



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ  
МГУ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

*teach-in*  
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

# ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 1

КОРОНОВСКИЙ  
НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ  
ГУЩИН  
АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ

—  
ГЕОЛФАК МГУ

—  
КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН  
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ  
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ  
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.  
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ  
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ  
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,  
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,  
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ  
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА  
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ  
**ЛЮБИЦКУЮ АЛЬБИНУ ВЛАДИСЛАВОВНУ**



Оглавление

<b>Лекция 1. Земля в космическом пространстве .....</b>	<b>8</b>
1.1. Введение в курс. Литература.....	8
1.2. Определение космоса и вселенной .....	8
1.3. Место Земли во Вселенной. Метагалактики.....	11
1.4. Галактика. Группы Галактик .....	12
1.5. Большой Взрыв. Сингулярность.....	15
1.6. Расширение Вселенной.....	15
1.7. Млечный путь. Состав Галактики .....	20
1.8. Солнечная система. Состав .....	22
1.9. Солнце.....	25
<b>Лекция 2. Земля в космическом пространстве. Продолжение.....</b>	<b>34</b>
2.1. Луна.....	34
2.2. Метеориты и астероиды.....	36
2.3. Кратеры.....	40
2.4. Кометы. Тунгусский «метеорит».....	43
2.5. Два слова о внутреннем строении Земли (тема следующей лекции) .....	45
<b>Лекция 3. Форма, строение, состав Земли. Физические свойства глубинного</b>	
<b>вещества Земли. Естественные физические поля .....</b>	<b>46</b>
3.1. Образование Солнечной системы .....	46
3.2. Земля .....	46
3.3. Представления о Земле в древности. История изучения.....	47
3.4. Форма Земли. Геоид.....	47
3.5. Внутреннее строение Земли.....	49
3.6. Кимберлитовые трубки.....	50
3.7. Косвенные методы изучения. Сейсмический метод.....	50
3.8. Строение верхней мантии.....	53
3.9. Океанская и континентальная кора.....	55
3.10. Мощность земной коры.....	56
3.11. Химический и минеральный состав глубинного вещества Земли .....	58
<b>Лекция 4. Продолжение лекции 3 .....</b>	<b>59</b>
4.1. Океаническая кора.....	59

---

4.2. Мантия.....	59
4.3. Ядро .....	59
4.4. Физические свойства глубинного вещества Земли .....	60
4.5. Естественные физические поля Земли.....	63
<b>Лекция 4. Магматизм .....</b>	<b>67</b>
4.6. Типы магматизма .....	67
4.7. Катастрофы, которые помнят.....	68
<b>Лекция 5. Силы, создающие лик нашей планеты .....</b>	<b>71</b>
5.1. Земля. Геологические процессы на Земле .....	71
5.2. Экзогенные и эндогенные процессы.....	71
5.3. Эндогенные процессы.....	72
5.4. Магматизм .....	73
5.5. Катастрофы, которые помнят.....	76
5.6. Магма. Магматические породы .....	80
5.7. Плутонические, вулканические, вулканогенно-обломочные породы .....	81
5.8. Флюиды. Вязкость расплавов.....	83
5.9. Выводы. Фазовые состояния.....	84
<b>Лекция 6. Вулканизм.....</b>	<b>88</b>
6.1. Примеры вулканизма .....	88
6.2. Определение вулканизма. Магма.....	88
6.3. Главные формы вулканических извержений.....	89
6.4. Продукты вулканических извержений. Летучие. Фумаролы .....	90
6.5. Жидкие продукты вулканических извержений .....	91
6.6. Строение лавовых потоков.....	92
6.7. Твердые продукты вулканических извержений .....	96
6.8. Вулканические аппараты .....	98
6.9. Типы вулканических извержений. Категории наземных извержений.....	100
<b>Лекция 7. Магматизм .....</b>	<b>102</b>
7.1. Магматизм. Вулканизм .....	102
7.2. Магма. Магматические горные породы. Минеральный состав .....	102
7.3. Зарождение магм. Три главных механизма плавления.....	107
7.4. Интрузивный магматизм. Формы интрузивных тел .....	109

7.5. Секущие интрузии.....	111
7.6. Согласные интрузии .....	111
7.7. Интрузивные массивы. Экзоконтакт и эндоконтакт.....	112
7.8. Метаморфические породы. Метаморфизм. Фации метаморфизма.....	113
8.1. Строение атмосферы.....	117
8.2. Типы выветривания .....	118
8.3. Формы выветривания:.....	119
8.4. Химическое выветривание.....	121
8.6. Биологическое выветривание.....	123
8.7. Элювий .....	123
8.8. Влияние выветривания на развитие геологических процессов: .....	124
8.9. Сернокислородное выветривание .....	124
<b>Лекция 9. Временные и постоянные водные потоки .....</b>	<b>126</b>
9.1. Эрозия .....	126
9.2. Сели .....	129
9.3. Русла рек. Речная эрозия .....	130
9.4. Речные террасы. Базис эрозии .....	135
<b>Лекция 10. Геологическая деятельность поверхностных текучих вод .....</b>	<b>137</b>
10.1. Гидросфера.....	137
10.2. Геологическая деятельность поверхностных текучих вод. Эрозия .....	137
10.3. Плоскостной нерусловой склоновый сток .....	138
10.4. Русловые водные потоки .....	140
10.5. Геологическая деятельность временных водных потоков на равнинах (образование и развитие оврагов) .....	140
10.6. Стадии развития оврагов.....	141
10.7. Геологическая деятельность временных горных потоков .....	142
10.8. Сель .....	143
10.9. Геологическая деятельность постоянных водных потоков.....	144
10.10. Геологическая деятельность рек.....	145
10.11. Закон Бэра .....	150
10.12. Перенос материала. Аккумуляция материала .....	150
10.13. Направленность и цикличность в развитии речных долин. Речные террасы .....	153

<b>Лекция 11. Геологическая деятельность подземных вод.....</b>	<b>158</b>
11.1. Общие сведения о подземных водах .....	158
11.2. Происхождение подземных вод.....	158
11.3. Виды воды в горных породах.....	160
11.4. Водно-коллекторские свойства горных пород .....	163
11.5. Условия залегания подземных вод, движение и режим грунтовых вод.....	165
11.6. Источники.....	169
11.7. Химический состав подземных вод.....	170
11.8. Геологическая деятельность подземных вод.....	171
11.9. Подземные карстовые формы.....	175
11.10. Суффозия.....	179
<b>Лекция 12. Геологическая деятельность ледников.....</b>	<b>180</b>
12.1. Ледники .....	180
12.2. Образование ледников. Снеговая линия .....	180
12.3. География современного оледенения. Классификация ледников.....	182
12.4. Покровные (материковые) ледники .....	182
12.5. Антарктида .....	186
12.6. Горные ледники .....	188
12.7. Ледники горно-покровные(смешанные) .....	191
12.8. Режим ледников .....	192
12.9. Геологическая деятельность ледников .....	195
12.10. Водно-ледниковые потоки и их отложения.....	200
<b>Лекция 13. Вечная мерзлота .....</b>	<b>203</b>
13.1. Зона вечной мерзлоты. Основные понятия.....	203
13.2. Географическое распространение ранение и мощность ММП .....	204
13.3. Подземные льды .....	205
13.4. Подземные воды зоны многолетней мерзлоты.....	207
13.5. Мерзлотно-геологические (криогенные) процессы и связанные с ними формы рельефа .....	207
13.6. Хозяйственная деятельность в криолитозоне .....	217
13.7. Оледенение в истории Земли.....	217
<b>Лекция 14. Геологическая деятельность ветра (эоловые процессы).....</b>	<b>222</b>

---

<b>14.1. Необходимые условия развития эоловых процессов .....</b>	<b>222</b>
<b>14.2. Геологическая деятельность ветра .....</b>	<b>223</b>
<b>14.3. Транспортировка материала .....</b>	<b>227</b>
<b>14.4. Эоловая аккумуляция .....</b>	<b>227</b>
<b>14.5. Типы пустынь .....</b>	<b>232</b>
<b>Лекция 15. Озера и болота, их геологическая роль.....</b>	<b>236</b>
<b>15.1. Гидросфера.....</b>	<b>236</b>
<b>15.2. Геологическая деятельность озер .....</b>	<b>236</b>
<b>15.3. Химический состав озерных вод .....</b>	<b>241</b>
<b>15.4. Геологическая деятельность озер .....</b>	<b>245</b>
<b>15.5. Болота и их геологическая роль .....</b>	<b>249</b>
<b>15.6. Отложения болот .....</b>	<b>251</b>

## **Лекция 1. Земля в космическом пространстве**

### **1.1. Введение в курс. Литература**

Необходимая информация о курсе представлена на сайте:

Курс годовой, оканчивается экзаменом в мае практикой в Крыму. В ходе курса будет рассматриваться все, что касается планеты Земля. Курс состоит из лекций и практических занятий по минералам и горным породам (4 часа в неделю).

В осеннем семестре необходимо будет сдать контрольные работы по минералам и породам, модули (письменные экзамены, состоящие из 2 вопросов и 10 терминов) №1 и №2, **зачет**. Перечень терминов представлен на сайте кафедры.

В весеннем семестре проводится сдача знания стратиграфической/геохронологической шкал, геологический разрез, знания компаса, модули №3 и №4.

Рекомендуемая книга:

- Короновский Н.В. – Общая геология, 2012
- Короновский, Брянцева – Общая геология в рисунках и фотографиях.
- Н.В. Коронский - Планета Земля (Геология за минуту)
- Н.В. Короновский – Общая геология. Твиты о Земле

### **1.2. Определение космоса и вселенной**

**Космос** (с греч.- «упорядоченное», «красивое») – строение, мир, вселенная, мироздание, материальный мир.

**Вселенная** – весь существующий материальный мир, безграничный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по формам материи (т.е. весь окружающий нас микро-, макро-и мегамир).

Галактика, в которой существует человечество – Млечный путь – является одной из сотен миллионов Галактик. Какие же пределы в расстояниях? Огромный интервал пространственных масштабов от размеров электрона ( $10^{-13}$  см) до границ видимой Вселенной ( $10^{28}$  см).

**Расстояния в Солнечной системе:**

- Радиус Земли – 6371 км
- Расстояние от Земли до Луны – 384000 км
- Расстояние от Земли до Солнца  $\approx 150$  млн. км = 1 а.е.  $\approx 8$  световых минут.
- 1 а.е. – новая единица измерения расстояний – «астрономическая единица».



- Радиус Солнечной системы до орбиты 8 планеты Нептуна - 30 а.е.  $\approx$  3,8 световых часа, а до орбиты Плутона – 40 а.е.  $\approx$  5 световых часов.

Планеты разделяются на каменные (близкие к Солнцу) – Меркурий, Венера, Земля со спутником Луна и Марс со спутниками Фобос и Демос, и планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и, ранее, Плутон, который в настоящий момент исключен из списка планет. Но в последнее время было обнаружено огромное количество планет, вращающихся где-то в космическом пространстве – например, планета Нибиру, которая гораздо больше Земли по размерам. Расстояния до планет невообразимо огромны.

### Расстояния до звезд:

В.Я. Струве первым измерил точное расстояние до Веги (1835-1840). Расстояния до близких звезд измеряются методом триангуляции, в качестве базы используют радиус орбиты Земли, равный **1 а.е.  $\approx$  150 000 000 км.**

Измеряется годичный параллакс звезд. Пример параллактического смещения: одинокое дерево смещается на фоне далёкого леса, если смотреть на него из окна движущегося поезда (рис. 1.1, 1.2).

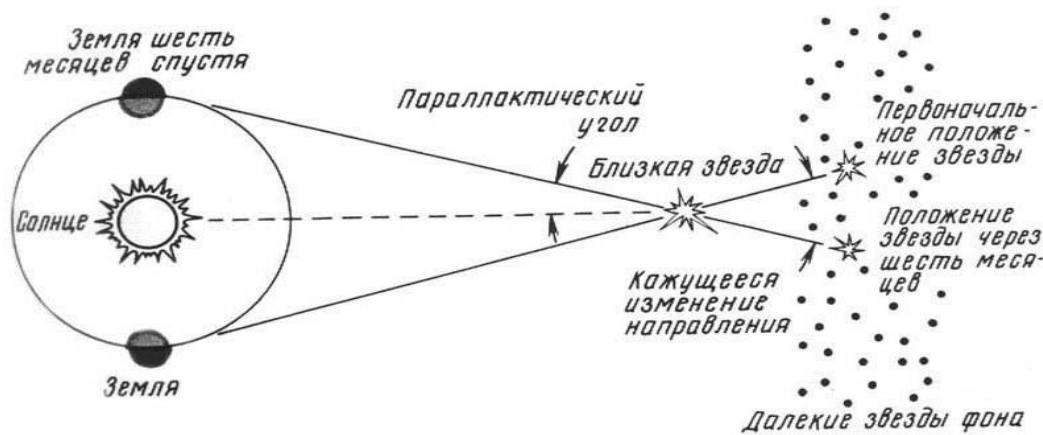


Рис. 1.1. Эффект параллактического смещения звезд

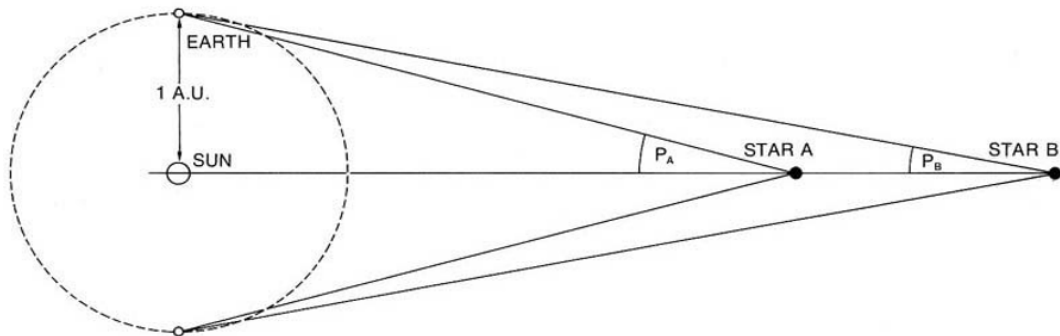


Рис. 1.2. Зависимость параллактического угла от расстояния

Парсек – единица измерений межзвёздных расстояний (рис. 1.3). Расстояние в космическом пространстве часто определяется парсеками.

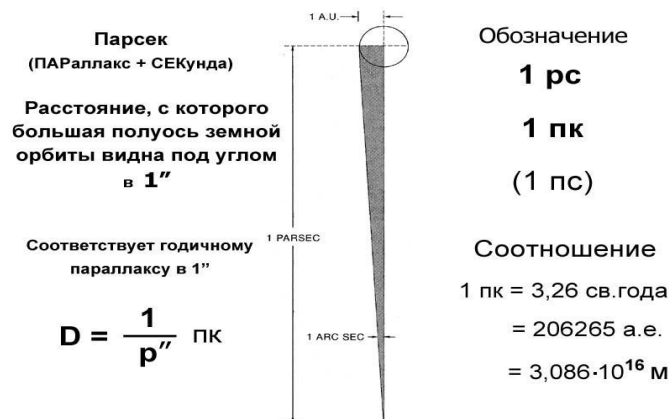


Рис. 1.3. Парсек

- Близость звёзд на небе (например, объединённых в созвездия) не всегда означает их близость в пространстве.
- Знание расстояний позволяет отделить одни звёзды от других в пространстве.
- Параллаксы большинства звёзд намного меньше 1 угловой секунды.
- Измерять параллаксы трудно

В основном, определением параллаксков занимаются астрономы. В геологии в научно – популярной литературе используют понятие **световой год** – расстояние, проходимое светом в вакууме за год, приблизительно равное 63 241,1 а.е. или 0,306601 пк, или 9 400 млрд. км.

- **Парсек (1пк) ≈ 206 265 а.е. ≈ 3,26 св. года.**
- **Килопарсек (1 кпк) = 1000 пк ≈ 3258 св. лет.**
- **Мегапарсек (1 Мпк) = 1000 кпк = 1 000 000 пк = 3 258 000 св. лет.**

Некоторые расстояния в парсеках:

- Расстояние от Солнца до ближайшей звезды Проксима Центавра ≈ 1,3 пк = 4,22 св.года.
- Расстояние от Солнца до центра нашей Галактики ≈ 10 кпк ≈ 32 000 св. лет.
- Диаметр нашей Галактики ≈ 30 кпк ≈ 100 000 св. лет.
- Расстояние до Туманности Андромеды ≈ 0,77 Мпк = 772 кпк ≈ 2,5 млн. св. лет.
- Ближайшее крупное скопление галактик, скопление Девы, находится на расстоянии 18 Мпк ≈ 59 млн. св. лет.

### 1.3 Место Земли во Вселенной. Метагалактики

Для определения места Земли во Вселенной рассмотрим последовательность: Земля – Солнечная система (С.с.) – Галактика Млечного пути (ГМП) – Местная Группа галактик (МГ) – Местное сверхскопление галактик – наблюдаемая Вселенная (Метагалактика) – Вселенная.

**Вселенная** – совокупность всего, что существует физически, т.е. наибольший объём пространства вместе со всей материей и излучением, заключенным в нём.

С Земли можно наблюдать только одну нашу Вселенную – это не исключает существования других.

С Земли с помощью современной астрономической аппаратуры можно наблюдать только часть нашей Вселенной – Метагалактику как объём, заполненный звёздами, галактиками, скоплениями галактик (всего около 1 млрд.), радиусом ~14 млрд. св. лет.

#### Строение Метагалактики

Средняя плотность вещества в Метагалактике составляет  $10^{-31} - 10^{-30}$  г/см<sup>3</sup> - в кубе с длиной ребра 40 000 км содержится 1 г вещества.

Вещество распределено неравномерно: одиночные элементарные частицы и атомы, молекулы, крупные газовые и пылевые туманности, звезды.

#### Звёзды – основное население Метагалактики

**Звёзды** – шарообразные горячие газовые (плазменные) самосветящиеся небесные тела, подобные Солнцу.

Звёзды сосредотачивают в себе до 90% видимого вещества нашей Вселенной, состоят из водорода H (70-80%) и гелия He (20-30%), остальные химические элементы – от 0,1 до 4%.

Источник тепловой энергии звёзд – термоядерная реакция в их недрах. При этом выделяется огромное количество энергии – отсюда формула Эйнштейна  $E = mc^2$  – энергия равняется массе на квадрат скорости света.

Звёзды образуют системы. Редко звезду одиночны (рис. 1.4), чаще – двойные и кратные (рис. 1.5).

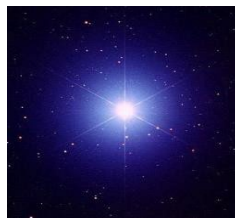


Рис. 1.4. Одиночная звезда

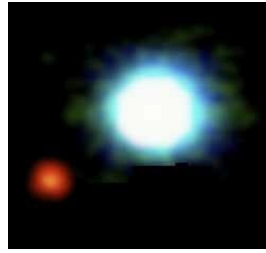


Рис . 1.5. Двойные и кратные звёзды

Звезды не отдельны, они имеют звёздные скопления – рассеянные скопления, шаровые скопления (рис. 1.6, А, Б)

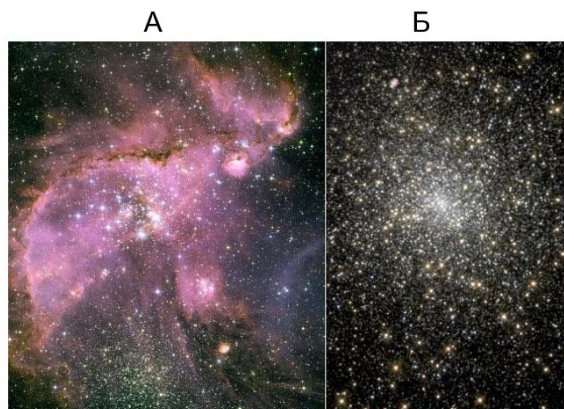


Рис. 1.6. А – рассеянное скопление, сотни молодых звёзд; Б – шаровое скопление, сотни тысяч старых маломассивных звёзд

#### 1.4. Галактика. Группы Галактик

Галактики (с греч. galaktikos – млечный):

- **Галактики** – звёздные системы, связанные гравитационным притяжением (сотни млрд. звёзд).
- Диаметр галактик - от нескольких тысяч до сотен тысяч световых лет.
- По внешнему виду галактики делят на: эллиптические (E), спиральные (S), неправильные (Ir) (рис. 1.7 – 1.10).



Рис. 1.7. Эллиптическая галактика M87 в созвездии Девы

Спиральные галактики – самые многочисленные. Галактика Млечный путь (наша галактика) также относится к спиральным галактикам. Ближе к нашей галактике располагается Туманность Андромеды (рис. 1.8). Неправильные галактики представлены на рис.1.9 – 1.10.



Рис. 1.8. Спиральная галактика М31 Туманность Андромеды



Рис. 1.9. Галактика Большое Магелланово Облако.



Рис. 1.10. Галактика М82 в созвездии Большой Медведицы.

**Группы галактик** включают несколько десятков галактик. Пример: Местная группа галактик. Включает 50 галактик. Диаметр 3,3 млн. св. лет.

Самые крупные Млечный путь и Туманность Андромеды (находится от нас на расстоянии 2,3 млн. св. лет.). Остальные – карликовые (рис. 1.11).

Туманность Андромеды постоянно приближается к нашей галактике, через какое-то количество миллионов лет произойдет столкновение.



Рис. 1.11. Расположение Галактик

### Сверхскопления галактик

- Включают в себя свыше 90% всех существующих галактик.
- Занимают около 10% всего объема пространства нашей Вселенной.
- Обладают массами на 15 порядков больше массы Солнца.

Пример: Местное сверхскопление (МСС) галактик (Сверхскопление Девы). Размер ~ 200 млн. св.лет. В состав МСС входят ~ 100 групп и скоплений галактик и около 30 тысяч галактик.

### Ячеистая структура Метагалактики

Метагалактика представляет собой сверхскопления галактик. Сверхскопления имеют сильно вытянутую форму и напоминают ленты или цепочки длиной в несколько сотен млн. световых лет. Пересекаясь, они образуют ячейки (воиды), внутри которых галактик практически нет (рис. 1.12). Сверхскопления образуют узлы пересечения, в одном из таких узлов находится Солнечная система.

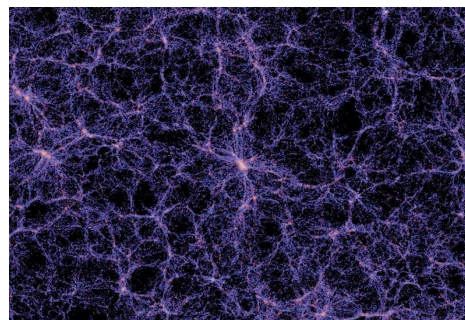


Рис. 1.12. Ячеистая структура Метагалактики

### 1.5. Большой Взрыв. Сингулярность

**Большой Взрыв** – современная теория происхождения нашей Вселенной. По современным представлениям, наблюдаемая нами сейчас Вселенная возникла около 13,7 млрд. назад из некоторого «сингулярного» состояния с бесконечно большой температурой и плотностью, и с тех пор, непрерывно расширяется и охлаждается. Существуют идеи о том, что наша вселенная не единственна, мы можем наблюдать лишь часть вселенной - идеи о Мультивселенной. Как и из чего образовалась Вселенная?

Краткая история возникновения теории:

- 1907-1916 гг. - А. Эйнштейн создаёт ОТО. Вселенная стационарна – силы гравитации (взаимного притяжения) уравниваются силами отталкивания.
- 1922-1924 гг. - А.А. Фридман находит нестационарное решение гравитационного уравнения Эйнштейна и предполагает расширение Вселенной.
- А. Фридман экстраполирует ситуацию в прошлое и приходит к заключению, что первоначально вся материя Вселенной должна была быть сосредоточенной в очень компактной области откуда начался её разлёт («папа-атом»).
- По А.Фридману был взрыв, который произошёл одновременно и повсюду во Вселенной, заполнив образовавшееся пространство очень плотным веществом, из которого через миллиарды лет образовались звёзды, галактики, наше Солнце, планеты и т.д.

### 1.6. Расширение Вселенной

- 1929 г. – первое экспериментальное подтверждение будущей теории. Э. Хаббл открывает общее расширение Вселенной: лучевая скорость  $v$  любой галактики (измеренная с помощью красного смещения) пропорциональна расстоянию  $r$  от неё:  $v = Hr$  (закон Хаббла), где  $H$  – коэффициент пропорциональности или постоянная Хаббла.
- Хаббл показал, что дальние галактики удаляются, так как смещение спектра идет в красную сторону. Если объект приближается – смещение происходит в голубую сторону, если удаляется – в красную. Хаббл предположил, что галактики, расположенные дальше всего, удаляются от нас, но это не означает, что Земля – центр Вселенной – все удаляются от всех, наша Вселенная – расширяющаяся.

