность Земли	99
9.2.	Современное представление о выветривании и почвах	111
9.3.	Деятельность поверхностных текучих вод	117
9.4.	Деятельность подземных вод	126
Глава 10.	Основы картографирования	134
10.1	Основные понятия картографии	135

	10.2.	Принципы составления карт и разрезов	139
Глава	11.	Природные ресурсы Земли	145
	11.1.	Основные понятия	145
	11.2.	Этапы горного дела в России и их экологическая значимость	148
	11.3.	Современные черты и особенности горнодобывающей промышленности в России	150
	11.4.	Охрана недр – как часть единой проблемы охраны окружающей среды	154

Нина Владимировна Крепша

## **НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

Учебное пособие

Научный редактор профессор, доктор физико-математических наук  
Протасевич Е.Т.

Подписано к печати

Формат 60x84/16. Бумага ксероксная.

Плоская печать. Усл. печ. л. . Уч.- изд. л.

Тираж 150 экз. Заказ . Цена свободная.

ИПФ ТПУ Лицензия ЛТ № 1 от 18.07.94.

Типография ТПУ, 634050, Томск, пр. Ленина, 30.