На рис.1.13 представлен эффект Доплера: если объект удаляется, смещение происходит в красную сторону; при приближении объекта – в синюю сторону.

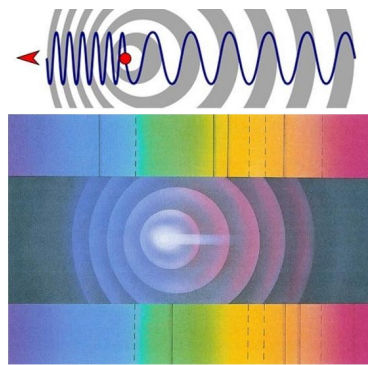


Рис. 1.13. Эффект Доплера

- 1948 г. Г.А.Гамов, физик-ядерщик, добавляет «маленькую» деталь – первичное вещество Вселенной было не только очень плотным, но и очень горячим. В этом ядерном котле за несколько минут были синтезированы легкие химические элементы (H и He). По Г.Гамову электромагнитное излучение первичного горячего вещества не должно исчезать при расширении Вселенной. Оно сохраняется в сильно охлажденном виде и сейчас должно иметь температуру около 3 К.
- 1965 г. – второе экспериментальное подтверждение теории. Радиоинженеры А.Пензиас и Р. Вильсон случайно обнаруживают фоновое космическое электромагнитное излучение в микроволновом диапазоне. Излучение однородно с точностью до тысячных долей процента, его интенсивность постоянна по всему небу. Температура излучения составляет 2,728 К – практически абсолютный холод. Но вселенная в момент рождения была горячей.

### **Третье экспериментальное подтверждение теории**

Наблюдаемый химический состав Вселенной состоит приблизительно из  $\frac{3}{4}$  (по массе) водорода и  $\frac{1}{4}$  гелия (иначе не пошла бы термоядерная реакция) с небольшой (порядка 1%) примесью прочих элементов. H и He образовались в первые минуты существования Вселенной. Прочие тяжелые элементы образовались гораздо позднее внутри звёзд и попали в межзвёздное пространство в результате взрывов сверхновых.

### **Парадоксы Большого взрыва**

Воздушный шар – модель расширения Вселенной. Галактики на поверхности шара неподвижны, но поскольку Вселенная расширяется, расстояния между ними возрастают, а размеры самих галактик не увеличиваются. Таким образом, галактики не меняют расстояния между собой, но они удаляются, при этом размеры галактик остаются постоянными. Важно помнить, что эти утверждения приблизительны и не верны на 100%.

### **На что был похож Большой взрыв**



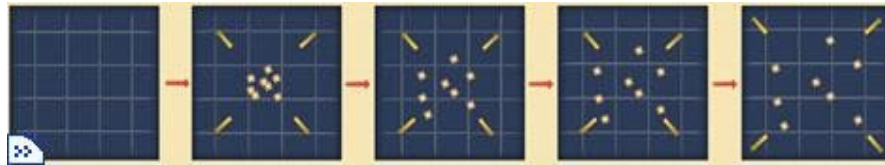


Рис. 1.14. Неверная модель Большого взрыва

На рис. 1.14 представлена неверная модель Большого взрыва. Вещество, подобно бомбе взорвалось в центре Вселенной. Давление было высоким в центре и низким в окружающей пустоте, что и вызвало разлёт вещества.

На рис. 1.15 представлена верная модель Большого взрыва. Это был взрыв самого пространства, который привёл вещество в движение – не одной точки, как считал Фридман, а всего пространства (так считается, но, возможно, это не так). Наше пространство и время возникли в Большом взрыве и пространство начало расширяться. Нигде не было центра, условия всюду были одинаковыми, никакого перепада давления не было.

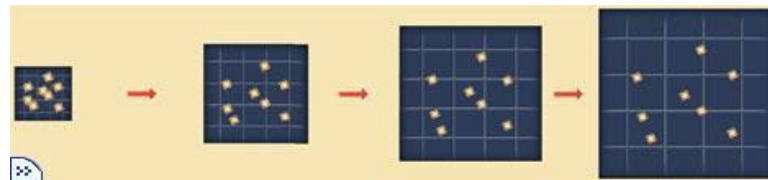


Рис. 1.15. Верная модель Большого Взрыва

### Расширяются ли объекты во Вселенной

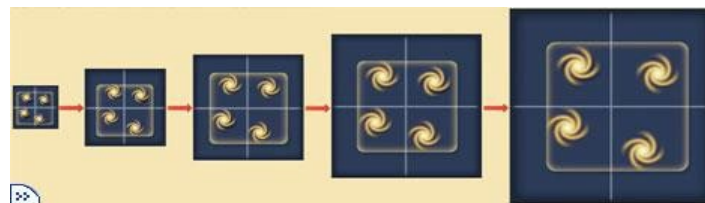


Рис. 1.16. Неверная модель расширения

На рис.1.16 представлена неверная модель расширения - расширение Вселенной не заставляет всё, находящееся в ней, увеличиваться.

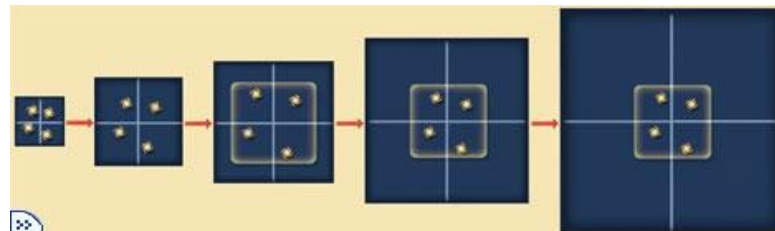


Рис. 1.17. Верная модель расширения

На рис.1.17 представлена верная модель расширения - **связанные объекты во Вселенной не расширяются, но расходятся**. Взаимное притяжение соседних галактик пересиливает расширение. Формируются скопления такого размера, которые соответствуют их равновесным состояниям. Дальние от нас галактики удаляются очень быстро, ближние – медленно.

### Могут ли галактики удаляться со скоростью выше скорости света

На рис. 1.18 представлены верная и неверная скоростные модели удаления галактик. Утверждалось, что не существует скоростей выше скорости света, но на самом деле это не так.

**Неверная:** галактики не могут удаляться со скоростью выше скорости света. Чем дальше галактика, тем выше её скорость (стрелки), но, если скорость света предел, то скорость удаления должна в итоге стать постоянной.

**Верная:** Могут. Скорость удаления бесконечно возрастает с расстоянием. Дальше некоторого расстояния (радиус Хаббла) она превышает скорость света. Это не нарушение ТО, т.к. удаление вызвано не движением в пространстве, а расширением самого пространства.

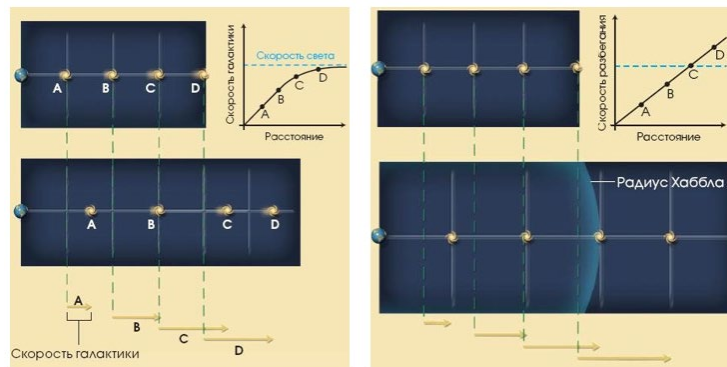


Рис. 1.18. Неверная (слева) и верная (справа) скоростные модели удаление галактик

### Размеры наблюдаемой Вселенной

На рис. 1.19 представлены верная и неверная модель размеров наблюдаемой Вселенной.

#### Вселенной

**Неверно:** Вселенной ~ 14 млрд. лет, поэтому наблюдаемая её часть должна иметь радиус ~ 14 млрд. лет.

**Верно:** Пространство расширяется, поэтому радиус наблюдаемой области составляет больше 14 млрд. лет. Пока свет летит к нам, пространство, которое он

преодолевать расширяется и расстояние до испутившей его галактики становится больше.

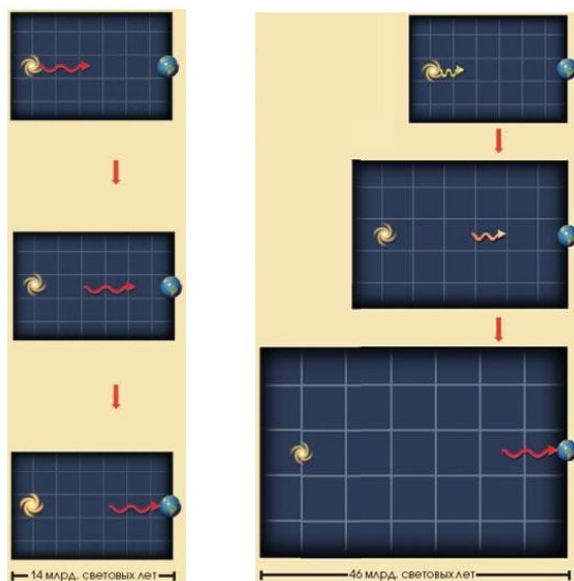


Рис. 1.19. Верная (справа) и неверная (слева) модель размеров наблюдаемой

### Будущее нашей Вселенной

На рис. 1.20 представлен один из вариантов развития событий. Вечное расширение или коллапс?

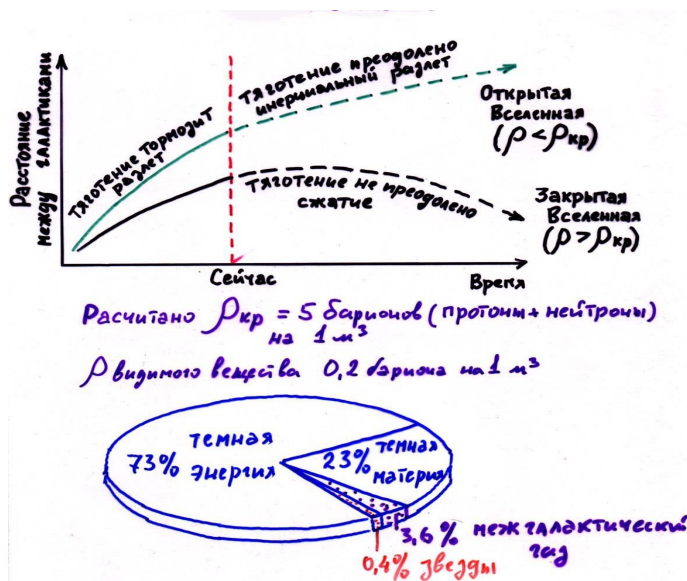


Рис. 1.20. Будущее Вселенной. Прогноз

### Резюме:

- Наша Вселенная расширяющаяся

- Наша Вселенная остывающая
- Наша Вселенная не вечна – под вопросом

### 1.7. Млечный путь. Состав Галактики

На рис. 1.21 представлена галактика Млечный путь (вид сбоку). Млечный Путь – гигантская звёздная система, одна из многочисленных галактик нашей Вселенной, включающая сотни миллионов звезд.



Рис. 1.21. Млечный путь

Все, что состоит из атомов, молекул и т.д. во Вселенной составляет лишь 4%, 73% занимает темная энергия. В настоящий момент доподлинно нельзя говорить о том, что есть темная энергия. Таким образом, состав Вселенной гораздо сложнее, чем комбинация водорода и гелия. Таким образом, бесчисленное количество частиц образует массу темной материи, мы же в настоящее время наблюдаем лишь 4%.

Галактика Млечного пути (ГМП) – спиралевидная, имеет рукава (рис. 1.22). Стрелкой на рисунке обозначено наше место во Вселенной – в одном из рукавов, рукаве Ориона.

В 3/5 расстояния от центра Галактики находится Солнце, которое совершает оборот вокруг центра ГМП за 220 ( $\pm 10\%$ ) млн. лет со скоростью 240 км/сек. Млечный Путь – спиральная галактика с перемычкой (баром) (рис. 1.23).

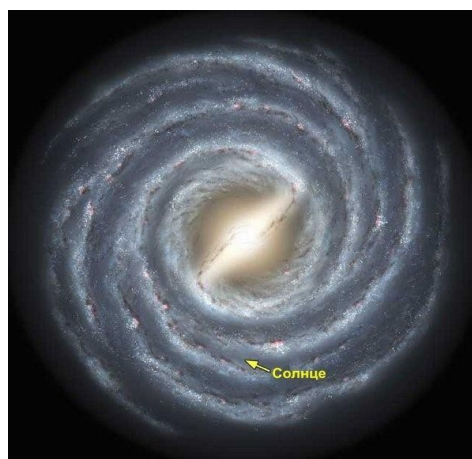


Рис. 1.22. Галактика Млечный Путь



Рис. 1.23. Бар

Вместе с галактикой Туманность Андромеды (M31) и меньшими галактиками-спутниками (~50) образует Местную группу галактик (рис. 1.24). Местная группа входит в Сверхскопление Девы.

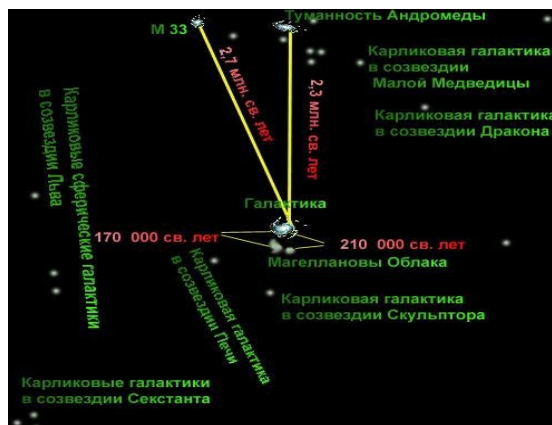


Рис. 1.24. Местная группа галактик

#### Состав Галактики:

1. Звёзды и звёздные скопления. Всего звёзд от 200 до 400 миллиардов.
2. Газовые и пылевые туманности.
3. Межзвёздный газ и межзвёздная пыль.
4. Гравитационные и магнитные поля и потоки электрически заряженных частиц (космические лучи).

#### Строение Галактики

В разрезе наша галактика составляет всего 100 тысяч световых лет. На рис. 1.25 представлен балдж – утолщение. Интересно, что в центре нашей галактики наблюдается темная полоса – есть ли в центре нашей галактики черная дыра, место поглощения всего? На данный момент это неизвестно. Старые звезды в балдже находятся с краю, молодые – ближе к центру.

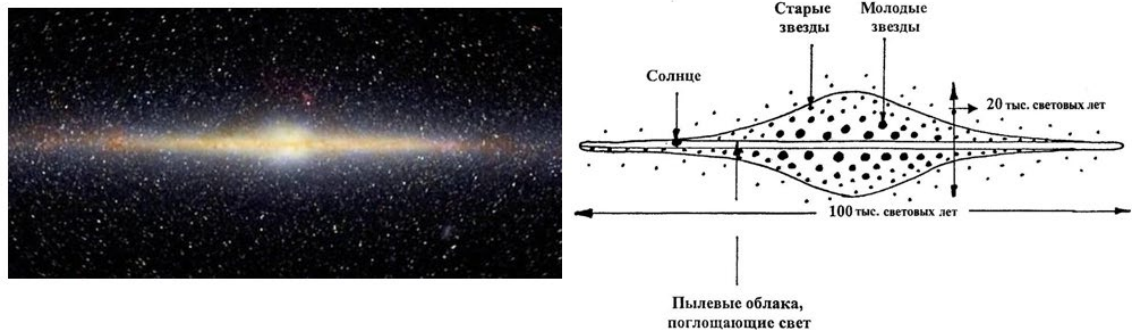


Рис. 1.25. Балдж

### Ядро и рукава

Ядро Галактики проецируется на созвездие Стрельца. В его центре, возможно, располагается массивная черная дыра, гравитационное действие которой заставляет соседние звёзды двигаться по необычным траекториям.

У Галактики должны быть спиральные рукава. Солнечная система расположена в рукаве Ориона (рис. 1.26).

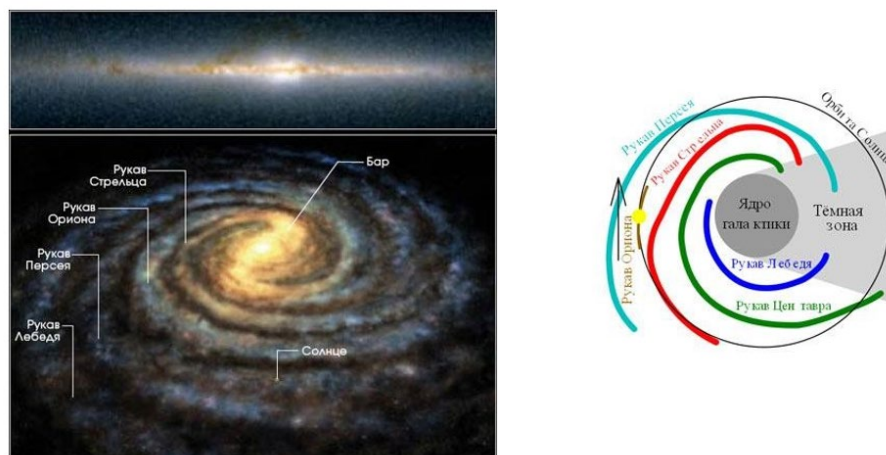


Рис. 1.26. Ядро и рукава галактики Млечный Путь

### 1.8. Солнечная система. Состав

Солнечная система (СС) состоит из Солнца и планет (рис. 1.27). Интересно, что между Юпитером – гигантской газовой планетой, и Марсом располагается Пояс астероидов (астер означает «звезда»).

Астероиды – малые тела Солнечной системы. Но астероиды бывают разные: астероид Церера в диаметре составляет 100 км.

Солнечная система	
<b>Планеты</b> ☾ = спутник(и) ∅ = кольца	<b>Меркурий</b> <b>Венера</b> <b>Земля</b> ☾ <b>Марс</b> ☾ <b>Юпитер</b> ☾ <b>Сатурн</b> ☾ <b>Уран</b> ☾ ∅ <b>Нептун</b> ☾ ∅                      ∅
	<b>Карликовые планеты</b> <b>Церера</b> <b>Плутон</b> ☾ <b>Макемаке</b> <b>Эрида</b> ☾
<b>Солнце</b> Гелиосфера Гелиопауза	<b>Астероиды (малые планеты)</b> Группы и семейства: Главный пояс астероидов · Астероиды, сближающиеся с Землей · Троянские астероиды · Кентавры · Троянцы Нептуна · Спутники астероидов · Метеороиды
<b>Малые тела Солнечной системы</b>	<b>Транс-нептуновые объекты</b> Пояс Койпера: <i>Цдутина</i> : Орк · Иксион · <i>Кьюбигано</i> : 2002 UX <sub>25</sub> · Варуна · 1992 QB <sub>1</sub> · 2002 TX <sub>300</sub> · 2003 EL <sub>61</sub> · Квавар · 2002 AW <sub>197</sub> Рассеянный диск: 2002 TC <sub>302</sub> · 2004 XR <sub>190</sub> · Седна
	<b>Кометы</b> Списки короткопериодических и долгопериодических комет · Дамоклоиды · Облако Оорта

Рис. 1.27. Состав Солнечной системы

### Строение Солнечной системы

На рис. 1.28 представлено строение Солнечной системы. Ближе всего к Солнцу расположен Меркурий, затем Венера, Земля, похожая на Венеру, Марс и Луна. Затем располагается Пояс астероидов, вращающийся между Юпитером и Марсом – обломки каких-либо космических тел. Была идея о том, что ранее существовала еще одной планета, имевшая имя Фэтон. Эта планета под огромным гравитационным действием Юпитера взорвалась, от чего образовались обломки.

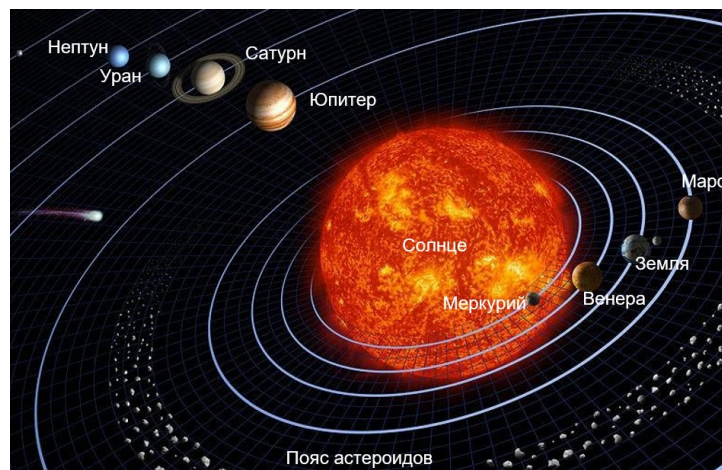


Рис. 1.28. Строение Солнечной системы

На рис. 1.29 представлен Пояс Койпера. Можно наблюдать орбиту Плутона, где располагается его спутник – Харон. Орбита Плутона отличается от орбит всех остальных планет – по этой причине его исключили из списка планет.

На рис. 1.30 представлено облако Оорта (50 000 – 100 000 а.е.). Вокруг Земли, выше орбит последних планет, расположено еще два пояса – Пояс Койпера и Облако Оорта (два облака). Облака состоят из ледяных ядер комет.

Таким образом, наблюдается следующая последовательность: последняя планета – пояс Койпера – одно и другое Облако Оорта. В ядра комет включено бесчисленное множество обломков.

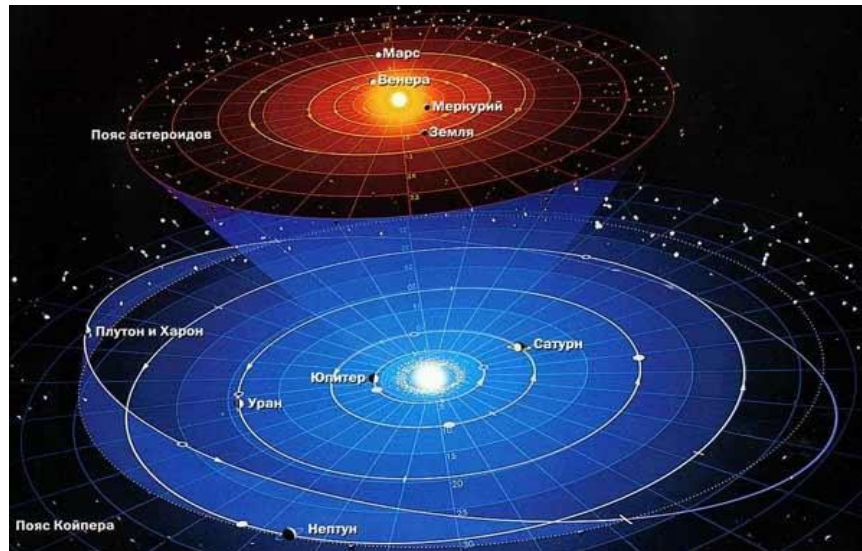


Рис. 1.29. Пояс Койпера (>30-55а.е.)

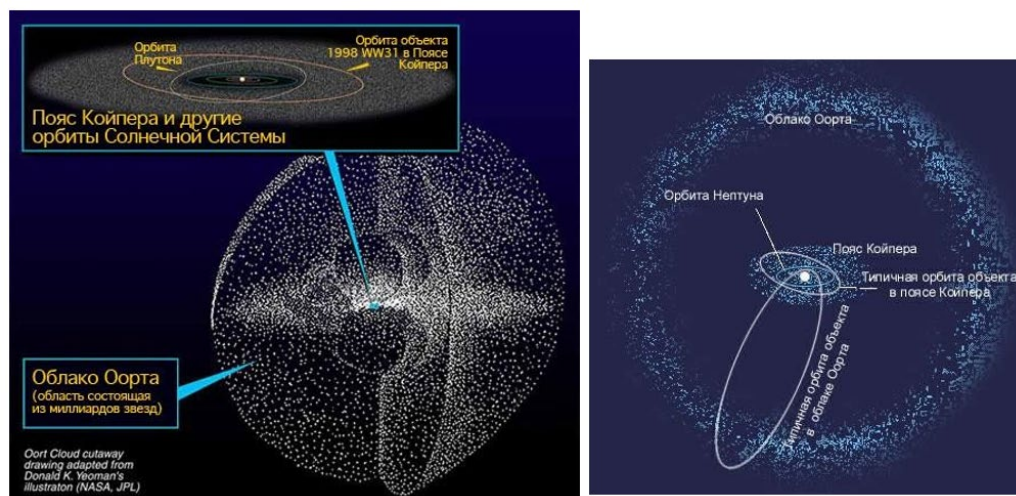


Рис. 1.30. Облако Оорта

### Размеры Солнечной системы:

- до орбиты Нептуна – 30 а.е.
- до орбиты Плутона – 40 а.е.



- до внешней границы пояса Койпера ~ 55 а.е.
- до внешней границы облака Оорта ~ 100 000 а.е.

### 1.9. Солнце

Солнце - центральная и единственная звезда Солнечной системы. Масса Солнца составляет приблизительно 99,8% массы всей С.С. Солнце состоит из Н (~ 73%), He (~ 25%), на долю других 67 химических элементов приходится ~ 2% от массы.

По спектральной классификации Солнце относится к типу G2V (желтый карлик). Источник энергии Солнца - термоядерный синтез He из H.

Солнце вращается вокруг центра Галактики, делая один оборот за 200-250 млн. лет.  $V \approx 220$  км/с.

#### Строение Солнца

Солнце, как и Земля, имеет сферы (рис. 1.31):

- Атмосфера Солнца
- Корона – самая внешний слой атмосферы. Граница – вся Солнечная система
- Хромосфера – внешняя оболочка толщиной ~ 10 000 – 15 000 км
- Фотосфера – слой, испускающий свет, толщина 200-300 км
- Самая внутренняя часть – ядро; в ней скапливается отработанный водород: водород превращается в гелий, происходит термоядерная реакция, и образуется зона радиации. Считается, что в настоящее время израсходовано не более 5 процентов водорода.

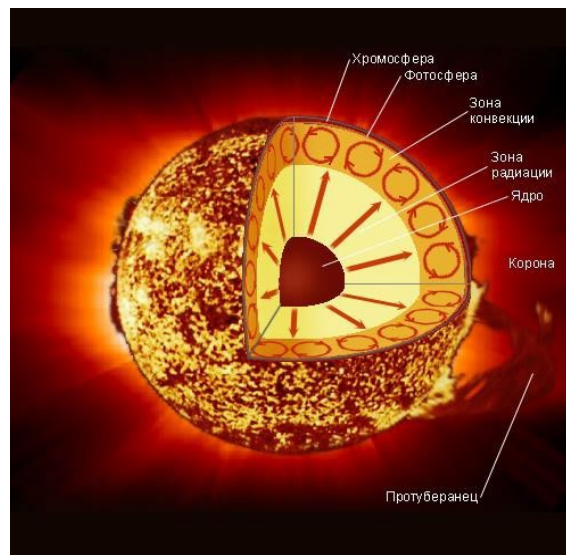


Рис. 1.31. Строение Солнца

## Корона

Корона Солнца представляет собой выброс плазмы из Солнца. Выброс происходит в виде корональных арок или корональных факелов (рис. 1.32). Вся поверхность Солнца вибрирует из-за проходящих внутри ядерных реакций: протоны превращаются в гелий, поскольку гелий по массе меньше, выделяется огромное количество энергии ( $E = mc^2$ ).

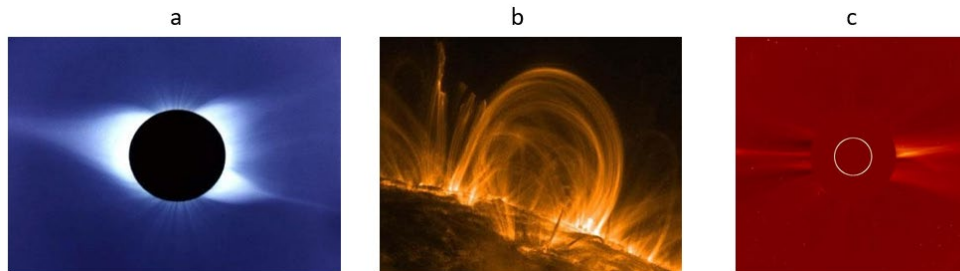


Рис. 1.32. Корона солнца. Корона во время полного затмения. Корональная арка.

Солнечный ветер – поток ионизированных частиц (плазмы), в основном протонов, электронов и  $\alpha$ -частиц, имеющий скорость 300-1200 км/с. Ионизированные частицы достигают Земли. Сильные взрывы на Солнце вызывают различные события в магнитном поле Земли.

## Хромосфера

Видимая через телескоп оболочка солнца (верхняя часть) - называется хромосферой (рис. 1.33). Хромосфера состоит из мелькающих частиц – магнитных полей неравномерного распределения силы, из-за чего происходит мерцание хромосферы. Основной элемент структуры – спикулы, вытянутые, наклонно торчащие струи газа.



Рис. 1.33. Хромосфера

## Фотосфера

Фотосфера располагается в верхней части. Это видимая поверхность Солнца, основной источник света и тепла. Средняя  $T$ - 5800 К. По фотосфере определяют размеры Солнца.

Фотосфера имеет гранулированную структуру за счет светлых горячих конвективных ячеек. Наблюдаются области пониженной  $T$  (до 1500К) – солнечные пятна. Из фотосферы вырываются огромные **протуберанцы**, которые выстреливают и падают обратно (рис. 1.34).

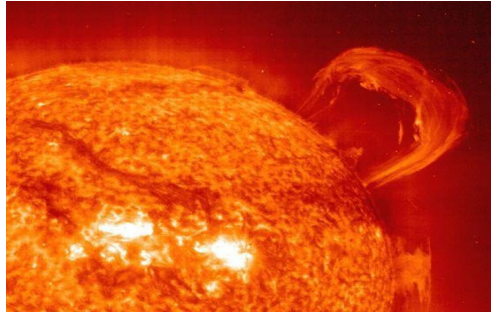


Рис. 1.34. Зарождение протуберанцев

### Внутреннее строение Солнца (рис. 1.35):

1. Зона конвекции до глубины ~200 тыс. км. Зона переноса энергии к поверхности за счёт вихревого перемещения плазмы.  $T \sim 2$  млн. К.
2. Зона радиации – зона переноса энергии с помощью переизлучения фотонов.  $T \sim 10$  млн.К.
3. Ядро – центральная часть радиусом ~ 150 тыс. км, где идут термоядерные реакции.  $T > 14$  млн.К.

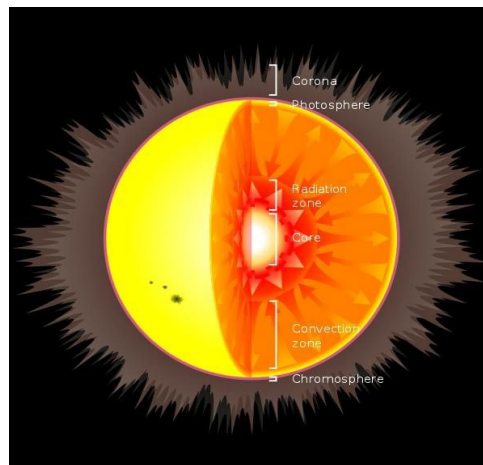


Рис. 1.35. Внутреннее строение Солнца

### Будущее Солнца

На рис. 1.36 представлен жизненный цикл Солнца. Изначально существовала газо-пылевая туманность, в одном из рукавов возникло газо-пылевое облако, которое начало сжиматься и вращаться. В центре облака возникло Солнце.

Солнце существует 5 млрд. лет, есть различные гипотезы о том, как Солнце будет развиваться дальше. Один из вариантов – Солнце, исчерпав водород, начнет раздуваться в гораздо более горячий красный гигант. Далее красный гигант краями поглотит Меркурий, Венеру и Землю. Затем красный гигант превратится в белый карлик.

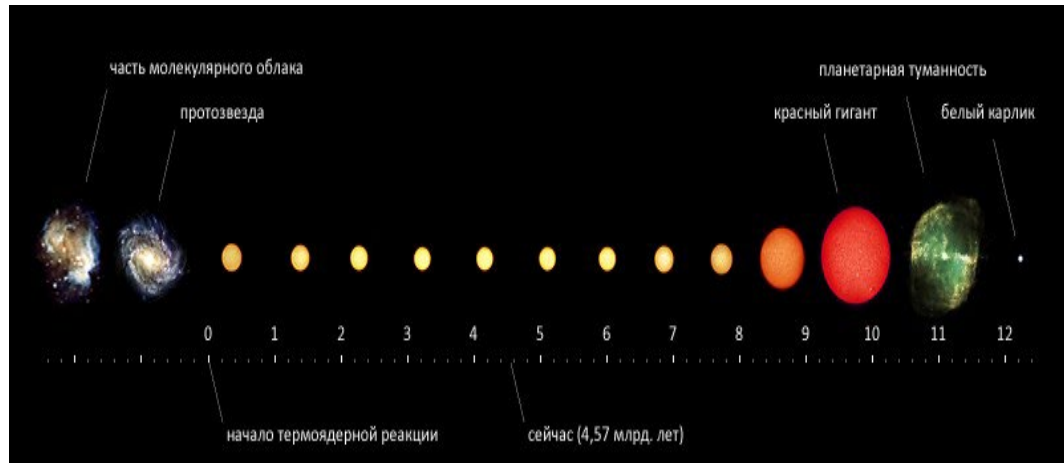


Рис. 1.36. Жизненный цикл Солнца

### Сравнительные размеры планет

Представлены на рис. 1.37. По размеру Венера очень похожа на Землю, Меркурий очень маленький, к гигантам относятся Юпитер и Сатурн.

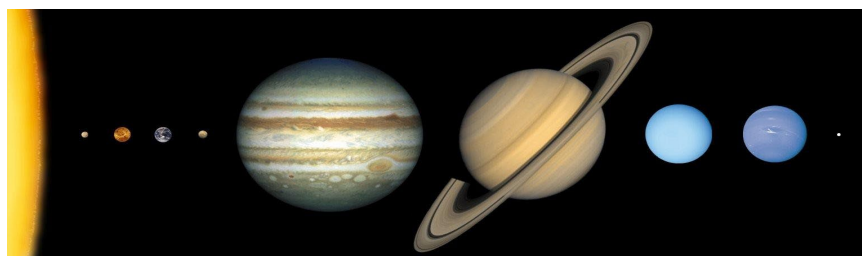


Рис. 1.37. Сравнительные размеры планет

### Внутренние планеты или планеты земной группы

К планетам земной группы относятся Меркурий, Венера, Земля, Марс. Меркурий, Венера, Земля и Марс имеют разное внутреннее строение (рис. 1.38).

Все планеты имеют различные оболочки – сферы. В самом общем случае это ядро, мантия. Например, в Земле внутреннее ядро окружено внешним ядром, затем через границу находится мантия и земная кора (рис. 1.38). Другой пример – Марс, считается, что он построен более просто, но вся информация, которая есть у человека, основана на сейсмических данных.

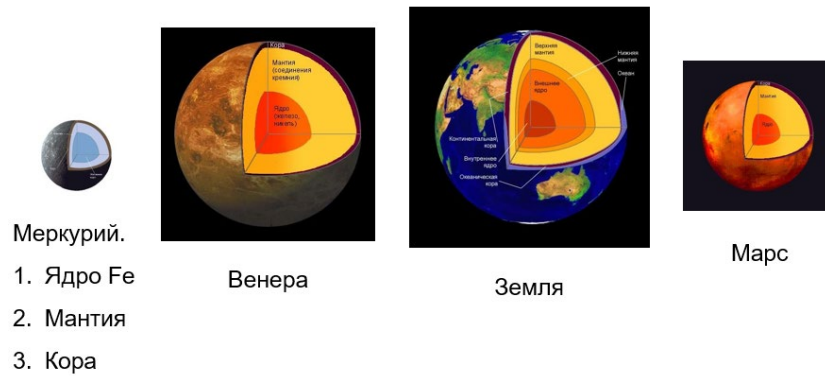


Рис. 1.38. Внутреннее строение планет земной группы

### Внешние планеты, планеты – гиганты

Внешние планеты являются газовыми (рис. 1.39). Предполагается, что в планетах-гигантах тоже концентрическое строение (1.40). Возможно, их ядра сложены силикатами – на данный момент это неизвестно. Также предполагается, что в ядрах планет-гигантов есть жидкий молекулярный водород, металлический водород, лед воды, аммиак, метан.

Влияние внешних планет на планеты Земной группы огромно за счет массы внешних планет.

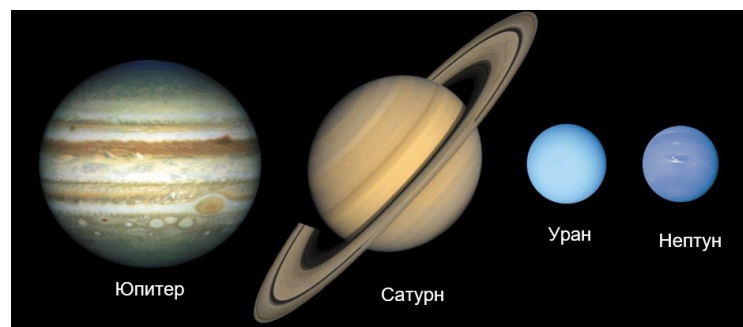


Рис. 1.39. Сравнительные размеры внешних планет

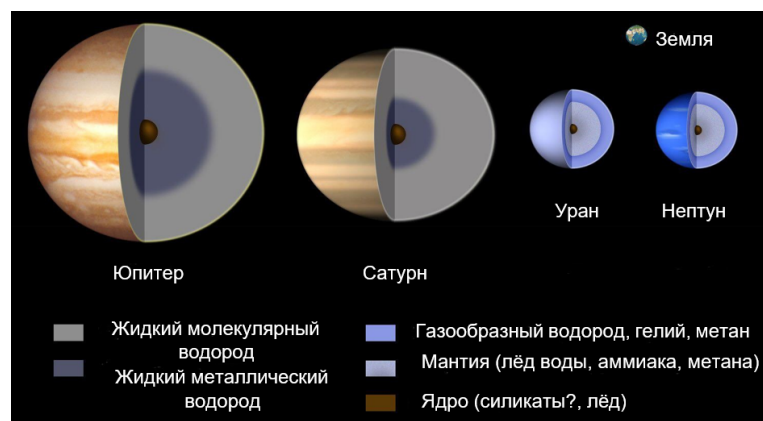


Рис. 1.40. Внутреннее строение планет-гигантов

Есть и карликовые планеты, которые кружатся за орбитой Плутона (рис. 1.41). Таких планет очень много (рис. 1.42). Такие планеты называют транснептуновыми объектами (ТНО).



Рис. 1.41. Карликовые планеты

Примером карликовой планеты является Церера:

- Орбита лежит между Марсом и Юпитером в поясе астероидов.
- Форма – сфероид размером 975x909 км.
- Масса в 6000 раз меньше массы Земли



Рис. 1.42. Крупнейшие из известных транснептуновых объектов (ТНО)

Между Юпитером и Марсом в космическом пространстве кружится огромное количество обломков – **астероидов** (рис.1.43). В переводе с греческого «астер» означает «звезда».

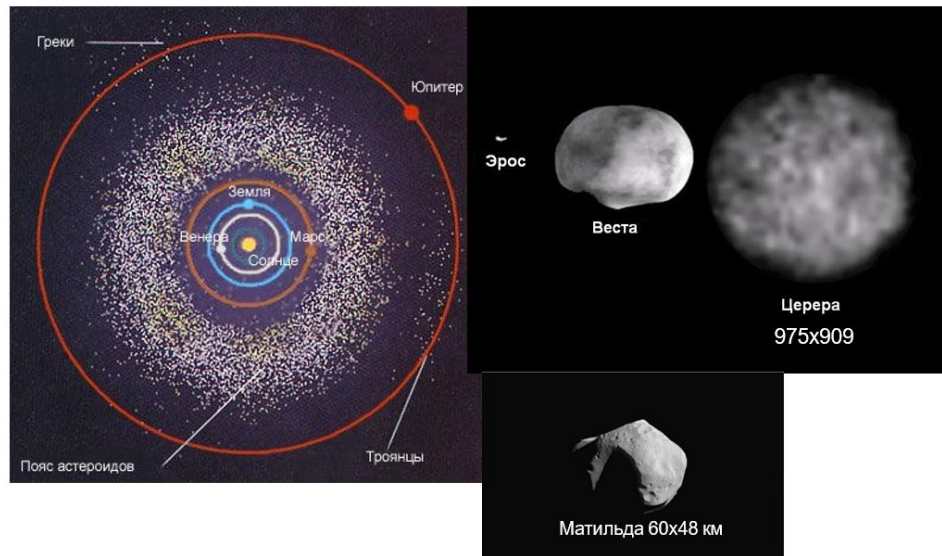


Рис. 1.43. Астероиды – малые планеты

В Солнечной системе насчитывается десятки тысяч астероидов. След от падения астероида на Землю называется **астроблема** (метеоритный кратер).

Астероиды могут являться малыми планетами (Церера), а могут иметь небольшие размеры – например, Эрос и Веста, или быть совсем маленькими.

Было предположение, что пояс из обломков (астероидов) возник благодаря десятой планете (Фаэтону), распавшейся под действием мощной гравитации Юпитера. Другое предположение – астероиды захвачены из того же газопылевого облака, из которого сформировалось все остальные планеты.

### Кометы – хвостатые звёзды

Помимо астероидов, которые могут упасть на Землю, есть кометы. Строение кометы:

- Ядро – твёрдые частицы и лёд.
- Кома – оболочка из газа и пыли.
- Хвост – смесь разреженного газа и пыли.

Хвост кометы всегда направлен в сторону от Солнца – Солнце сдувает частицы комет (рис. 1.44). Как правило, кометы представляют собой ледяные сгустки. Кометы меняют свои орбиты, сталкиваются, меняют орбиты под воздействием других планет, кружатся вокруг Солнца.

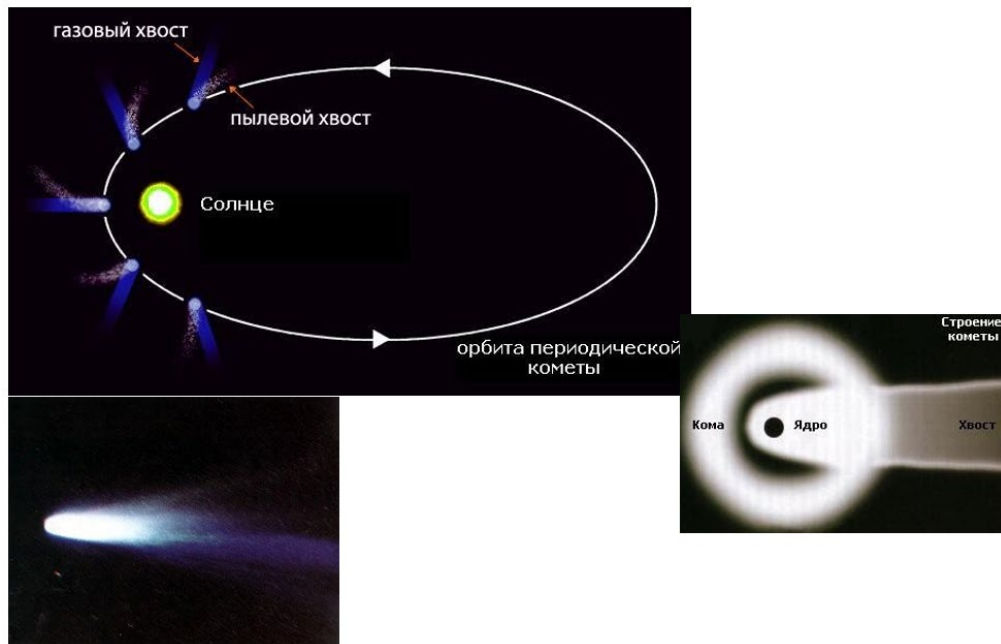


Рис. 1.44. Комета Галлея 12 марта 1986 года

### Происхождение Солнечной системы

В движении Солнца, планет и их спутников, малых тел Солнечной системы наблюдается замечательное сходство:

- Все планеты вращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам с запада на восток почти в одной плоскости, совпадающей с солнечным экватором.
- Солнце также медленно вращается с запада на восток.
- Все планеты (кроме Венеры и Урана) вращаются вокруг своей оси в том же направлении, в котором они вращаются вокруг Солнца.
- Почти все спутники планет вращаются по орбитам в том же направлении, что и планеты вокруг своих осей.

Согласованность движения практически всех тел в Солнечной системе указывает на их общее происхождение.

Предполагается, что в одном из рукавов галактики произошел какой-то местный взрыв - образование сверхновой звезды. Сверхновая начала вращаться, момент количества движения в центре больше – в центре образовался сгусток. Сгусток превратился в Солнце, в нем началась ядерная реакция – возникла звезда.



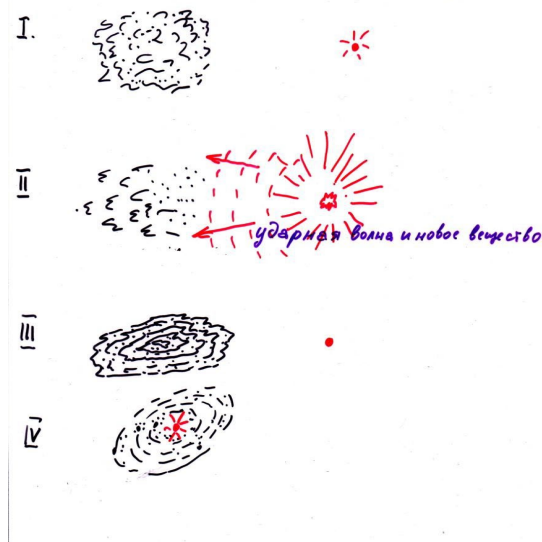


Рис. 1.45. Этапы эволюции протосолнечного газопылевого облака (по Руднику и Собоновичу).

Этапы эволюции протосолнечного газопылевого облака (по Руднику и Собоновичу) (рис. 1.45):

- I. Первоначальная протосолнечная газопылевая туманность и звезда, впоследствии сверхновая (> 4,7 млрд лет).
- II. Туманность попала в сферу действия сверхновой (4,7 млрд. лет).

В выведенной из равновесия туманности начинаются процессы упорядочения, аккреции вещества туманности и конденсации вещества сверхновой.

IV. Центральное сгущение превратилось в Солнце, началось формирование планет (4,6-4,5 млрд. лет).

#### **Итог:**

- Большой взрыв создал нашу Вселенную и водород.
- Водород создал звёзды.
- Звёзды в процессе своей эволюции создали все остальные химические элементы.
- Химические элементы несут жизнь.
- Взрыв, гибель звезды создаёт жизнь.
- Гибель одной из сверхновых создала жизнь на Земле.
- Все мы дети звёзд!

## Лекция 2. Земля в космическом пространстве. Продолжение

### 2.1. Луна

Все небесные тела в основном называются греческими именами, но не Луна. Слово «Луна» - праславянская форма; Luna, Louksna – светлая; Luna - латинское слово, Selena - греческое слово, Иях (Ях) - египетское слово. Влияние Луны на Землю очень велико.

#### Происхождение Луны

Вся поверхность Луны испещрена кратерами – следами падения метеоритов разного размера. В каждом кратере обычно наблюдается центральная горка.

Лунная поверхность покрыта рыхлым материалом, называемым **реголитом**. Реголит – лунный грунт. По возвращению космической миссии с Луны был привезен образец – 300 грамм лунного грунта. Он хранился в Институте геохимии на Ленинских горах. Геолог, изучающий Луну, называется **селенолог**.

Одна из важнейших проблем, нерешенная до сих пор – образование и развитие Луны.

500 млн лет назад (Кембрий по геологической шкале) Луна была ближе к Земле и сутки составляли 20 часов.

Существует несколько вариантов образования Луны. Первый – она образовалась из того же облака вещества (планетезималей), что и Земля.

Вторая версия – уже сформированная Луна была захвачена притяжением Земли и осталась на орбите.

Третий вариант – Луна отделилась от Земли при ее быстром вращении. Для того, чтобы такое произошло, Земля должна совершать полный оборот не за 24 часа, а за 2 часа – такого быть не может.

Четвертая версия – Луна выбита из Земли за счет удара тела размером с Марс. Эту предполагаемую планету назвали Тейя (рис. 2.1).

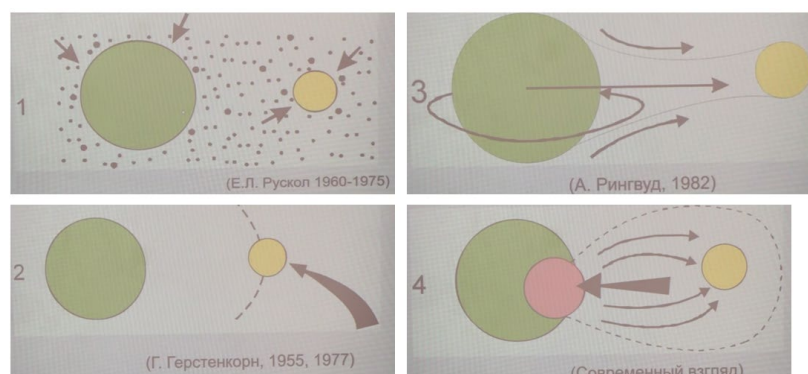


Рис. 2.1. Образование Луны

## Строение Луны

Строение Луны приведено на рис. 2.2. Строение Луны известно по сейсмическим данным. Синими точками на рисунке изображены следы землетрясений, обращенных к Земле.

На сегодняшний день в объяснении нуждаются два вопроса:

- Резкое обеднение железом ( $\text{FeO}$  13-14%) по сравнению с содержанием железа в Земле ( $\text{FeO}$  47%)
- Полная потеря свинца (судя по изотопным соотношениям)

Не известно, как это объяснить, если исходить из соображения, что Луна отделилась от Земли.



Рис. 2.2. Строение Луны

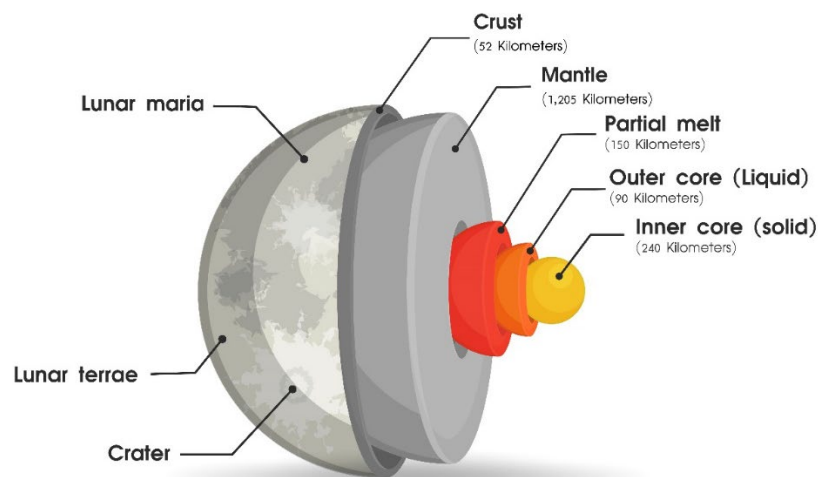


Рис. 2.3. Внутреннее строение Луны

На рис. 2.3 также приведено внутреннее строение Луны. Она состоит из внутреннего и внешнего ядра, частичный расплав, мантия и кора. Но поверхности наблюдаются лунные моря – огромные базальтовые равнины. По строению Луна похожа на Землю.

На рис. 2.4 представлены лунные кратеры. В больших кратерах всегда наблюдается горка – так же, как и в земных кратерах.



Рис. 2.4. Лунные кратеры

## 2.2. Метеориты и астероиды

Снимок, представленный на рис. 2.5, сделан несколько лет назад, когда над Челябинском рано утром пролетел метеорит.

На рис. 2.5 представлено, как на высоте в несколько километров Челябинский метеорит взорвался.

На льду озера Чебаркуль (рис. 2.6) образовалась воронка-озеро. Внутри кратера нашли обломки метеорита. Характерно, что с поверхности обломки метеорита были оплавлены (рис. 2.7).

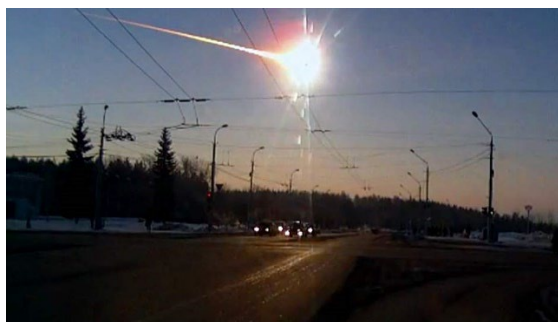


Рис. 2.5. Падение Челябинского метеорита



Рис. 2.6. След метеорита на озере Чебаркуль



Рис. 2.7. Оплавленный обломок Челябинского метеорита

След от падения метеорита называется **астроблемой**. На рис. 2.8 приведена карта распространения на Земле. Таких карт очень много и им нельзя верить на 100%, поскольку на них изображено только те следы метеоритов, которые нашли.

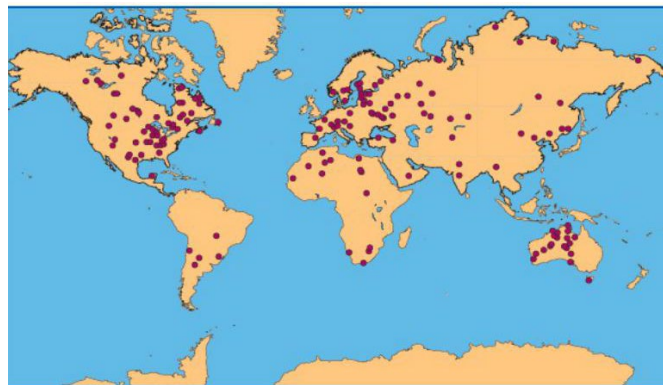


Рис. 2.8. Карта распространения астроблем на Земле

На рис. 2.9 представлены орбиты некоторых астероидов, пересекающие орбиту Земли. Орбита Земли представлена красной пунктирной линией, Солнце – желтым пятном в центре.

Тысячи траекторий астероидов, возможно, опасных для Земли, пересекает ее орбиту – падение обломка диаметром, например, 10 км приведет к концу света.

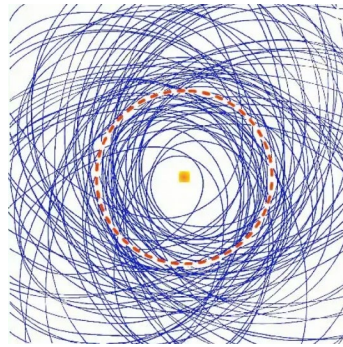


Рис. 2.9. Орбиты некоторых астероидов, пересекающих орбиту Земли

На рис. 2.10 изображено падение Сихотэ-Алинского метеорита в 1947 году. Железный метеорит, упав, взорвался над поверхностью Земли.



Рис. 2.10. Падение Сихотэ-Алинского метеорита (1947). Рисунок очевидца

На рис. 2.11 изображена схема строения Болтышского кратера в Украине. Размер кратера составляет несколько километров в диаметре, в центре можно видеть горку.

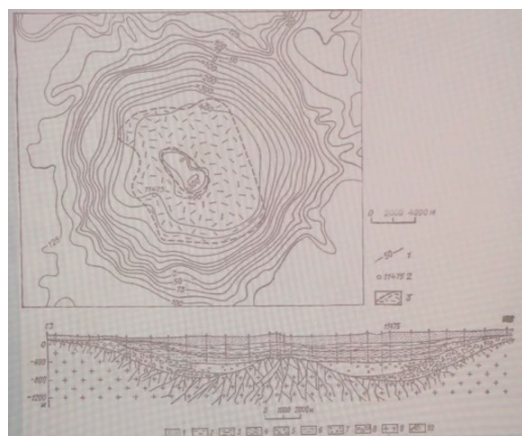


Рис. 2.11. Схема строения Болтышского кратера (Украина)

На рис. 2.12 представлен Аризонский кратер, упавший несколько тысяч лет назад. Характерна бровка, окружающая кратер.



Рис. 2.12. Аризонский кратер

На рис. 2.13 представлен разрез метеоритного кратера Метеор диаметром 1 км. В центре разреза представлена **брекчия** – раздробленная порода. Брекчия может иметь совершенно разное происхождение.

Все раздробленные породы при падении метеорита называются **импактитами** – ударные породы.

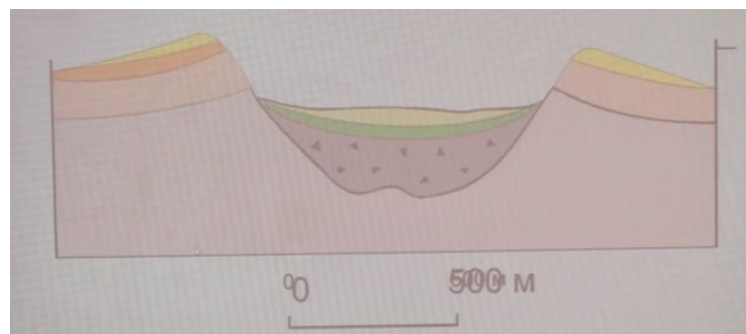


Рис. 2.13. Метеоритный кратер в штате Аризона, США

На рис. 2.14 приведен железный метеорит Гоба, упавший в Намибии. Вес метеорита составляет 60 тонн. Примечательно, что при падении под метеоритом не образовалось кратера, как будто он был спущен на парашюте.



Рис. 2.14. Железный метеорит Гоба

### 2.3. Кратеры

На рис. 2.15 изображен Попигайский кратер. Кратер назван по имени реки Попигай, протекающий в Восточной Сибири на северной части Анабарского массива. В Восточной Сибири залегают *триасовые вулканы* – *траппы*. Анабарский массив сложен докембрийскими кристаллическими массивами. На севере Анабарского массива наблюдается желтое пятно – Попигайский кратер. Диаметр кратера составляет около 100 км.

На рис. 2.16 можно видеть верхнюю коричневую часть кратера и нижнюю белую – вместе эти породы являются импактитами – результатом удара крупного метеорита.

Коричневая часть кратера называется тагомитами. **Тагомиты** - обломки вулканического стекла, лава-брекчия, но не в привычном нам жидком виде, а раздробленная. Белая часть пород называется **зювитами**.

Тагомиты и зювиты – два типа импактитов. На рис. 2.17 представлена шапка тагомитов на Попигайском кратере. На рисунке видно отчетливое разделение верхней части тагомитов и нижней зювитов.

При падении метеорита произошел взрыв, за чем последовал удар – создалось давление в огромное количество атмосфер, породы расплавились. При этом тагомиты обнаруживаются за кратером на десятки километров.

Раньше Попигайский кратер не описывали, как след метеорита – предполагалось, что это вулкан, поскольку была обнаружена вулканическая брекчия.





Рис. 2.15. Попигайский кратер



Рис. 2.16. Попигайский кратер



Рис. 2.17. Шапка тагомитов, Попигайский кратер

Наибольший интерес вызвал тот факт, что при изучении кратера было обнаружено огромное количество плоских размером с 1 миллиметр алмазов. Алмазы образовались по причине того, что выступ докембрийских пород, на который упал

метеорит, оказался сложен графитовыми сланцами (доклад Н.В. Короновского «Алмаз-графит»).

Все дело в том, что алмаз и графит представляют собой один и тот же элемент, но с разной кристаллической решеткой. Таким образом, они отличаются по свойствам – твердость графита 1, а у алмаза – 10 по шкале Мооса. Алмаз – самый твердый элемент. При изучении стало ясно, что на Попигайском кратере алмазы неювелирные и технически их тоже использовать нельзя.

Всего насчитывается около 800 астроблем – метеориты падают в разные части мира, в том числе в океан, что значительно усложняет обнаружение кратеров. На Попигайском кратере при ударе образовались алмазы, возможно, при ударе о какой-то другой тип пород образовались другие породы.

На рис. 2.18 изображен кратер Чиксалуб в Мексике. Чиксалуб образовался около 35 миллионов лет назад на полуострове Юкатан. Часть кратера расположена на полуострове, часть – в Мексиканском заливе (рис. 2.19).

В Мексиканском заливе пробурили нефтяную глубоководную скважину (рис. 2.20). На глубине 65 м находятся нетронутые осадки Мексиканского залива, выше – момент удара метеорита, далее – следы удара и последствия импактного события.

Возраст метеорита – 65 миллионов лет, что является границей в стратиграфической шкале между мелом и палеогеном. На этом рубеже произошло вымирание биоты. В это время вымерло 75% биоты. Поскольку метеорит упал на этом рубеже, и его размеры составляли около 10 км, существует мнение, что вымирание – следствие его падения, об этом ведутся споры. В США к этому уровню приурочены углистые прослои.

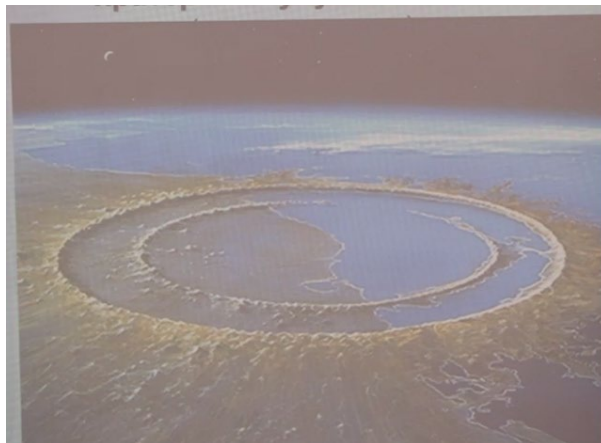


Рис. 2.18. Кратер Чиксалуб в Мексике

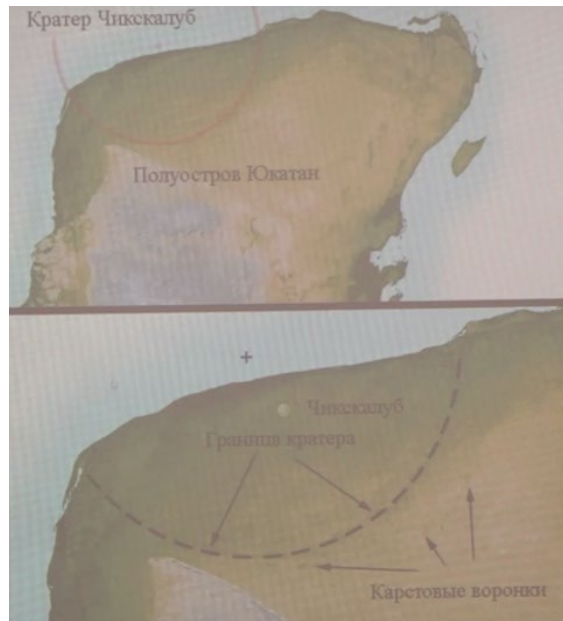


Рис. 2.19. Расположение кратера Чикскалуб

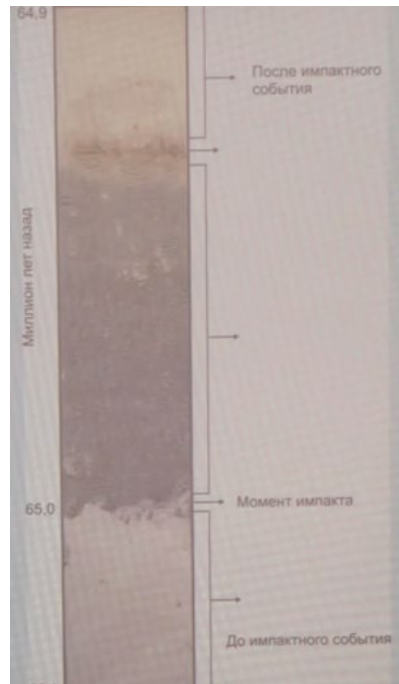


Рис. 2.20. Глубоководная скважина в Мексиканском заливе

#### 2.4. Кометы. Тунгусский «метеорит»

В 1908 году на Землю упал Тунгусский «метеорит». Утром в Иркутске наблюдали его след – огненный шар и черный дым. «Метеорит» пронесся от Иркутска на запад, и в районе реки Подкаменной Тунгуски взорвался.

К месту падения люди проникли только в 1925 году. Экспедиция, которую возглавлял геолог-астроном Кулик Л.А., обнаружила, что на огромной площади,

занимающей сотни квадратных километров, все деревья были сбиты по радиусу падения (рис. 2.21).

На рис. 2.22 изображено озеро, находящееся недалеко от места падения Тунгусского «метеорита». Существует предположение, что это его кратер. Но при изучении озера водолазами ни одного обломка метеорита найдено не было.

На рис. 2.23 приведен срез дерева, сохранившегося в области падения. Южнее синей цифры показаны кольцевые срезы дерева до падения метеорита в 1908 году, севернее – после падения. Можно видеть, как после падения кольца расширились. Это произошло из-за того, что после падения большей части деревьев оставшейся растительности стало поступать больше Солнца. Это одно из доказательств падения метеорита. Кроме того, в кольцах, что находят чуть выше синей цифры, по результатам микроанализа были обнаружены кусочки космического вещества, что были включены после удара.

Интересно, что при падении был взрыв, но не было пожара, обломки метеорита найдены не были – возможно, это был не метеорит? Есть версия, что произошел взрыв части или всей ледяной кометы, нагретой в нижних слоях атмосферы.

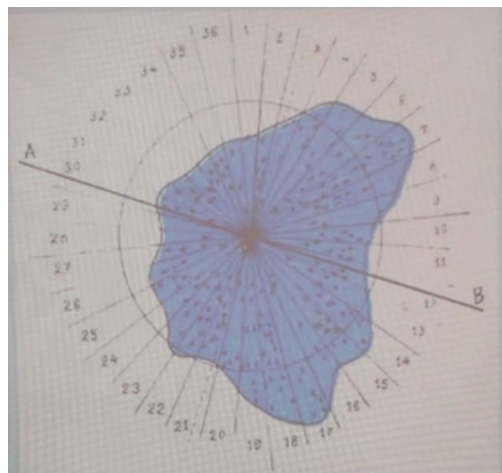


Рис. 2.21. Радиус падения метеорита



Рис. 2.22. Предполагаемый кратер Тунгусского «метеорита»



Рис. 2.23. Срез ствола лиственницы, пережившей падение метеорита

### 2.5. Два слова о внутреннем строении Земли (тема следующей лекции)

120 лет назад о Земле практически ничего не было известно. Сначала было открыто ядро, затем – земная кора и границу Мохоровичича, далее – внутренне ядро. Позже сделали общую модель Земли и открыли границу между внутреннем ядром и мантией. Далее открыли астеносферу. Каждый слой Земли очень подробно изучается, особенно внутренне ядро. Каждый год под влиянием Луны внутреннее ядро смещается на несколько миллиметров (рис. 2.24).

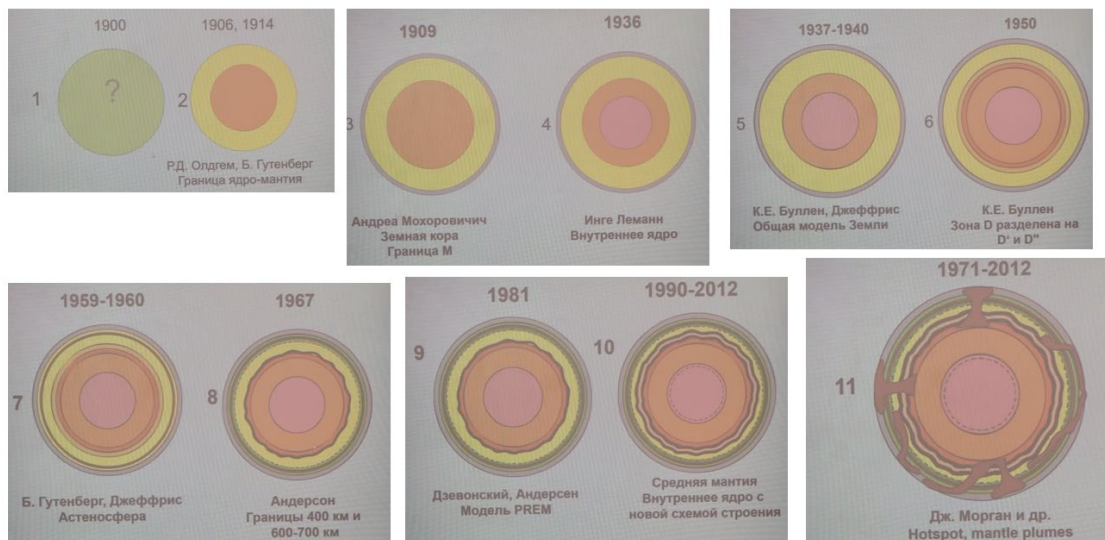


Рис. 2.24. Внутреннее строение Земли

## **Лекция 3. Форма, строение, состав Земли. Физические свойства глубинного вещества Земли. Естественные физические поля**

### **3.1. Образование Солнечной системы**

Предполагается, что Солнечная система образовалась следующим образом. На газопылевое облако воздействовал взрыв сверхновой звезды. Следствием этого явилось то, что облако начало вращаться, закручиваться и уплощаться. Чем больше облако уплощалось, тем сильнее оно закручивалось. Момент количества движения бы больше по краям, в центре была масса.

Солнце зажглось, когда температура достигла таких значений, что началась термоядерная реакция. Затем образовались планеты Солнечной системы – внутренние твердые и внешние газовые.

С точки зрения космонавтики, этот процесс прошел достаточно быстро – считается, что он завершился за 500 миллионов лет.

На данный момент не ясно, из чего состояло облако. Метеориты, которые падают на Землю, очень часто являются углистыми хондритами. **Хондра** – маленькое включение размером меньше миллиметра. Оно состоит из разных минералов – в том числе, углеродистых и угольных минералов. Не очень ясно, откуда они взялись и как образовались.

Предполагается, что из углистых хондритов образовалась Земля и другие планеты.

### **3.2. Земля**

На рис. 2.27 (Лекция 2) показано поэтапное образование Земли. Исследование Земли различными методами началось недавно – всего 100-120 лет назад. Главным методом исследования является сейсмический метод.

Когда в конце позапрошлого века были выяснены прохождения волн в пределах определенной части Земли, также было выяснено, что в Земле есть разделы (сферы), отличающиеся по свойствам.

Р.Д Олдгемом и Б. Гутенбергом было определено наличие границы между ядром и мантией. Андреа Мохоровичич определил границу земной коры (граница М). На рис. 2.27 (3) белым обозначена земная кора, желтым – мантия, оранжевым – ядро.

В 1936 г. геофизиня Инге Леманн определила наличие внутреннего ядра (рис. 2.27 (4)). Далее была создана общая модель Земли – более сложная. В 50-х годах К. Е. Булленым была выделена зона на границе внешнего ядра и мантии, называемая D Double Prime (D2-1).

В 1959 – 1960 Б. Гутенберг и Джеффрис выделили еще один слой – астеносфера. Астеносфера находится под земной корой в мантии. «Астенос» означает «слабый» - этот

слой нерасплавленный, твердый, но пластичный, в нем могут происходить движения. Именно по астеносфере могут плыть континенты.

В 1967 году Андерсоном были выделены границы 400 км и 600-700 км. Граница по верхней мантии проходит на глубине 660 км. Раздел 400 км является сейсмическим разделом.

В 1981 году Дзевонским и Андерсоном была создана общая модель Земли PREM. На рис. 2.27 на границе ядра и мантии можно видеть черный волнистый слой – слой D Double Prime.

В 2012 году была выделена средняя мантия и внутреннее ядро с новой схемой строения.

Таблица 2.1. Физические характеристики Земли

Экваториальный радиус Земли	6378,160 км
Полярный радиус Земли	6356,777 км
Сжатие земного эллипсоида	1:298,25
Средний радиус Земли	6371,032 км
Длина меридиана Земли	40008,550 км
Длина экватора Земли	40075,696 км
Площадь поверхности Земли	$510,2 \times 10^6 \text{ км}^2$
Площадь поверхности суши	$149 \times 10^6 \text{ км}^2$
Объем Земли	$1,083 \times 10^{12} \text{ км}^3$
Масса Земли	$5,976 \times 10^{24} \text{ кг}$
Средняя плотность Земли	$5,518 \text{ г/см}^3$

В таблице 2.1 приведены физические характеристики Земли. Необходимо знать плотность Земли.

### 3.3. Представления о Земле в древности. История изучения

На слайде 9 Лекции 3 показано, как строение Земли представляли древние египтяне. Синем изображена ночь, по ночи плывет кораблю – Солнце. На слайде 10 изображено представление древних индийцев.

### 3.4. Форма Земли. Геоид

Но уже за 500 с лишним лет до н.э. признавали, что Земля имеет форму шара и умели ее измерять. Эратосфен Киренский ввел термин «География» и создал 3 книги по географии. На слайде 12 изображена его карта, созданная 2500 лет назад.

В 240-230 годах до н.э. провели эксперимент по измерению длины меридиана (слайд 13). На рисунке изображены два города – Александрия и Сиенна (Асуан). Расстояние между ними составляет 5000 стадий, 1 стадия = 158 м. В Александрии была расположена шахта, и, при попадании в нее солнечных лучей, проводилось наблюдение изменения угла. На основе этого был рассчитан радиус Земли, составивший по подсчетам 6290 км. Ошибка расчетов составила всего 1.3%.

XVII век. И. Ньютон (1643 – 1727) теоретически доказал, что Земля, как вращающееся тело, должна быть сплюснута у полюсов и иметь форму эллипсоида вращения (сфероида). По Ньютону разница должна составлять 1/230 долю от среднего радиуса Земли.

### Геоид (землеподобный)

*Геоид* – уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем невозмущенного океана, условно продолженная под континенты.

*Поверхность геоида* – эквипотенциальная, т.е. она везде перпендикулярна направлению силы тяжести.

*Сфероид* – воображаемая поверхность, отвечающая идеальному вращающемуся телу с объемом и массой Земли (идеальная Земля).

В настоящее время форма Земли определяется геоидом (рис. 3.1). Если на Земле провести поверхность, совпадающую с поверхностью невозмущенного мирового океана, эта поверхность будет единой по всей Земле, и в каждой точке к этой поверхности сила тяжести будет перпендикулярна, эта поверхность будет определять форму геоида.

Форма геоида не проста. Например, разница в высотах между Эфиопией и Шри-Ланкой составляет 100 м. Если бы вода была абсолютно неподвижна, из Эфиопии можно было бы скатиться по склону к Шри-Ланке. Благодаря спутниковым и лазерным технологиям форма геоида изучена очень хорошо.

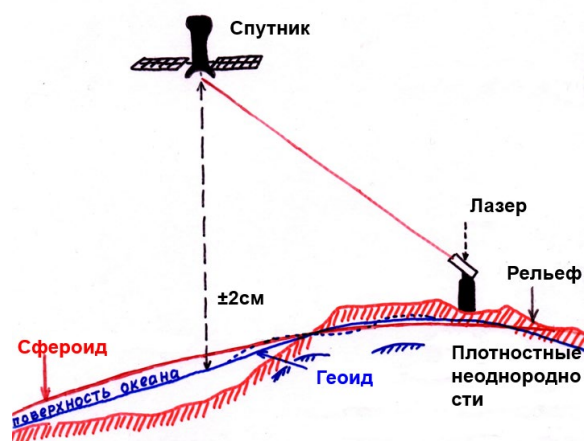


Рис. 3.1. Форма Земли



На слайде 18 приведена карта превышений высот геоида. Измерение формы геоида со спутников проводится постоянно.

Земля сплюснута и у экватора (разность полуосей ~ 200 м), т.е. Земля – трехосный эллипсоид вращения (рис. 3.2).

Отличие геоида от трехосного эллипсоида не более 100 м. Это отличие вызвано неравномерным распределением масс как на поверхности Земли (океаны и континенты), так и внутри неё. Изучение геоида – одна из задач *геодезии и гравиметрии*.

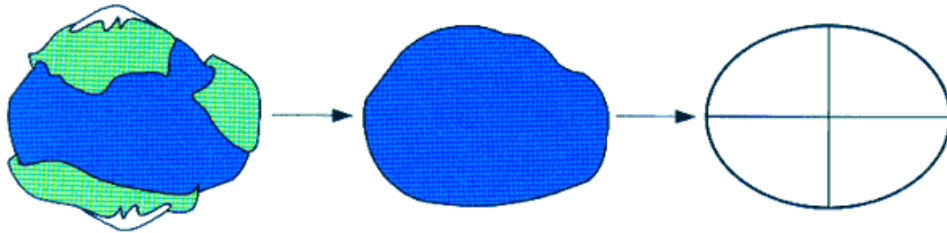


Рис. 3.2. Реальная Земля – Геоид - сфероид

### 3.5. Внутреннее строение Земли

- Средний радиус Земли – 6371 км
- Самая высокая вершина – Эверест 8 848 м
- Самая глубокая шахта в мире (ЮАР) ~ 4,5 км
- Самая глубокая скважина в мире – Кольская 12 262 м

Кольская сверхглубокая скважина расположена на Кольском полуострове недалеко от Мурманска. Ее проектная глубина составляла 15 км, но пробурено было только 12262м, поскольку началась перестройка, и финансирование проекта прекратилось.

Бурение такой скважины происходит следующим образом: трубу с буровым инструментом опускают в землю. Буровой инструмент может пробурить даже твердые породы (например, гранит). В трубе накапливается порода – *керн*, объем которого может достигать несколько метров. Затем трубы поднимают, вынимают керн, заменяют трубу на новую. Таким образом происходит бурение.

На определенной глубине труба не выдерживает веса керна и рвется, при этом невозможно достать керн и невозможно продолжать бурение. Продолжение проекта Кольской сверхглубокой прекратилось только по причине финансирования.

Благодаря этой скважине было получено огромное количество различных материалов. На слайде 20 изображены скважина (светлое здание) и кернохранилище.

На слайде 21 приведены древние породы, доступные для прямого изучения. Древние породы на щитах – выступах кристаллического основания платформ континентов. *Щит* – выступ твердых докембрийских пород.

### 3.6. Кимберлитовые трубки

Кимберлитовые трубки содержат алмазы. Название этих трубок пошло от названия деревни Кимберли – маленькое поселение в Южной Африке, где случайно в 19 веке мальчиком был найден кусок породы с алмазом. С этого начались поиски. На месте деревни была найдена синяя глина, содержащая алмазы. Самым большим и дорогим алмазом в мире является африканский алмаз Куллинан, хранящийся в Англии.

Трубки взрыва, выносящие на поверхность с глубин 150 – 200 км обломки вмещающих пород (ксенолиты).

На слайде 22 представлена кимберлитовая трубка Мир (г. Мирный, Якутия). Ее глубина составляет 525 м., верхний диаметр 1200 – 1100 м., нижний диаметр 50 -210 м. Взрывная порода имеет вид колокола – сужается книзу.

### 3.7. Косвенные методы изучения. Сейсмический метод

Косвенные методы изучения: методы физики, химии, экспериментальной петрологии. Представления о составе и физическом состоянии недр Земли преимущественно основываются на данных комплекса геофизических методов.

Главный метод изучения глубинного строения Земли – *сейсмический метод*, основанный на регистрации скорости распространения в теле Земли упругих волн, вызываемых землетрясениями или искусственными взрывами. В разных породах разные скорости прохождения сейсмических волн. Упругие волны – главный источник информации.

#### Сейсмический метод

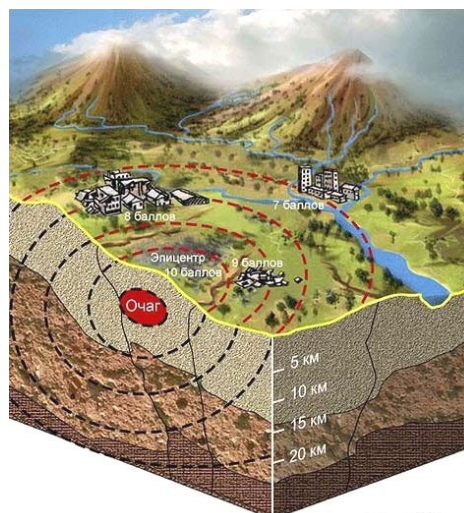


Рис. 3.3. Распространение волн от очага землетрясения

*Волны* – направленные возмущения в какой-либо среде, переносящие энергию.

*Упругие волны* – волны, распространяющиеся в упругой среде, переносящие энергию и механические возмущения (деформации). Упругие волны бывают *объёмными* и *поверхностными*.

На рис. 3.3 представлено распространение объёмных сейсмических волн. Они возникают в очаге землетрясения размером в несколько км и, распространяясь во все стороны на огромные расстояния, пронизывают всю Землю.

По типу деформации эти волны делят на *продольные (сжатия и разрежения)* и *поперечные (волны сдвига)*. На разной глубине волны имеют разную скорость.

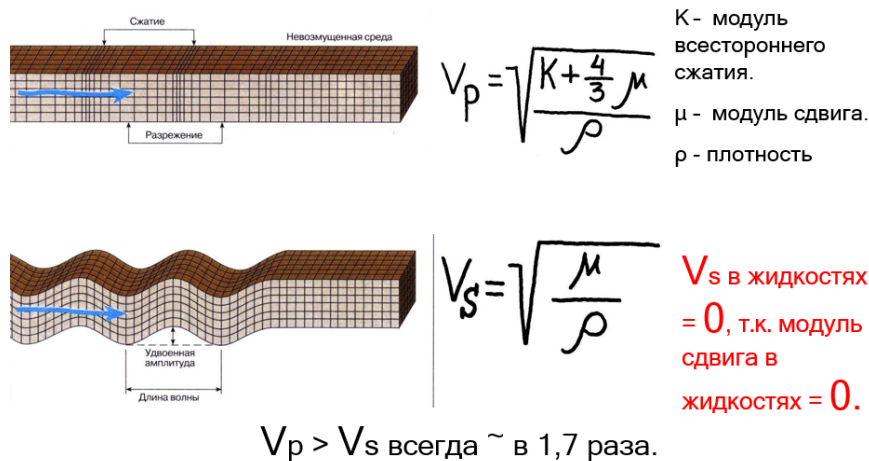
### Типы объёмных сейсмических волн

1. *Продольные сейсмические волны (P-волны, первичные (primary) волны, волны сжатия – разрежения)*. Реакция среды на изменение формы и объёма (рис. 3.3, сверху)

2. *Поперечные сейсмические волны (S-волны, вторичные (secondary) волны, волны сдвига)*. Реакция среды на изменение только формы (рис. 3.3, снизу).

Продольные волны первыми приходят на сейсмические приемники и являются наиболее скоростными. В формулу волны включены модуль всестороннего сжатия, модуль сдвига и плотность. Волна проходит горизонтально.

Поперечная волна по скорости меньше продольной. В ее формуле – модуль сдвига, деленный на плотность. Но важно понимать, что в жидкости не может быть модуля сдвига. Таким образом, если тело в Земле имеет свойства жидкости, поперечные волны через него пройти не смогут.



$V_p > V_s$  всегда ~ в 1,7 раза.

Рис. 3.4. Природа сейсмических волн

Представим землетрясение. При землетрясении возникают все типы волн. Под воздействием первичных (продольных) волн различные конструкции (здания) будут

трансформированы (например, произойдет наклон дома). Более медленная вторичная (поперечная) волна нанесет решающий удар – здание разрушится.

В настоящее время предсказать землетрясение невозможно, поскольку это вероятностный нелинейный процесс. Человеку неизвестно, в какой момент в земной коре породы придут в такое состояние, что между ними случится разрыв.

На рис. 3.4 представлена схема прохождения объемных сейсмических волн через геосферы. Кроме продольной и поперечной волны существуют волна Лявэ и волна Рэлея. «Какофонию» волн принимают на сейсмоприемники и затем расшифровывают. В каждой породе, в каждой толще скорость волн отличается.

На рис. 3.4 в северной части (на полюсе) произошло землетрясение – образовались волны (показаны желтыми стрелками). Сейсмоприемники, установленные по периметру Земли, будут фиксировать приход волны. Поскольку внутреннее ядро твердое, а внешнее имеет свойства жидкости (создающее магнитное поле Земли), поперечные волны не проходят через жидкое внешнее ядро, и образуется зона тени (на рисунке изображена темным цветом).

Таким образом, любое землетрясение вызывает появление различных типов волн с разными скоростями, что фиксируют сейсмоприемники. *Прохождение волн через Землю является главным источником информации.* Любое землетрясение, происходящее на Земле, фиксируется сеймостанциями по всему миру.

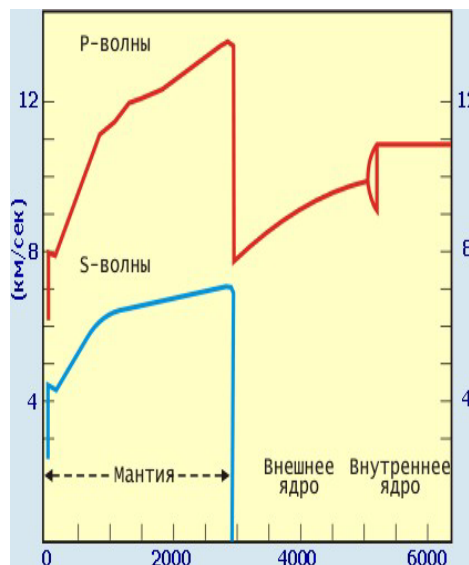


Рис. 3.5. График скорости распространения объемных сейсмических волн в пределах Земли

На рис. 3.5 представлен график скорости распространения объемных сейсмических волн в пределах Земли. Красным изображена Р-волна, синим – S-волна. Главные особенности графика:

1. Резкое увеличение  $V_p$  и  $V_s$  волн в интервале глубин 5 – 75 км. Сейсмический раздел открыт в 1909 г. А. Мохоровичичем (1857-1936) и назван границей Мохо или М. Это граница земной коры и мантии.
2. Резкое падение  $V_p$  волн и полное исчезновение S-волн на глубине ~ 2900 км. Раздел открыт в 1914 г. Б. Гутенбергом (1889-1960). Это граница между мантией и внешним ядром.
3. На глубине 5120 км вновь резкое увеличение  $V_p$  волн. Твёрдое внутреннее ядро было открыто в 1936 г. И. Леманном.

То, что внешнее ядро имеет свойства жидкости, определили именно по непрохождению сквозь него поперечных сейсмических волн.

Если, например, на глубине 100 км имеется магматический очаг, продольная волна сможет пройти через него, но поперечная – нет.

По графику на рис. 3.5 выделяется мантия, внешнее ядро, внутреннее ядро – это грубое выделение, поскольку сфер намного больше.

### 3.8. Строение верхней мантии

На рис. 3.6 приведено строение верхней мантии. На рубеже 660 км проходит граница верхней мантии. На рисунке представлены земная кора, верхняя мантия и нижняя мантия, которая подразделяется на серию слоев. При этом волна ведет себя следующим образом. В коре ее скорость резко увеличивается, затем сохраняется равномерной и резко уменьшается. Промежуток, начинающийся с замедления скорости характеризует астеносферу.

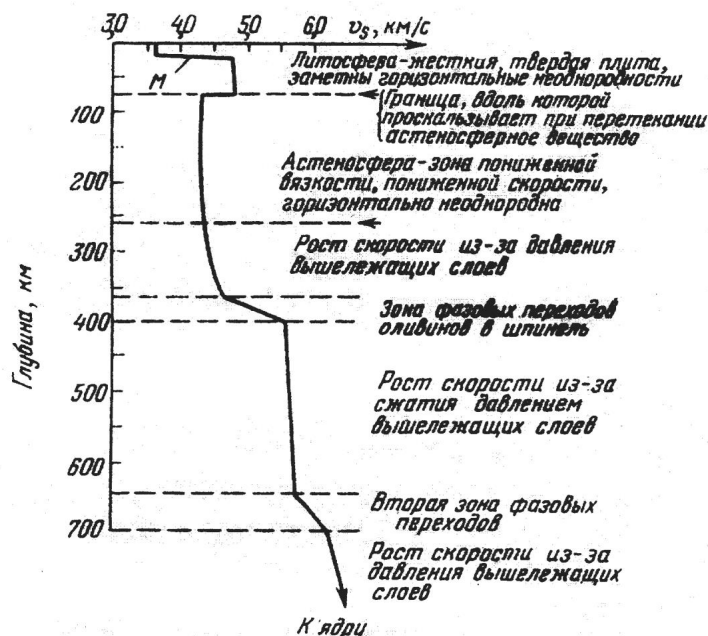


Рис. 3.6. Строение верхней мантии

Астеносфера была выявлена по замедлению скорости прохождения волн. Это связано с тем, что астеносфера, возможно, частично подплавлена (на 2-3%). Астеносфера пластичнее верхней части мантии, лежащей под поверхностью Мохо.

Поверхность Моховича не одинакова по глубине. Под Москвой она составляет около 40 км, под Памиром – 70 км, а под океаном – 4-14 км. В настоящее время появились данные о том, что поверхность Мохо не такая незыблемая, как считалось раньше.

После прохождения астеносферы вновь наблюдается увеличение скорости. Это связано с изменением минерального состава.

Детальное строение верхней части Земли определяется сейсмическим методом и минеральным составом. В настоящее время неизвестен минеральный состав пород, находящихся на глубине 600 км. По скорости прохождения волн вычисляется давление. По значению давления делается предположение о минеральном составе пород.

### Астеносфера

На рис. 3.7 приведено строение верхней части земной коры. Красно-черной линией показано положение поверхности Мохо. Видно, что континентальная кора толще океанической. Ниже границы Мохо начинается верхняя мантия (показана косой штриховкой), которая в океанах под срединно-океаническими хребтами почти выклинивается.

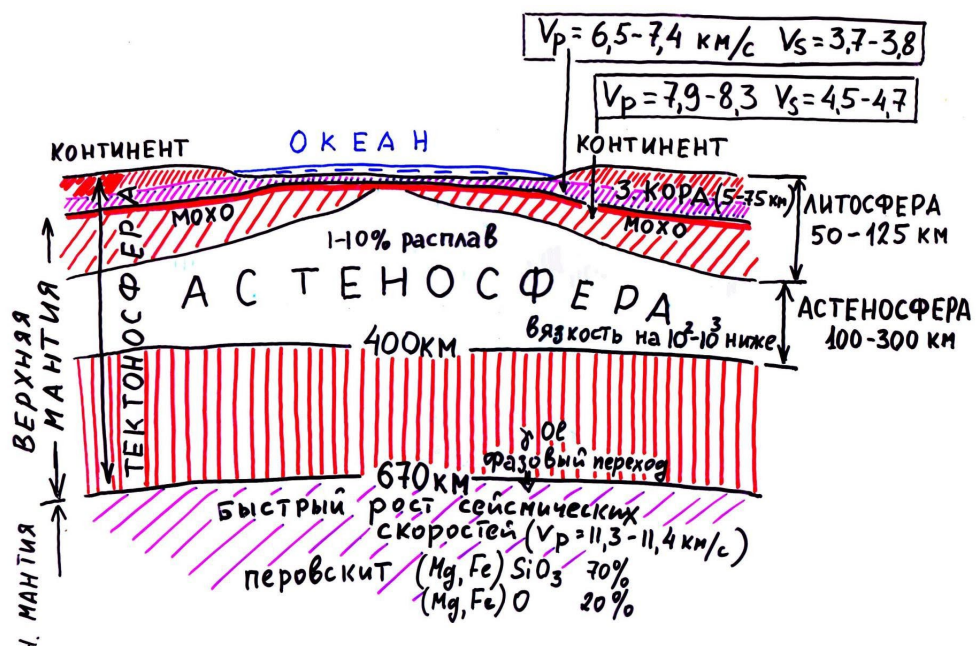


Рис. 3.7. Астеносфера

Далее начинается астеносфера с более низкой вязкостью. За астеносферой начинается слой, идущий до глубины 670 км (вертикальная штриховка). Этот слой

подвергался постоянным изменениям. Граница 670 км – резкая, на ней происходит фазовый переход минералов – одни минералы переходят в другие. Это происходит из-за давления и температуры – с глубиной температура растёт.

В составе мантии присутствует важный минерал – перовскит (MgFe)SiO<sub>3</sub>. Впервые минерал перовскит был определен на Урале.

### 3.9. Океанская и континентальная кора

#### Океанская кора

Мощность 1 и 2 слоя по данным геофизики и бурения, 3 – по данным геофизики. Состав всех слоёв известен. Данные бурения и драгирования.

#### Континентальная кора

Мощность 1 слоя по данным геофизики и бурения, 2 и 3 – по данным геофизики. Состав 1 и 2 слоя известен, доступны для непосредственного наблюдения. Конкретный состав слоя 3 не известен.

Наиболее существенна разница в строении земной коры в верхних частях Земли. Осадочный слой континентальной коры разный по мощности. Например, в Зюзино осадочный слой составляет почти 7 км, а под Москвой – около 2 км. Это происходит потому, что между Зюзина и Москвой проходит разрыв, по которому часть Зюзино опущена – там располагается грабен (глубокая впадина).

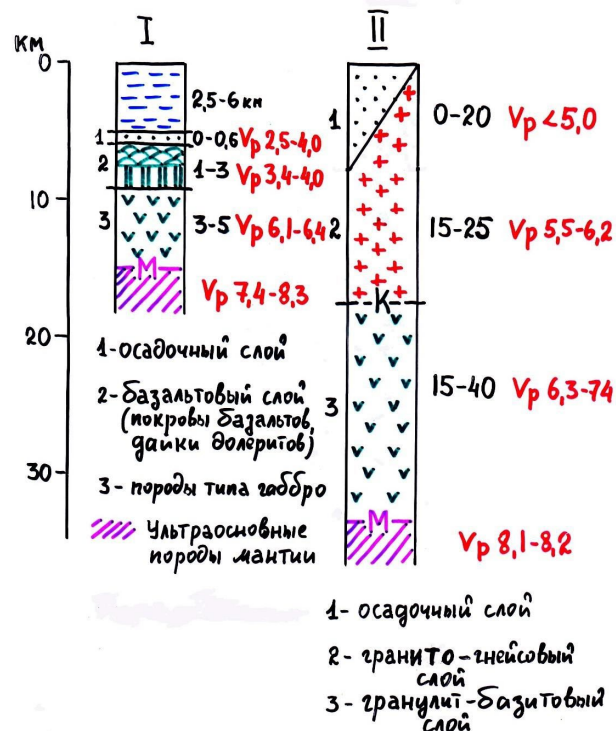


Рис. 3.8. Обобщенные разрезы океанской(I) и континентальной (II) земной коры

Далее по разрезу идет гранитный слой (на рисунке – крап в виде красных крестов). Видно, что его мощность меняется. Точечным крапом обозначены осадки – 20 км осадочный слой составляет в Прикаспийской впадине.

Изменение скорость продольных волн происходит следующим образом – в осадочном слое она составляет не более 5 км/с, в то время как скорость в гранитно-метаморфическом слое достигает 6,2 км/с. *Скорость увеличивается – порода более плотная.*

Далее проходит сейсмическая граница, ниже которой располагается базальтовый слой. Скорость в нем достигает 7,4 км/с. За ней следует граница Мохоровичича (Мохо, М), на которой происходит возрастание скорости.

Эти три слоя в земной коре определяют строение континентов. Океанская кора устроена совершенно иначе (рис. 3.8, левая колонка).

В океанской коре отсутствует гранито-метаморфический слой. Вверху разреза представлены осадочные породы (2,5 - 6 км). Далее следует базальтовый слой (на рисунке представлен «подушками»), сложенный подушечными базальтами – это связано с тем, что под давлением воды не может быть взрывных извержений, поскольку масса воды препятствует взрыву – магма выдавливается, как «паста из тубика», и тут же застывает (поскольку вода холодная). При этом образуются шары – *пиллоу-лавы или подушечные лавы.*

Далее по разрезу идет комплекс параллельных даек (на рисунке обозначен зелеными вертикальными линиями). *Дайка* – интрузивное тело. Если пиллоу-лавы изливаются, *дайки внедряются*. Дайки являются подводными каналами к пиллоу-лавам. Отметим, что вниз по разрезу скорости увеличиваются.

Ниже комплекса параллельных даек расположен слой базальтов другого типа, а за ним – граница М (на рисунке – граница с косой штриховкой). Строение континентальной и океанической коры **необходимо знать и уметь рисовать.**

### **3.10. Мощность земной коры**

На слайде 32 приведена схема мощности земной коры, показывающая распространения коры на планете. В разных районах кора разная, отличается по мощности. Например, на Памире мощность коры составляет 70-75 км, а в Западной Сибири – 40 км.

На рис. 3.9 представлен общий разрез Земли:

- А – земная кора (0-75 км). Средняя (43,33,20?)
- В – верхняя часть верхней мантии, включая астеносферу (0-410 км).
- С – нижняя часть верхней мантии (410-670 км).
- D - нижняя мантия (670-2700 км).



- D - переходный слой (2700-2900 км).
- E – внешнее ядро (2900-4980 км), обладающее свойствами жидкости.
- F – переходный слой (4980-5150 км).
- G – внутреннее твёрдое ядро.
- Цифры слева – доля в % от массы Земли.

Ниже 400 км до глубины 660 км выделяется слой *тектоносферы*. Как видно на рисунке, в мантии выделяется целая серия не твердо установленных границ (изображены пунктиром). Некоторые из этих зон не прослеживаются по всему земному шару. Внутреннее строение Земли **необходимо знать и уметь изображать**.

По мере изучения внутреннего ядра путем геофизических исследований стало понятно, что оно ассиметричное и состоит из слоев. Считается, что внутренне ядро состоит из железа и никеля, в то время как во внешнем ядре для обеспечения жидкости (пластичности) присутствует сера и другие добавки. Последние исследования показали, что внутреннее ядро – не неподвижно, оно движется благодаря влиянию Луны (приливы и отливы).

Представим два блока коры. Под влиянием Луны, проходя, волна упирается в один из блоков, а он, в свою очередь, упирается в соседний блок – и так происходит тысячи или десятки тысяч раз дважды в сутки. Благодаря накоплению энергии блоки могут соскальзывать – так происходят землетрясения. Предсказать эти события невозможно.

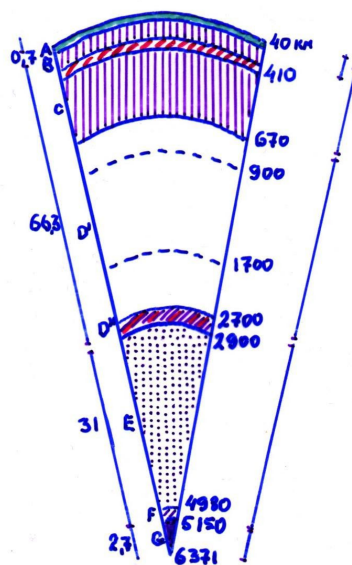


Рис. 3.9. Внутреннее строение Земли (К. Буллен, 1959-1969 г.)

### 3.11. Химический и минеральный состав глубинного вещества Земли

Ранее речь шла о слоях, слагающих земную кору, но все описанные сферы отличаются по составу.

#### Континентальная земная кора

*Верхняя часть (слои 1 и 2):* впервые средние содержания химических элементов в 1889 г. вычислил Ф. Кларк (1847-1931) - числа Кларка или кларки (А.Е. Ферсман).

- Осадочные породы (~10% массы), магматические (~45%), метаморфические (~45%).
- Среди осадочных преобладают глины и глинистые сланцы + пески и песчаники (>80% массы).
- Среди магматических – граниты и базальты.
- Среди метаморфических – кристаллические сланцы и гнейсы.

Генетически магматические породы – первичны, осадочные и метаморфические породы являются результатом их разрушения и преобразования. Таким образом, все они состоят из одних и тех же химических элементов. Средний состав верхней части континентальной коры близок к смеси гранитов и базальтов в пропорции 2:1.

*Нижняя часть (слой 3):* конкретный состав неизвестен. По данным геофизики состоит из пород, физические свойства которых близки к свойствам метаморфизованных базальтов (гранулит-базитовый слой). *Гранулиты* – наиболее сильно метаморфизованные базальты.



Рис. 3.10. Магнитное поле Земли

## Лекция 4. Продолжение лекции 3

### 4.1. Океаническая кора

Строение океанической коры проще, чем строение континентальной (рис. 4.1). Верхний слой (1) слагают осадочные породы, химический состав которых хорошо известен. Состав пород слоёв 2 и 3 также хорошо известен по данным бурения и драгирования. Это геохимически однородные базальты. Низ разреза представлен комплексом разводящих даек. Строение океанической коры так же **необходимо знать**.

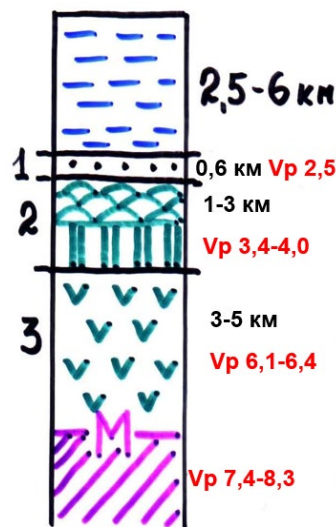


Рис. 4.1. Строение океанической коры

### 4.2. Мантия

Состав мантии может быть определен только предположительно на основе геофизических и экспериментальных данных. Мантия, вероятно, сложена ультраосновным (обедненным SiO и обогащенным Fe и Mg) породами.

Доказательства:

- 1) Физические свойства мантии хорошо согласуются с экспериментально определенными свойствами ультраосновных пород.
- 2) Средний химический состав каменных метеоритов, принятый за модель состава мантии, соответствует ультраосновным породам.
- 3) Эксперименты показывают, что только ультраосновные породы могут быть источником базальтовых расплавов, возникающих при частичном плавлении астеносферы.

### 4.3. Ядро

Состав непосредственно не известен, но довольно определенно может быть оценён.

- 1) Эксперименты показывают, что при давлениях в ядре  $>1,5$  Мбар, его геофизические параметры близки к физическим свойствам железных метеоритов, состоящих из сплава Fe и Ni – считается, что внутреннее ядро состоит именно из этих элементов.
- 2) Данные гравиметрии дают плотность ядра  $\sim 12$  г/см, что на 10% меньше плотности чистого сплава Fe и Ni, т.е. в состав жидкого ядра должно входить некоторое количество «легких» элементов. Самый вероятный кандидат – сера, образующий в сплаве с железом минерал троилит.

### **Модель состава Земли**

Химический состав Земли сложен следующими элементами:

- Земная кора: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, FeO, MgO и другие оксиды
- Мантия: SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и другие оксиды
- Внешнее ядро: Fe+Ni(84-92%) + 10-20%S (возможно Si)
- Внутреннее ядро: Fe+Ni

### **Минеральный состав**

- Земная кора: полевые шпаты, кварц, слюды и глинистые минералы  $>90\%$ , пироксены и амфиболы  $\sim 5\%$ , все остальные  $\sim 5\%$ .
- Мантия: вероятно, оливин и пироксены, в незначительном количестве – полевые шпаты и гранат.

## **4.4. Физические свойства глубинного вещества Земли**

### **Плотность и давление**

- Средняя плотность Земли по данным гравиметрии составляет 5,52 г/см
- Плотность пород земной коры от 2,4 до 3,0 г/см
- В объеме Земли кора занимает 1,5%, мантия – 82,3%, ядро – 16,2%.

Среднюю плотность Земли должны обеспечивать плотная мантия и очень плотное ядро. Источники информации:

- скорость сейсмических волн
- эксперименты по фазовым изменениям в веществе

На основании характера изменения плотности в недрах Земли можно рассчитать распределение давления с глубиной (рис. 4.2).

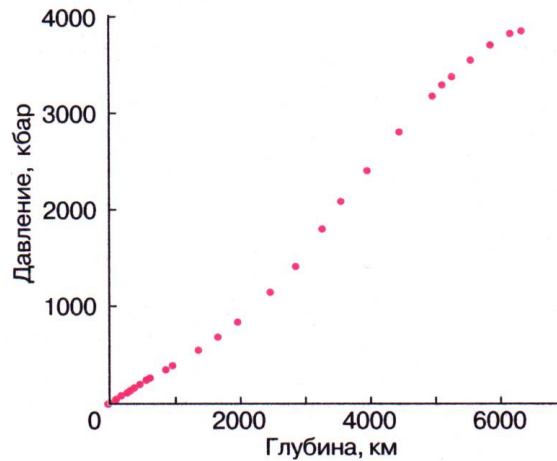


Рис. 4.2. Рассчитанное распределение давления в недрах Земли в зависимости от глубины

### Температура

Источники теплового поля Земли:

- Тепловая энергия Солнца
- Тепло, выносимое из недр Земли (тепловой поток)

Например, на территории Турции распространен мощный вулканизм – там наблюдается высокий тепловой поток.

Распространение солнечной радиации представлено на рис. 4.3. Земля получает половину миллиардной доли излучения Солнца.



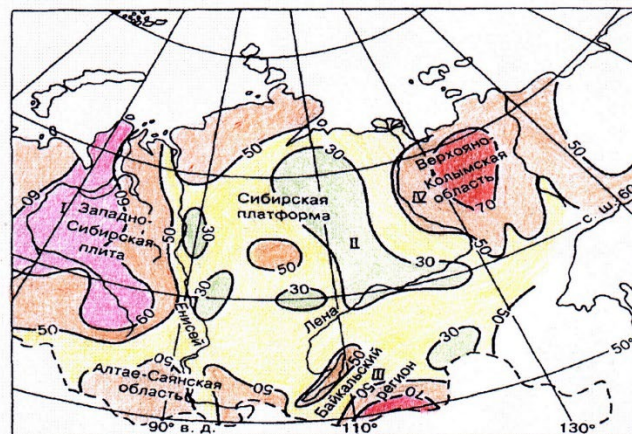
Рис. 4.3. Солнечная радиация и радиационный баланс

Солнечная радиация – главный источник энергии для всех физико-географических и биологических процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере.

Количество солнечной радиации зависит от высоты Солнца, времени года, прозрачности атмосферы. Температура поверхности Земли полностью определяется радиацией Солнца.

Солнечной энергии хватает на прогрев Земли до глубины 20-40 м. Здесь находится зона постоянных годовых температур, средняя температура которой обычно на 3-4 градуса выше среднегодовой температуры воздуха. В Москве на глубине 20 м постоянная температура +4,2 С. Ниже температура пород начинает постепенно расти, но с разной скоростью в разных местах земного шара.

На рис. 4.4 представлена схематическая карта теплового потока Сибири. Можно видеть, что в Западной Сибири тепловой поток больше, чем в Восточной (Сибирская платформа). Также в Верхояно-Колымской области очень высокий тепловой поток, поскольку к ней подходит северная рифтовая зона (зона раскрытия) Северного Ледовитого океана. Предполагается, что в будущем Верхояно-Колымская зона станет зоной раскрытия.



Схематическая карта теплового потока Сибири (оцифровка изолиний в мВт/м<sup>2</sup>). I – IV – региональные аномалии теплового потока: I - Западно-Сибирская (аномальный уровень – 65-70, фон – 50-55 мВт/м<sup>2</sup>), II – Якутская (аномалия 27, фон 40-45 мВт/м<sup>2</sup>), III – Байкальская (аномалия – 75-80, фон – 42-52 мВт/м<sup>2</sup>), IV – Верхояно-Колымская (аномалия – 66, фон – 45-50 мВт/м<sup>2</sup>). Средний тепловой поток Сибири - 50±14 мВт/м<sup>2</sup>.

Рис. 4.4. Примеры карт глубинного теплового потока, измеренного на поверхности Земли.

На рис. 4.5 представлена температура недр Земли (наиболее реалистичная модель). В основании земной коры температура составляет ~500 градусов С. В верхней

мантии ~1200. На границе мантии и ядра ~2000-3500 С. Температура в центре Земли вряд ли существенно превышает 4000 С.

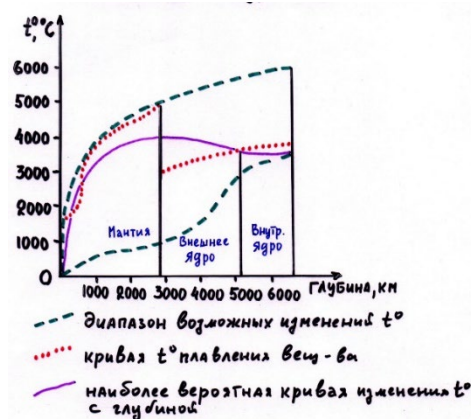


Рис. 4.5. Температура недр Земли

### Внутренние (глубинные) источники тепла Земли

Наиболее важные процессы, генерирующие тепло в недрах Земли:

- Распад радиоактивных изотопов урана, тория калия и других радиоактивных элементов, рассеянных в горных породах.
- Гравитационная (плотностная) дифференциация вещества, благодаря которой Земля разделена на оболочки.
- Деформации за счёт приливного взаимодействия Земли и Луны.
- Значение других источников очень мало.

## 4.5. Естественные физические поля Земли

### Гравитационное поле

Земля, как каменное тело, которое вращается, имеет разнообразные геофизические поля, в том числе, гравитационное поле. Гравитационное поле Земли, поле силы тяжести: силовое поле, обусловленное притяжением Земли и центробежной силой, вызванной её суточным вращением (рис. 4.6).

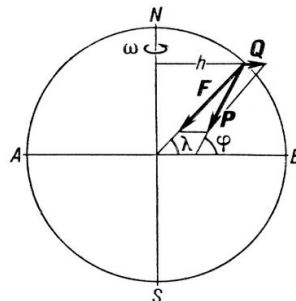


Рис. 4.6. Гравитационное поле Земли

На рис.4.6:  $P$  – сила тяжести;  $F$  – сила притяжения Земли, направлена к центру Земли;  $Q$  – центробежная сила, направлена от оси вращения и перпендикулярна ей.

На полюсе центробежная сила равна нулю, поскольку Земля вращается вокруг своей оси, а сила тяжести максимальная:  $Q = 0, P = F = \max$ .

На экваторе наоборот – максимальная центробежная сила и минимальная сила тяжести:  $Q = \max, P = F - Q = \min$ . Сила тяжести на экваторе на  $\sim 0,5\%$  меньше, чем на полюсах.

**Сила тяжести** – результирующая двух основных сил: силы притяжения (тяготения) Земли и центробежной силы, вызванной её суточным вращением. Гравитационные аномалии постоянно исследуются – как изменяется сила тяжести.

Величина силы тяжести на земной поверхности зависит от фигуры и распределения плотности внутри Земли.

**Гравитационные аномалии** – разность между наблюдаемой силой тяжести и её нормальным (теоретическим) значением в той же точке.

Аномалии гравитационного поля Земли – ценный материал для изучения её формы, внутреннего строения и разведки полезных ископаемых.

### **Магнитное (геомагнитное) поле Земли**

Магнитное поле – пространство, где действуют магнитные силы. Напряженность дипольного магнитного поля Земли  $\sim 0,5$  эрстед.

Магнитному полю Земли лучше всего соответствует модель однородно намагниченного шара (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Модель магнитного поля Земли



Полус, в настоящее время принятый за Северный, в действительности должен называться южным. На рис.4.7 видно, что изогипсы входят в Северный магнитный полюс.

Геомагнитные полюсы – точки пересечения магнитной оси с земной поверхностью, в которых магнитное наклонение = 90.

- S – в Северной Гренландии.
- N – в Антарктиде.

Полюсы медленно мигрируют. S – в сторону Сибири, потом вернется на место. Угол между северным географическим и условно северным магнитным полюсами сейчас составляет 7,3.

Центр Земли и центр геомагнитного поля не совпадают примерно на 400 км, поскольку северный географический полюс отличается от оси вращения. Магнитный полюс находится в постоянном движении. Изначально, северный магнитный полюс находился в районе Канады, в настоящий момент – в Северном Ледовитом океане. Миграция полюсов происходит постоянно.

Считается, что магнитное поле образовалось за счет внешнего ядра, имеющего свойства жидкости. Но в настоящий момент не известно, что именно представляет из себя внешнее ядро. Существует большое количество работ, в которых говорится о том, что для возникновения магнитного поля необходимо наличие движения вещества во внешнем ядре со скоростью 12-15 см/с – данную скорость можно сравнить со скоростью движения воды в закипающем чайнике, что представляется маловероятным.

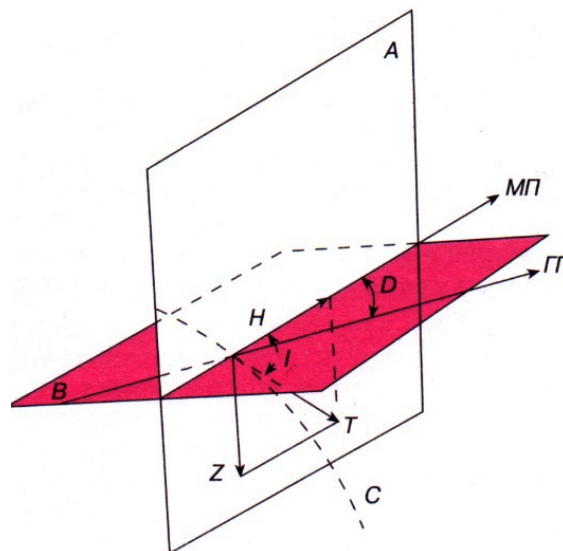


Рис. 4.8. Элементы магнитного поля

Магнитное поле Земли векторное. Интенсивность характеризуется не только напряженностью, но и положением вектора в пространстве. На рис. 4.8 представлены элементы магнитного поля, где:

- **A** – вертикальная плоскость.
- **B** – поверхность Земли.
- **C** – магнитная силовая линия.
- **H** – горизонтальная, **Z** – вертикальная составляющие полного вектора напряженности – **T**.
- **МП** – направление на магнитный полюс.
- **ГП** – направление на географический полюс.
- **D** – угол магнитного склонения,
- **I** – угол магнитного наклонения

Представление элементов магнитного поля Земли **необходимо знать и уметь объяснять на экзамене.**

Карты, отображающие при помощи изолиний распределение магнитного поля по поверхности Земли:

- **Карты изоклин** – линий равных значений наклонения магнитного поля.
- **Карты изогон** – линий равных значений склонения магнитного поля.
- **Карты изопор** – линий равных годовых изменений какого-либо элемента магнитного поля. Геомагнитное поле Земли за последние 2-3 млрд.лет принципиально не изменилось. Но элементы поля испытывают регулярные, периодические вековые изменения.

Наблюдение магнитного поля Земли невероятно важно для авиации и космических исследований.

**Магнитосфера** - (околоземное пространство, физические свойства которого определяются магнитным полем Земли и его взаимодействием с потоком заряженных частиц солнечного ветра).

Солнце непрерывно излучает солнечный ветер – из хромосферы непрерывно происходит выброс различных элементов, скорость которых достигает несколько сотен километров в секунду. Во время магнитных бурь скорость элементов возрастает до 1000-1200 км/с.

Ударная волна взрыва на Солнце достигает Земли. Поскольку у Земли есть собственное магнитное поле, встречаясь с которым, солнечный ветер «сплющивается».

*Магнитный хвост* является продолжением солнечного ветра в магнитном поле Земли, *магнитопауза* – область, куда солнечный ветер не попадает.

С дневной стороны простирается на 8-14 земных радиусов, с ночной – на несколько сотен земных радиусов.

## **Лекция 4. Магматизм**

### **4.6. Типы магматизма**

**Магматизм** – это выход на поверхность или нахождение на глубине расплавленной горной породы.

**Магматизм** – процесс образования и перемещения из глубоких недр Земли к её поверхности горячих силикатных расплавов (магм), содержащих в растворённом виде летучие компоненты (пары воды и различные газы).

Магматизм принято делить на:

- 1) Магматизм глубинный или интрузивный (лат. «интрузио» - проникать, внедрять). Магма не достигает поверхности Земли и затвердевает на глубине.
- 2) Вулканизм, поверхностный или эффузивный (лат. «эффузио» - излияние) магматизм.

Магма – это силикатный расплав. В зависимости от содержания силикатов, магма может быть базальтовой (более жидкой) и риолитовой (более вязкой).

*Вулканизм* – одно из самых впечатляющих проявлений внутренней энергии Земли. Земля всегда была магматически активна. Только за фанерозой на её поверхность было вынесено >600 млн. км<sup>3</sup> вулканического материала. Вулканизм – процесс конструктивный, поскольку благодаря вулканизму образуются горы, плато, происходит наращивание земной коры. Создаёт вулканические горы.

Типы вулканизма различны. При вулканизме могут образовываться отдельные горы – *вулканические конусы*, например, вулкан Ключевский, Камчатка. Также, лавовые потоки могут образовывать *плоскогорья*, например, плоскогорье Декан, Индия.

Извержения вулканов создали современную атмосферу и гидросферу. Вулканическая деятельность на Земле идёт постоянно. На суше известно ~ 600 вулканов, действовавших в историческое время. Вулканизм распределяется крайне неравномерно (рис. 4.9). Количество вулканов на дне мирового океана неизвестно.

В основном вулканы распределены в западной части Мирового океана – в Тихом океане. Например, Гавайская вулканическая дуга прослеживается вплоть до Камчатки.

Парикутин (Мексика) – вулкан, возникший на глазах человека 20.02. 1943г. – 09.03. 1952г. Возник на кукурузном поле Доминика Пулидо. За один день образовался конус 10 м из шлака и пепла, через неделю – 150 метров, через год – 336 м

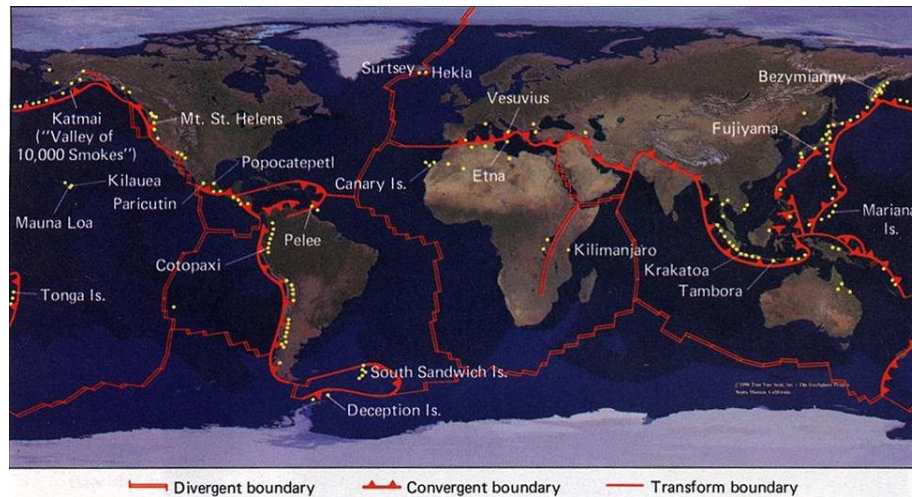


Рис. 4.9. Распространение вулканизма в мире

**Последовательность образования вулкана Парикутин:** выбросы пепла и газа, образование конуса, затем кратера, наконец лавы в июле 1944 года – лишь через два года после образования вулкана. Такая последовательность характерна для многих вулканов.

#### 4.7. Катастрофы, которые помнят

**о. Санторин.** Сейчас - вулканический архипелаг в Эгейском море, в 120-130 км к северу от Крита. Именно с этим островом связывается исчезновение Атлантиды. Считается, что до катастрофы 1500-1400 гг. до н.э. существовал вулкан, после взрыва которого образовалась кальдера.

Возможно, что с катастрофой Санторина связаны 4 главных доисторических события, описанных Платоном и Библией:

- Гибель Атлантиды.
- Сгустившаяся ночь, которая позволила сынам Израилевым бежать из Египта.
- Расступившееся Красное море.
- Упадок и исчезновение Крито-Минойской культуры.

О. Санторин интересен тем, что его верхняя поверхность покрыта пемзой мощностью от 10-15 м до 150 м. Этот материал разрабатывали для изготовления специального цемента, устойчивого к морской воде при построении канала между Африкой и Азией. На рис. 4.10 по данным глубоководных скважин представлено, как разносился пемзо-пепельный материал.

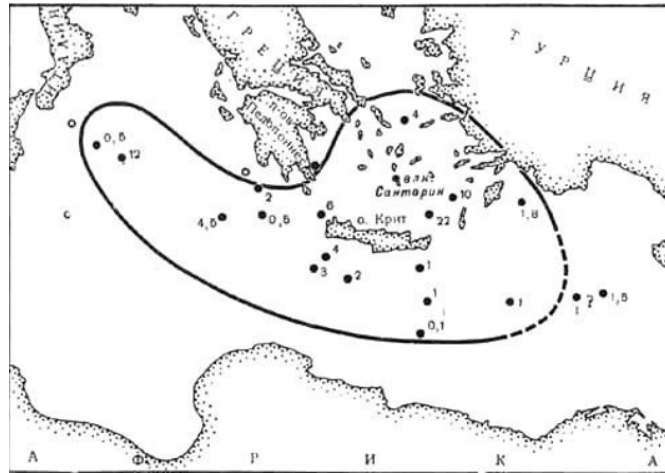


Рис. 4.10. Площадь распространения тефры (объём 28-30 куб. км) в донных осадках

**Везувий.** Единственный действующий вулкан континентальной Европы. Находится на юге Италии в ~ 15 км от Неаполя. Высота 1281 м. Известно о более чем 80 извержениях. Сильнейшие – в 1631, 1779, 1794, 1822, 1872 и 1906 гг. Последнее – в 1944 году.

Извержение, случившееся в 24 августа 79 года, погубило Помпеи, где проживало около 40 тысяч жителей. Затем извержение обрушилось на города Стабии и Геркуланум.

Описано римскими авторами, в том числе Плинием-младшим в письме к Тациту. Начало извержения характеризовалось сейсмическими толчками и выбросами пепла. Затем произошел сильнейший взрыв, выброс громадной тучи из горячих газов, пепла, мелких обломков и бомб. Пеплопад в течение нескольких дней. Слой пепла толщиной в 6 метров.

В результате взрыва образовалась кальдера (Сомма) диаметром 15 км. Уничтожены несколько городов: Помпеи и Стабия засыпаны пеплом, Геркуланум стёрт лахарами. В Помпеи погибло ~ 20 тыс. чел.

Захоронение было обнаружено случайно – проводились работы по созданию канала. Жители были засыпаны лапиллиями – «шариками».

Геркуланум был залит грязекаменным потоком. Такие потоки называются *лахарами* (рис. 4.11). Застывая, лахары превращаются в нечто, что можно сравнить с бетоном.

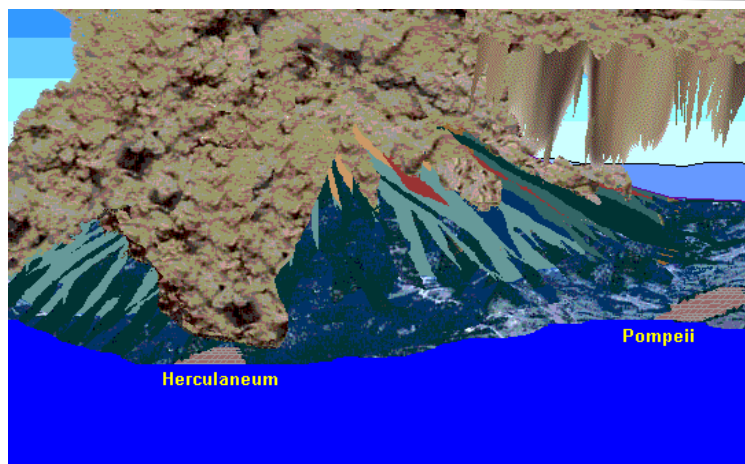


Рис. 4.11. Лахар

## **Лекция 5. Силы, создающие лик нашей планеты**

### **5.1. Земля. Геологические процессы на Земле**

Земля – единственная планета Солнечной системы, на которой есть вода в жидком виде и твердом виде.

Облик нашей планеты не является чем-то застывшим, раз и навсегда сформировавшимся. Благодаря разнообразным геологическим процессам происходит постоянное изменение земной коры и ее поверхности. Геологические процессы возникают только при наличии определенных сил.

Геологические процессы на нашей планете обусловлены наличием определенных сил, источники энергии которых различны.

### **5.2. Экзогенные и эндогенные процессы**

Соответственно источникам энергии геологические процессы, изменяющие земную кору и её поверхность, принято делить на:

1. Экзогенные (процессы внешней динамики), происходящие в приповерхностной части земной коры
2. Эндогенные (процессы внутренней динамики), происходящие внутри Земли

Экзогенные процессы протекают под действием энергии Солнца и силы тяжести. Эндогенные - под действием внутренней энергии, внутреннего тепла. Это деление условно. Экзогенные и эндогенные процессы протекают под действием силы тяжести.

Энергии Солнца хватает, чтобы прогреть первые примерно 20 м поверхности земли. Существует слой постоянных температур, ниже которого прогрев осуществляется за счет внутренней энергии. В Москве на глубине 20 м существует слой постоянных температур, который не зависит ни от сезона, ни от времени года.

*Эндогенные процессы:*

- Магматизм
- Метаморфизм
- Тектонические

*Экзогенные процессы:*

- Выветривание
- Склоновые процессы
- Геологическая деятельность поверхностных вод движения (землетрясения)
- Геологическая деятельность подземных вод

- Геологическая деятельность ледников
- Геологические процессы в мерзлой зоне литосферы
- Геологическая деятельность ветра
- Геологическая деятельность морей и океанов

Главные элементы рельефа Земли - океаны и континенты, равнины и горные хребты, срединно-океанские хребты, абиссальные равнины - обязаны действием внутренних (эндогенных) сил, источник которых лежит в глубинных недрах Земли.

Роль экзогенных процессов состоит в том, что они моделируют крупные формы рельефа.

Детали рельефа, его тонкая скульптура выработаны действием поверхностных, внешних (экзогенных) факторов, таких, как деятельность поверхностных водных потоков или деятельность ветра. Например, в результате деятельности ветра, возникают пустыни с характерной для пустынь формой рельефа. Зачастую скульптурирование рельефа происходит благодаря работе нескольких факторов одновременно. Общая форма рельефа – это, в первую очередь, процессы внутренней динамики.

### **5.3. Эндогенные процессы**

Эндогенные процессы проявляются в виде процессов магматизма (выплавления, перемещения и застывания магмы), метаморфизма (преобразования) горных пород – породы попадают в иные термодинамические условия, в которых минералы, слагающие горные породы, становятся неустойчивыми и переприспосабливаются к новым термодинамическим условиям, в результате чего возникают новые горные породы; формирования месторождений полезных ископаемых, тектонических движений (медленные поднятия и опускания земной коры, образование крупных элементов рельефа Земли, землетрясения, складчатость).

Земная кора никогда не остается в спокойном состоянии – постоянно происходят медленные изменения, поднятия и опускания. Пример: Луна, являющаяся спутником Земли, постоянно воздействует на Землю. Помимо приливов и отливов воды, существуют твердые приливы и отливы земной коры. Каждые сутки происходит поднятие и опускание земной коры с амплитудой примерно 50 см. Эти движения являются одним из источников внутренней энергии Земли с выделением тепла.

Роль внутренних сил Земли чрезвычайно велика. Чаще они действуют почти незаметно, но постоянно приводят за миллионы лет к коренным изменениям земной поверхности.

Например, Атлантический океан считается молодым океаном, сформировавшимся около 250 млн. лет назад. Скорость раздвижения в зоне срединно-



океанского хребта составляет первые сантиметры в год. Но за 250 млн лет средняя ширина океана достигла около 4000 км.

Наиболее наглядно внутренняя энергия Земли проявляет себя вулканическими извержениями и землетрясениями.

#### 5.4. Магматизм

На рис. 5.1 представлено извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль, произошедшее в марте 2010 года в Исландии. Над Европой образовались огромные протяженные облака пепла.



Рис. 5.1. Извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль

Одним из результатов взрывных извержений является засыпание вулканическим пеплом всей близлежащей территории. Пепел состоит из маленьких кусочков лавы, обломков стенок кратеров очень маленького размера и тд. Такое извержение случилось в Индонезии (вулкан Мерали) осенью 2010 года – все оказалось засыпано вулканическим пеплом. В результате попадания в пирокластический поток погибло 350 человек.

Часто извержения происходят на Гавайях. В 2021 году произошло извержение на Канарских островах. На острове Пальма расположена активная вулканическая гряда Кумбре-Вьеха (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Извержение на о. Пальма

Течение лавы схоже с течением воды – по понижениям рельефа. Скорость лавы может достигать 60 км/ч.

**Магматизм** – процесс образования (плавления на глубине) и перемещения из глубин Земли к её поверхности горячих силикатных расплавов (магм), содержащих в растворенном виде летучие компоненты (пары воды и различные газы).

Магматизм принято делить на:

- Магматизм *глубинный* или *интрузивный* или *плутонический* (лат. «интрузио» - проникать, внедрять). Магма не достигает поверхности Земли и затвердевает на глубине (9/10 магматических расплавов не достигают земной поверхности).

На рис. 5.2 изображен интрузивный магматический диапир среднеюрского возраста (180 млн лет). Как стало возможным его появление на поверхности, если полнокристаллические породы формируются на глубине не меньше 5 км? За 180 млн лет породы, в которые внедрялся диапир, являлись более мягкими (Таврическая серия или Таврика). По этой причине эрозией они были уничтожены и унесены, что привело к обнажению Магматического тела.



Рис. 5.3. Интрузивное магматическое тело гора Аюдаг в Крыму

- Вулканизм, поверхностный или эффузивный (лат. «эффузио» - излияние) магматизм.

Вулканизм получил своё название от группы Липарских островов, включающих остров Вулькано – кузница Вулкана. Острова состоят из вулканических конусов.

С самого начала своего существования была всегда магматически активна. За Фанерозой (последние примерно 530-540 млн. лет) на поверхность нашей планеты было вынесено более 600 млн. км<sup>3</sup> вулканического материала.

В отличие от землетрясений, вулканизм не только разрушает, но и создает, например, вулканические горы (Ключевская сопка, вулканические поля и плато).

На рис. 5.4. приведена геологическая карта России и сопредельных территорий. На карте выделена Тунгусская синеклиза, закрашенная цветом триаса (сиреневым) - пространство размером примерно 1500x700 км, выполненное туфолавовыми образованиями Т1 мощностью 0,5 – 2 км. Возможно, это огромное излияние привело к массовому вымиранию организмов на нашей планете.

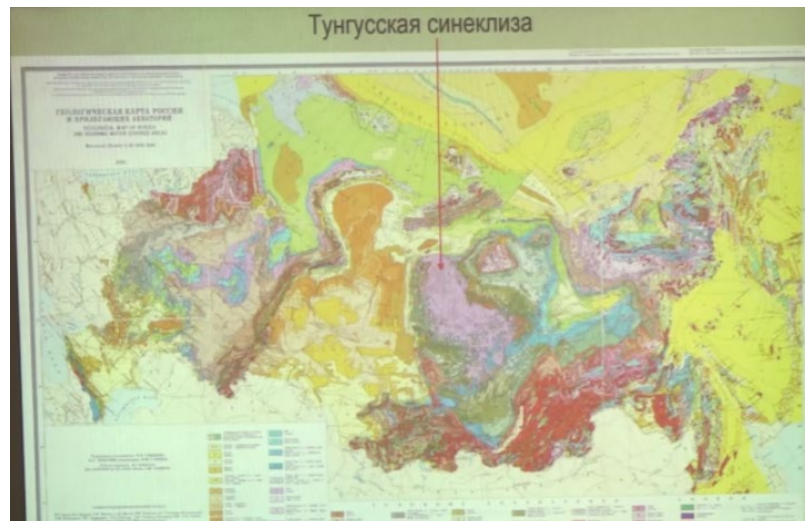


Рис. 5.4. Геологическая карта

Более того, все дно Мирового океана сложено базальтами, что является результатом вулканической деятельности. Базальты – излившиеся породы вулканического происхождения основного состава. Площадь Мирового океана занимает 71 % поверхности нашей планеты, что говорит о масштабах вулканизма.

Извержения вулканов способствовали созданию и изменению современной атмосферы и гидросферы, поскольку при извержении происходит выделение огромного количества газа – от 50 до 90 % выделяемых газов составляет перегретый водяной пар и остальная линейка газов, из которых состоит атмосфера.

Формирование атмосферы происходит и в настоящее время, поскольку ежегодно извергается довольно большое количество вулканов.

Известно 1545 наземных вулканов, действовавших за последние 10 тысяч лет. Ежегодно на Земле извергается 60-80 вулканов. Основное их количество сосредоточено вокруг Тихого океана – в Тихоокеанском огненном кольце.

Существуют вулканы, которые действуют постоянно (по крайней мере, на протяжении исторического времени – последние несколько тысяч лет). Например, вулкан Мерали в Индонезии или Сакурадзима в Японии, Этна в Италии.

Но сколько вулканов на дне океанов не известно – известно лишь, что в десятки и сотни раз больше, чем на суше. На рис. 5.5 представлены вулканические горы на дне Тихого океана.



Рис. 5.5. Вулканы на дне Тихого океана

Иногда подводные вулканы выступают над поверхностью океана в виде островов. Так, самой высокой горной вершиной на планете Земля является не Эверест, а вулкан Мауна Кеа, высота которого составляет 4207 м над уровнем моря, но сам вулкан находится на глубине больше 5000 м.

### 5.5. Катастрофы, которые помнят

Извержение вулкана Санторин происходило в 1400-1500 году до н.э. Когда-то это был единый вулкан, который взорвался, в результате чего образовался провал (кальдера) глубиной до 400 м и площадь 83 км<sup>2</sup> (рис. 5.6). В центре кальдеры растет новый вулкан – Неа-Камени.



Рис. 5.6. Кальдера Санторин

С взрывом вулкана Санторин связывают гибель Крито-Минойской цивилизации. Долгое время взрыв на о. Санторин считали причиной гибели Атлантиды.

Толщина слоя тефры (объём 28-30 куб. км) составила в донных осадках – это одна из самых масштабных катастроф в истории нашей планеты.

Это извержение, оставшееся в памяти человечества, привело к тому, что в начале 18 века в геологии появилось течение, которое получило название *плутонизм*. Плутонизм объяснял все изменения на поверхности планеты внутренними процессами (внутренним жаром).

**Везувий.** Тема «Извержение Везувия» будет в модуле – **необходимо знать**. Везувий – единственный действующий вулкан континентальной Европы. Везувий расположен на берегу Неаполитанского залива (Италия) – это единственный действующий вулкан на континентальной части Европы примерно в 15 км от современного Неаполя.

Высота Везувия составляет 1281 м. Известно, что он извергался более 80 раз, но первая лава появилась лишь в 1631 году. Последнее извержение Везувия состоялось в 1944 году.

Легендарное извержение произошло 24 августа 79 года н.э. Оно описано римскими авторами, в том числе, Плинием-младшим в письме к Тациту.

До этого взрыва в течение порядка 600 лет никто не подозревал, что данная гора является вулканом – он не извергался, не проявлял никакой активности, в его кратере прятались отряды Спартака.

В результате взрыва конус вулкана обрушился, и образовалась кальдера (Сомма) диаметром 15 км. Уничтожены несколько городов: Помпеи и Стабия засыпаны пеплом, Геркуланум стёрт лахарами. В Помпеи погибло ~ 20 тыс. чел. Толщина пеплового слоя достигала 6-8 м – людей, прятаящихся в домах, засыпало заживо.

До наших дней Помпеи сохранился в прекрасном состоянии, поскольку толща пепла его законсервировала. Помпеи нашли случайно – спустя полторы тысячи лет, копая каналы от р. Сарно, архитектор Доменико Фонтана обнаружил часть городской стены. Планомерные раскопки начались только в 1748 году. Сейчас раскопано приблизительно 75% площади Помпеи.

Начало извержения в Помпеи характеризовалось сейсмическими толчками и взрывными выбросами пепла. Пепловая туча надвигалась на Помпеи. На Геркуланум обрушились лахары – грязекаменный поток, состоящий из пирокластического материала, выброшенного вулканом. Начался пеплопад, который продолжался несколько дней. Одновременно с этим произошло поднятие суши – в настоящее время Помпеи находятся далеко от моря (раньше город стоял на берегу).

**Взрыв Кракатау** 26-27 августа 1883 года – один из самых мощных взрывов вулканов в истории. Изначально был единый остров, называвшийся Кракатау. На рис. 5.7 приведены последствия взрыва – остров распался на о. Раката и Анак-Кракатау – маленький вулкан, выросший на месте взрыва.

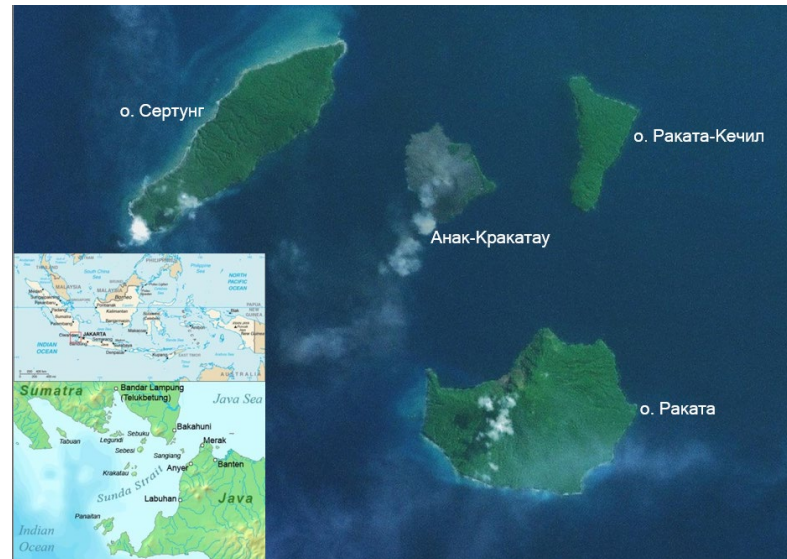


Рис. 5.7. Последствия взрыва вулкана Кракатау

Изначально, в результате слияния конусов вулканов Раката (813 м), Данан (450 м), Пербуватан (120 м) образовался остров Кракатау длиной 9 км, шириной 5 км. Вся северная часть была полностью уничтожена, на месте Данана и Пербуватана в настоящее время кальдера размером 5x4 км и глубиной порядка 300 м. Пепловый материал от взрыва покрывал почти миллион квадратных километров.

Зона распространения звука взрыва (до 5000 км). Ударная волна 3 раза обошла вокруг Земли, отмечалась сейсмостанциями Европы. Пепел и мелкие обломки пемзы (18 км<sup>3</sup>) были подняты на высоту 70-80 км, площадь пеплопада составила 825 600 кв. км.

Несколько цунами (до 40 м) уничтожили всё на побережьях Явы, Суматры и других островов. Погибло более 36 000 чел. В 1927 г. начался рост нового конуса Анак-Кракатау.

**Мон-Пеле 8 мая 1902 года** (о. Мартиника, Малые Антильские острова) – классический пример взрывного извержения. Это вулканический остров - в океанах практически все острова имеют вулканическое происхождение.

На рис. 5.8 представлен путь раскаленной лавины (газово-пирокластическая масса, 350 - 450<sup>0</sup> С) по долине р. Бланш.

1. Направление движения палящей тучи (250-350<sup>0</sup> С).
2. Граница района опустошения.

3. Приблизительная площадь купола.
4. Скорость движения палящей тучи  $\sim 150$  м/сек

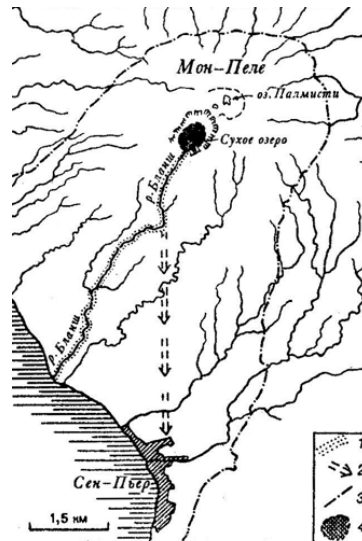


Рис. 5.8. Путь раскаленной лавины (газово-пирокластическая масса,  $350 - 450^{\circ}\text{C}$ ) по долине р. Бланш

Горячая туча преодолела расстояние меньше, чем за 2 минуты. Взрыв произошел не в центральной части кратера, а на склоне – после этого такой тип вулканов начали называть *пелейским*. Газы и тонкий пирокластический материал тяжелее воздуха, поэтому распространяются по понижениям в рельефе.

Как можно видеть на рисунке, р. Бланш делает поворот – основная масса газопылевой смеси пошла вниз по течению реки, а верхняя часть массы в виде палящей тучи оторвалась и направилась точно в сторону Сен-Пьер – за 2 минуты погибло 36 тысяч человек.



Рис. 5.9. Обелиск вязкой лавы. Высота  $\sim 330$  м, диаметр 100-170 м.

Почему разные оценки температуры палящего облака? Кварц плавится при температуре порядка 700 градусов – в городе расплавились кварцевые бутылки, но при этом, крупа в пакетах не пострадала.

В Сен-Пьере спасся один человек - Аугусте Кипарис. На тот момент, когда взорвался Мон-Пеле, молодой человек находился в каменной тюрьме, единственное окно в которой было обращено в сторону от Мон-Пеле. Откопали узника лишь через неделю. После окончания извержения из жерла вулкана начал расти обелиск (рис. 5.9).

Рузвельт, узнав о случившемся, направил спасательную экспедицию. Экспедиция в течение недели не могла причалить к берегу – настолько он был горячим.

Обратная ситуация наблюдается на **Гавайях**. Извержения там проходят абсолютно спокойно с небольшими всплесками с образованием потоков и лавовых озер. Извержения не похожи друг на друга. Характер и тип извержения зависит от свойств материала, который участвует в извержении.

Интенсивность вулканической деятельности сильно различается и зависит от свойств извергаемого материала.

### **5.6. Магма. Магматические породы**

Магма (греч.) – густая мазь. Магма представляет собой силикатный расплав, состоящий главным образом из оксидов кремния, алюминия, кальция, железа, магния, титана, натрия и калия.

В магматическом расплаве растворены разнообразные флюиды – летучие компоненты (пары воды, углекислота и другие газы).

При охлаждении и затвердевании (кристаллизации) в магме образуются различные минералы – соли кремниевой кислоты. Преимущественно – это минералы класса силикатов, из которых состоят магматические горные породы.

При охлаждении и затвердевании (кристаллизации), когда температура падает медленно и кристаллы успевают вырасти, в магме образуются различные минералы - соли кремниевой кислоты. Преимущественно, это минералы класса силикатов, из которых состоят магматические горные породы – первичные горные породы, которые являются результатом кристаллизации или затвердевания вещества, слагающего сло ниже земной коры.

Магму напрямую не изучают, поскольку это опасно для жизни. Источники информации о магме:

- Наблюдаемые извержения. Состав извергающегося материала возможно узнать после его застывания.



- Разнообразные магматические породы. Состав которых сохраняет пропорции химических элементов, свойственные расплавам, за исключением летучих компонентов, потерянных при затвердевании.
- Данные экспериментальной петрологии – ведется моделирование процессов.
- Геофизика (сейсмика) – изучение на глубине. Какую форму имеет тело, на какой глубине оно залегает?

В зависимости от места и способа своего образования (генезиса) магматические породы делятся на три класса:

I. Плутонические (глубинные) породы (абиссальные и мезоабиссальные)

II. Вулканические породы (поверхностные и приповерхностные)

III. Гипабиссальные породы (образуются на небольших глубинах и занимают по условиям залегания и структуре промежуточное положение между плутоническими и излившимися вулканическими породами).

Такое деление отражает термодинамические (P-T) условия кристаллизации расплавов. Деление зависит в первую очередь от глубины кристаллизации расплава – на поверхности будет одна ситуация, на глубине при медленном падении температур будет совершенно иная ситуация; отражается в строении пород, иногда и в минералогических особенностях.

### **5.7. Плутонические, вулканические, вулканогенно-обломочные породы**

**Плутонические породы** (интрузивные, глубинные внедрившиеся) – образуются в толще земной коры на различных глубинах. Становятся доступными для изучения после выведения на дневную поверхность благодаря подъему блоков земной коры и удалению перекрывающих пород.

Вулканические (поверхностные и приповерхностные), среди которых выделяются:

- 1) **собственно вулканические** (эффузивные, излившиеся) - образуются в результате быстрого остывания на поверхности земной коры в морских или наземных условиях.
- 2) **вулканогенные обломочные** - образуются в результате осаждения на поверхности Земли обломочного вулканогенного материала, выброшенного в атмосферу при взрывных извержениях.

Плутонические (интрузивные), вулканические (эффузивные) и гипабиссальные магматические породы могут образоваться из магмы одного и того же химического состава, поэтому почти каждая глубинная магматическая порода имеет излившийся аналог, схожий с ней по химическому составу.

Химический состав магматических пород принято представлять в виде процентного содержания главных петрогенных (образующие породы) оксидов: SiO<sub>2</sub>, So<sub>3</sub>, Feo, FeO, MnO, MgO, TiO<sub>2</sub>, CaO, Cao, H<sub>2</sub>O и H<sub>2</sub>O Сумма этих оксидов составляет до 98% массы магматических пород.

Любой из этих оксидов можно было бы взять за основу классификации, но не все из них присутствуют абсолютно во всех породах. Такой оксид лишь один – кремнезема SiO<sub>2</sub> (не минерала кварц, а петрогенного оксида, который входит своим составом в силикаты).

В 2009 году вышел петрографический кодекс магматических и метаморфических пород, который в настоящее время является законом для всех геологических организаций, работающих в России. Все перечисленные названия взяты из него.

По химическому составу, по содержанию SiO<sub>2</sub> (кремнезёма) магматические горные породы каждого класса подразделены на шесть отрядов:

- некремнезёмистые и низкокремнезёмистые < 30 % SiO<sub>2</sub>;
- ультраосновные 30-45% SiO<sub>2</sub>;
- основные 45-52% SiO<sub>2</sub>;
- средние 52-63% SiO<sub>2</sub>;
- кислые 63-78% SiO<sub>2</sub>;
- высококремнезёмистые (ультракислые) >78% SiO<sub>2</sub>

**Это разделение необходимо знать наизусть и уметь отвечать на экзамене.**

Наиболее распространены в земной коре магматические породы четырех отрядов: кислые, средние, основные и ультраосновные (рис. 5.10). Цвет и крап в таблице аналогичен тем, что используются на геологических картах.

Классы пород	Отряды пород по содержанию SiO <sub>2</sub>			
	Кислые 78-63%	Средние 63-52%	Основные 52-45%	Ультраосновные <45%
Плутонические (интрузивные, абиссальные и мезоабиссальные)	Граниты +++++	Диориты xxxxx	Габбро ggggg	Перидотиты ppppp
Вулканические (эффузивные, поверхностные и приповерхностные)	Риолиты - - - - -	Андезиты vvvvv	Базальты lllll	Пикриты uuuuu

Рис. 5.10. Отряды магматических горных пород

### Самые распространенные на Земле магматические породы

Среди интрузивных пород самой распространенной породой является гранит (кислая порода) – до 90 %.

Среди излившихся пород (породы, слагающие дно мирового океана) – базальт (основная порода), до 85%.

### 5.8. Флюиды. Вязкость расплавов

На рис. 5.11 показано, как проходит отбор проб вулканических газов – так работают вулканологи с газовыми анализаторами.



Рис. 5.11. Отбор проб вулканических газов

Газовый состав магмы на глубине сложен и не совсем ясен, т.к. прямым измерениям недоступен – на глубине состав газов, как и магмы, не изучается. Изучение происходит после окончания извержения, когда дымы выделяются на поверхности. Определение состава газа происходит по отобраным пробам.

В действующих вулканах среди летучих содержатся: водяной пар ( $H_2O$ ) – 50-90%, углекислый газ ( $CO_2$ ), оксид углерода ( $CO$ ), азот ( $N_2$ ), диоксид серы ( $SO_2$ ), оксид серы ( $SO_3$ ), газообразная сера ( $S$ ), водород ( $H_2$ ), аммиак ( $NH_3$ ), хлористый водород ( $HCl$ ), фтористый водород ( $HF$ ), сероводород ( $H_2S$ ), метан ( $CH_4$ ), хлор ( $Cl$ ) и др.

Часть летучих плохо растворяются и легко отделяются от расплава. Другие хорошо растворяются и трудно отделяются от расплава.

Опытным путем было установлено, что «сухие» расплавы (лишенные летучих) затвердевают (кристаллизуются) при высоких температурах 1500-1600 С. Содержащие летучие (вода, фтор, хлор, литий и др.) природные магмы основного состава кристаллизуются при температурах 1200-1300 С, а кислые – менее 1000.

На рис 5.12 представлены графики плавления пород и альбита (кислый плагиоклаз) под давлением воды. Количество летучих вызывает флюидное давление. Флюидное давление снижает температуру кристаллизации магмы.

Растворение воды приводит к замещению анионов О на группу ОН, связанную с катионами Si слабее. Количество летучих влияет на подвижность расплава – вязкость

расплава понижается, подвижность увеличивается с увеличением количества летучих. Например, если извержение взрывное – в нем мало летучих, если летучих много – извержение спокойное.

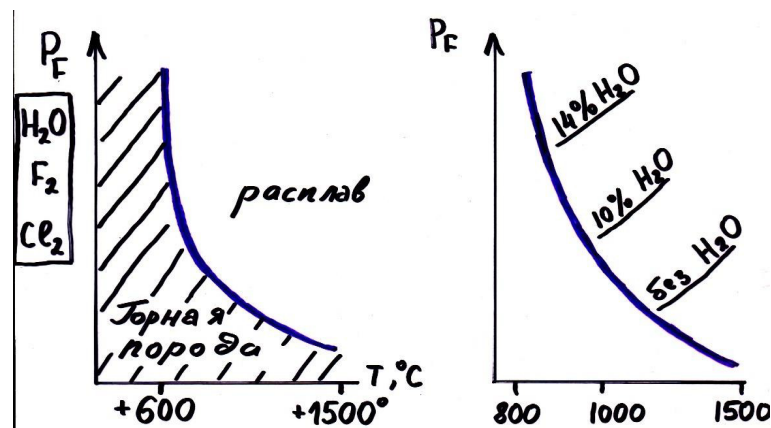


Рис. 5.12. Графики плавления пород и альбита под давлением воды

Вязкость магм зависит от их химического состава и температуры. Вязкость магм, находящихся при одинаковой температуре, возрастает от основных расплавов к кислым.

Рост вязкости вызван увеличением степени полимеризации расплавов по мере роста содержания  $\text{SiO}_2$ . Повышается доля прочных связей  $\text{Si}-\text{O}$ , подвижность расплава уменьшается.

Растворение воды приводит к замещению анионов кислорода на группу  $\text{OH}$ , связанную с катионом  $\text{Si}$  слабее. Вязкость расплава понижается, подвижность увеличивается.

Повышение температуры всегда ведет к понижению вязкости и повышению подвижности расплава.

При одной и той же температуре основные породы будут более подвижны, чем кислые породы.

### 5.9. Выводы. Фазовые состояния

Условия остывания магмы и превращения её в горную породу и плавления породы с образованием магмы приведены на рис. 5.13. Эти условия **необходимо знать и уметь отвечать на экзамене.**

Магма застывает при падении температуры, увеличении давления (вода на высоте 6000 м закипит быстрее, чем воды на уровне моря, поскольку давление препятствует закипанию и плавлению), удалении летучих (если убрать летучие из расплава, магма начнет кристаллизоваться при той же температуре).

Породы плавятся при подъеме температуры, снижении давления и добавлении летучих.

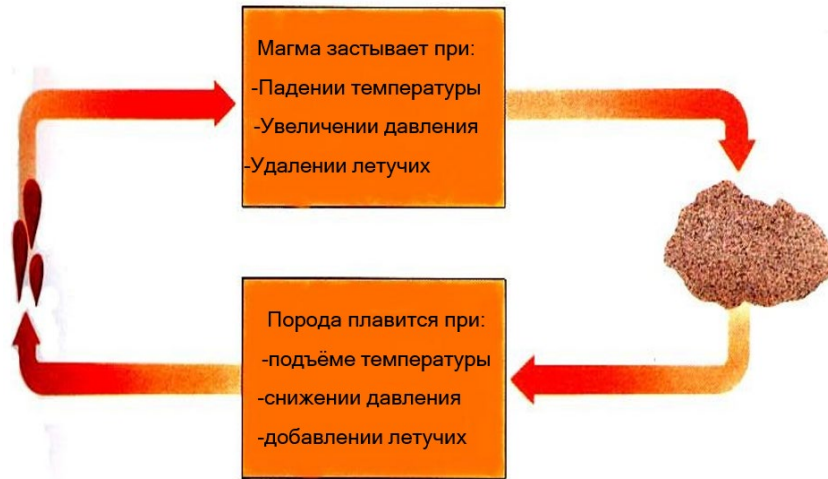


Рис. 5.13. Условия остывания магмы и превращения её в горную породу и плавления породы с образованием магмы

На рис. 5.14 приведена диаграмма фазового состояния для твердых растворов плагиоклазового ряда по Норману Л. Боуэну (1887-1956).

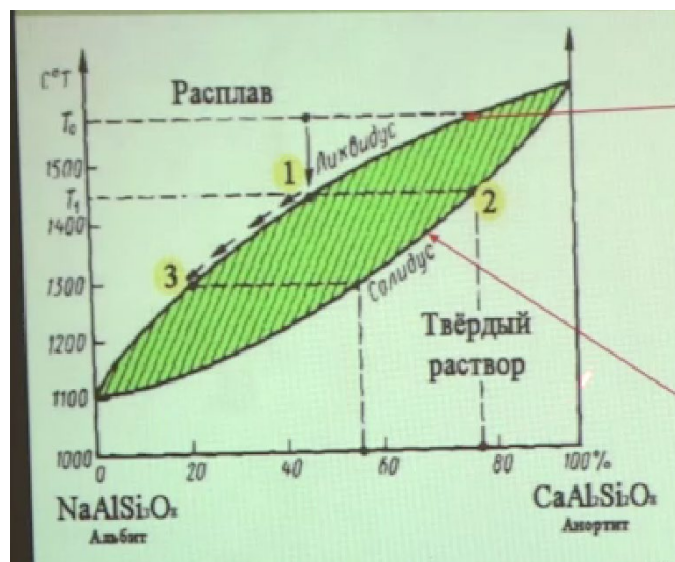


Рис. 5.14. Диаграмма фазового состояния для твердых растворов плагиоклазового ряда по Норману Л. Боуэну (1887-1956)

Ликвидус - на фазовых диаграммах линия полного плавления твёрдых фаз. Линия, выше которой находится только жидкость. Линия, на которой появляются первые кристаллы.

Ликвидус разделяет расплав без кристаллов – выше этой линии расплав лишен кристаллов, там находится исключительно жидкость.

Солидус - линия на фазовых диаграммах, на которой исчезают последние капли расплава. Линия, ниже которой находится только твердая фаза.

Область существования реальной магмы, в которой есть и жидкая фаза, и твердая, и газообразные флюиды, на рисунке изображена зеленым.

Кристаллизация магмы происходит с одновременным падением температуры:

*Вариант 1. Охлаждение идет быстро.* Расплав переохлаждается и превращается в вулканическое стекло, поскольку кристалл не успевает вырасти (точки 0 -> 1-> 6 на рис. 5.15). Все излившиеся породы будут содержать стекловатый материал, а глубинные породы - нет.

*Вариант 2. Медленное охлаждение и кристаллизация расплава (на глубине).* С падением температуры от точки 0 в точке 1 появляются первые кристаллы, состав которых отвечает точке 4. При дальнейшем охлаждении эти кристаллы вступают в реакцию с оставшимся расплавом, состав которого движется от точки 1 к точке 2, а состав кристаллов - от точки 4 к точке 5.

Таким образом, те кристаллы, которые образуются в расплаве, разделяются, и часть их вступает в реакцию с оставшимся расплавом, часть падает на дно магматической камеры и образует горную породу (поскольку температура продолжает падать, и они уже не растворяются). Непрерывный изоморфный ряд плагиоклазов.

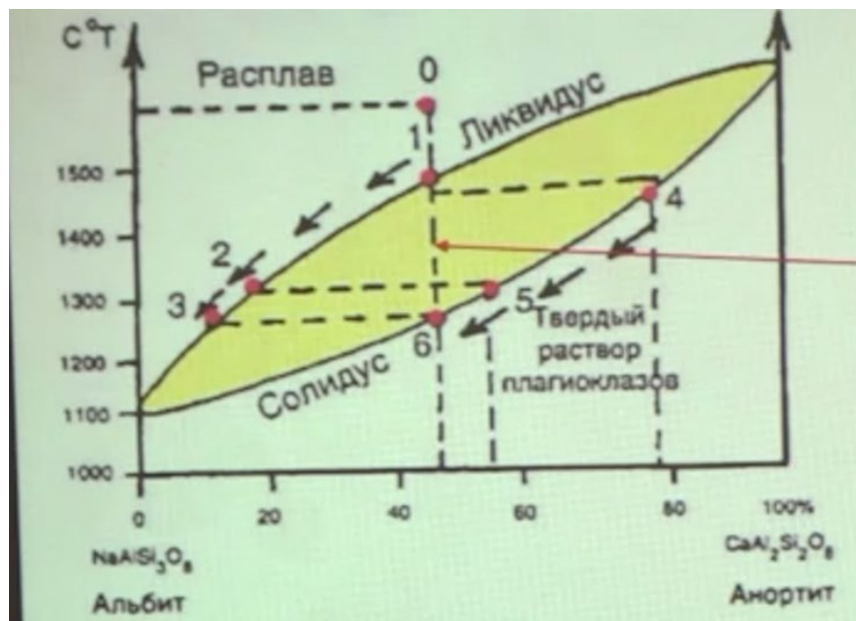


Рис. 5.15. Кристаллизация магмы

Состав магмы постоянно изменяется. Отделение кристаллов от расплава при определенных температуре и давлении происходит под действием силы тяжести.

---

В зависимости от изменения температуры, давления, состава газов и т. п. меняются расплавы и образовавшиеся в нём ранее кристаллы минералов - одни растворяются, другие возникают вновь, погружаются на дно магматической камеры. Весь объём магмы непрерывно эволюционирует.

Первую физико-химическую модель кристаллизации базальтовой магмы на экспериментальной основе разработал Норман Л. Боуэн в 1928 году.

## Лекция 6. Вулканизм

### 6.1. Примеры вулканизма

Вулканизм – процесс, который имеет огромное значение в истории Земли. Рассмотрим несколько примеров вулканов.

**Вулкан Стромболи** – часть Липарских островов, расположенных к северу от Сицилии. Вулкан извергается каждый год. Стромболи представляет собой классический конусовидный вулкан с кратером на вершине.

Несколько лет назад произошло извержение небольшого вулкана в Исландии. При этом случилось огромное количество выброса газов с пеплом – мельчайшими вулканическими частицами. При извержении вулканов очень развита грозовая деятельность, но при этом на небе не наблюдается облаков – лишь молния. Это связано с тем, что пепел наэлектризовывается.

На это извержение было обращено повышенное внимание, поскольку ветер, обращенный на Европу, принес в нее огромное количество пепла – полностью прекратилось авиасообщение.

### 6.2. Определение вулканизма. Магма

**Вулканизм** – внешнее проявление магматизма Земли, объединяющий все явления, связанные с выходом магмы на земную поверхность.

Глубже земной коры находятся участки, которые периодически расплавляются. Этот расплав – магма («тесто»), под давлением газа может выплескиваться на поверхность.

**Магма** – это трёхкомпонентный расплав, состоящий из жидкости, твёрдых кристаллов и летучих, находящихся как в растворённом виде, так и в виде газовых пузырьков.

Любое вулканическое извержение – это процесс дегазации магмы. Газы – движитель извержения. Известной моделью извержения является пена шампанского, появляющаяся за вылетающей из бутылки пробкой. Процесс начинается только после удаления пробки.

Извержение – это снятие давления. В бутылке, закрытой пробкой, растворенный газ находится под давлением – никаких пузырьков не наблюдается. Для того, чтобы шампанское вылилось, пробку необходимо удалить – если жидкость сильно нагрета, она может выплеснуться целиком.

Это классическое моделирование извержения – магма, содержащая большое количество газа, находится под давлением. После снятия пробки давление уменьшилось, и жидкость с газом вышла на поверхность. При этом извержение может происходить с разной скоростью – это будет зависеть от насыщенности газами.



Магматическое извержение также начинается с «удаления пробки» – снятия или преодоления давления вышележащих пород.

Магма движется к поверхности рывками. Каждый очередной прорыв сопровождается землетрясением.

### 6.3. Главные формы вулканических извержений

Способ и скорость отделения летучих от магматического расплава определяют главные формы вулканических извержений.

- 1) Если магма маловязкая, подвижная, летучие отделяются спокойно. Происходит излияние жидкой лавы (**эффузия**) с образованием лавовых потоков (рис. 6.1). **Лав** – это дегазированная магма.

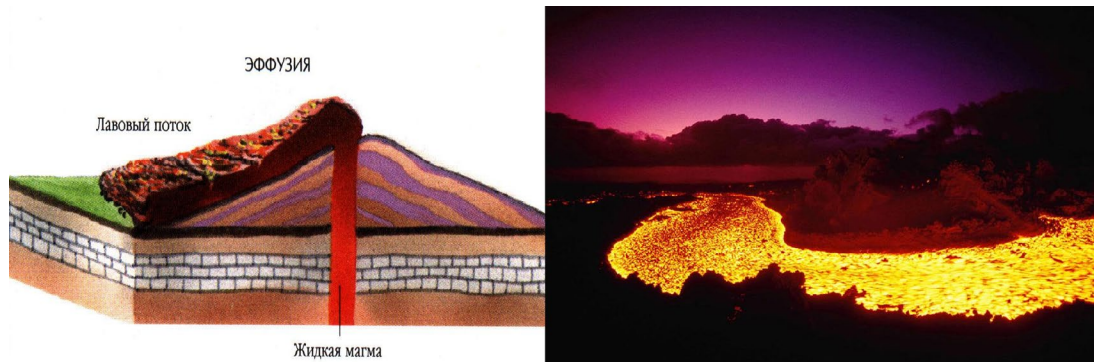


Рис. 6.1. Эффузия

- 2) Если газы отделяются быстро, то происходит вскипание магматического расплава и он разрывается расширяющимися газовыми пузырьками. Происходит взрывное извержение – **эксплозия** (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Эксплозия

На рис. 6.2 показан подводный канал, происходит резкое снятие давления и взрыв. Магма, находившаяся в подводном канале, оказалась разорвана на кусочки.

- 3) Если магма вязкая и температура её невысока, то расплав медленно выдавливается из жерла вулкана. Происходит его выжимание на поверхность – **экструзия** (рис. 6.3).

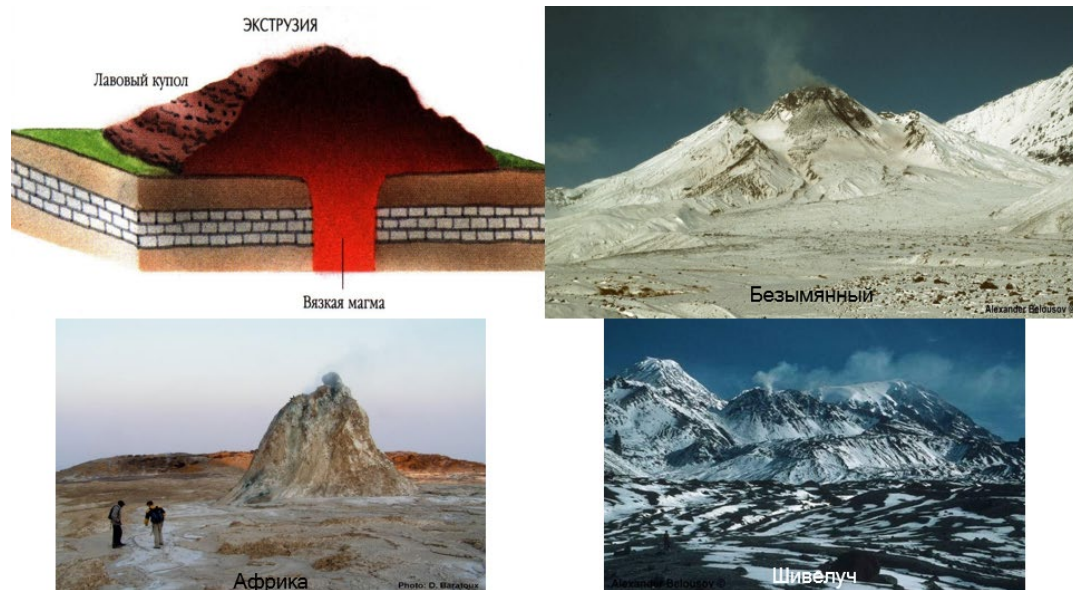


Рис. 6.3. Экструзия

Экструзия означает выдавливание – речь о вязкой магме, не изливающейся и не взрывающейся, а выдавливающейся.

Пример: вулкан Безымянный, расположенный близ Ключевского. В 1958 году при извержении конус вулкана взорвался, произошло очень мощное эксплозивное извержение. Внутри взорвавшегося вулкана образовалась впадина – *кальдера*. Далее, в кальдере начал выдавливаться новый вулканический конус - *экструзивный*.

#### **6.4. Продукты вулканических извержений. Летучие. Фумаролы**

Вулканы выбрасывают газы, пар, частицы и т.д. Например:

- Везувий в 1906 г. 1226 куб. км за 15 часов
- Ключевской в 1948 г. 15,8 куб. км за 24 часа
- Гекла в 1947 г. 0,003 куб. км за 24 часа

Все, что выбрасывается при взрывах, называется **летучими**. Состав летучих сложен и изучен недостаточно, т.к. прямым измерениям на глубине недоступен. В основном это водяной пар.

В действующих вулканах среди летучих содержатся: водяной пар ( $H_2O$ ) – 50-90%, углекислый газ ( $CO_2$ ), оксид углерода ( $CO$ ), азот ( $N_2$ ), диоксид серы ( $SO_2$ ), триоксид серы ( $SO_3$ ), газообразная сера ( $S$ ), водород ( $H_2$ ), аммиак ( $NH_3$ ), хлористый водород ( $HCl$ ),

фтористый водород ( $\text{HF}$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), хлор ( $\text{Cl}$ ) и др. – весь набор составляющих всегда присутствует при извержении.

Состав вулканических газов и их концентрация меняются в пределах одного вулкана и сильно зависят от температуры.

Состав газов сильно зависит от строения земной коры того места, где расположен вулкан. Газы континентальных вулканов резко отличаются от газов вулканов океанических островов.

**Фумаролы** – выход газов при высокой температуре (от слова «фум» - дым, курить).

Газы в разных вулканах разные. Например, в базальтовых вулканах на Гавайях преобладает  $\text{CO}_2$ , а на Камчатке  $\text{CO}_2$  составляет всего 14 %. Базальтовые вулканы – вулканы основной магмы, дацитовые – вулканы с промежуточной между кислой и основной.

### **6.5. Жидкие продукты вулканических извержений**

Магма, прорываясь к поверхности Земли, взаимодействует с окружающими породами, полностью или частично растворяет (асимилирует) вещество окружающих пород и изменяет свой состав.

Магма изливается на поверхность в виде лавы, которая отличается от неё потерей большей части летучих. Химический состав, температура, содержание летучих, вязкость лавы определяют форму, протяженность, строение поверхности лавовых потоков.

#### **Разделение лав по химическому составу**

По химическому составу лавы делятся на (**необходимо знать на экзамене**):

1) **Кислые** ( $>64\% \text{SiO}_2$ ) представлены риолитовыми и дацитовыми (менее кислые, чем риолитовые) лавами. Температура: дацитов –  $800-1100^\circ\text{C}$ , риолитов –  $700-900^\circ\text{C}$ . Плотность –  $2,1 - 2,2 \text{ г/см}^3$ . Вязкость – высокая.

2) **Средние** ( $\text{SiO}_2 - 64-53\%$ ) представлены андезитовыми лавами. Температура –  $950-1200^\circ\text{C}$ . Плотность –  $2,5 \text{ г/см}^3$ , вязкость – средняя.

3) **Основные** ( $\text{SiO}_2 - 53-45\%$ ) представлены базальтовыми лавами. Температура –  $1000-1200^\circ\text{C}$ . Плотность –  $2,6 - 2,8 \text{ г/см}^3$ . Вязкость – низкая.

4). **Ультраосновные** ( $\text{SiO}_2 < 45\%$ ) представлены пикритовыми лавами. Сейчас практически не встречаются, но довольно широко были распространены в докембрии. Пример: коматииты (от р. Комати в Ю. Африке) из семейства пикритов с характерной для них структурой спинифекс, обусловленной скелетными кристаллами оливина или пироксена.

### 6.6. Строение лавовых потоков

Маловязкие, подвижные, горячая базальтовые лавы могут двигаться со скоростью до 60 км/час. Они образуют протяженные лавовые потоки (более 100 км, Исландия). Толщина потоков обычно 3-15 метров (на Гавайях, где лавы очень жидкие – 3-5 м).

Как правило, при извержении лава не выбрасывается высоко. Поскольку лава очень жидкая, она распространяется на большое расстояние. Причем, скорость риолитовых и дацитовых лавовых потоков гораздо ниже скорости базальтовых лав.

По характеру строения поверхности лавового потока выделяют четыре основных типа лав.

1) **Пахоэхоэ** – самые жидкие и подвижные базальтовые лавы. При остывании поверхность потока сморщивается и приобретает различную форму.

Канатные лавы – поверхность потока похожа на лежащие канаты (рис. 6.4). По форме часто напоминают свернутые веревки.

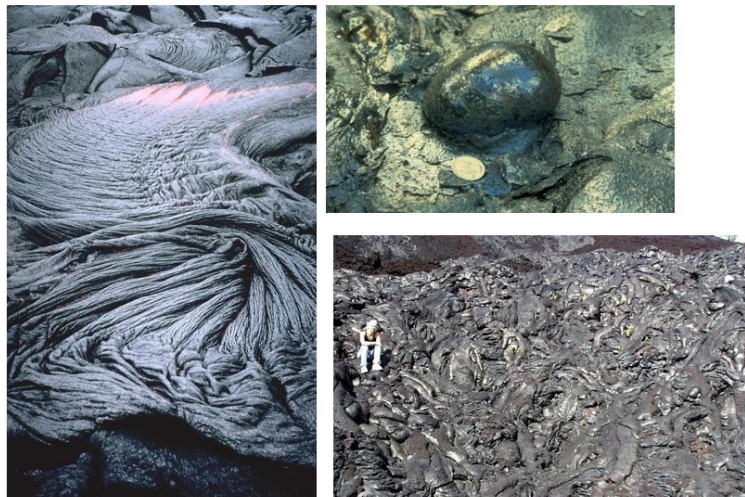


Рис. 6.4. Пахоэхоэ

Такая жидкая лава течет почти как воды и образует тоннели. Если лава течет и впадает в океан, могут образовываться лавопады. При разбрызгивании лавы образуются конусы разбрызгивания (**корнито**). (рис. 6.5). Корнито – набросанные обломки лавы при взрыве.

2) **Аа-лава** – более вязкая, менее подвижная глыбовые лавы. При остывании поверхность потока покрывается остроугольными обломками с многочисленными шипами, образующимися при неоднократном дроблении твердой корки потока (рис. 6.6).



Рис. 6.5. Лавопад



Рис. 6.6. Аа-лава

Большое количество Аа-лав наблюдается на Эльбрусе. Такая форма получается благодаря тому, что верхняя часть лавового потока быстро «схватывается», пока нижний продолжает течение.

Происходит растрескивание, появляются обломки, передвигающиеся во фронтальную часть (на рисунке видны черным). Обломки заново вовлекаются еще идущей лавой, и так происходит по кругу. При этом образуется глыбовый поток. Поверхность застывшей аа-лавы похожа на шлак.

3) **Глыбовые лавы** – имеют ещё большую вязкость. Они встречаются в андезитовых, дацитовых и риолитовых лавах. Образуют сравнительно короткие и мощные потоки, поверхность которых покрыта коркой больших угловатых глыб, образовавшихся при разломе затвердевшей поверхности потока. Имеют характерные напорные и бортовые валы (рис. 6.7).



Рис. 6.7. Фронтальная часть потока глыбовой лавы

При движении потока куски застывшей верхней корки отваливаются, падают вниз и перекрываются лавой. В результате в основании потока образуется слой, обогащённый обломками.

**Столбчатая отдельность** характерна, в основном, для базальтовых лав, но встречается и среди кислых лав. Распространена на Кавказе (рис. 6.8). На рисунке можно видеть, что столб сложен «шашками».

На схеме изображено следующее: верхняя глыбовая часть, лава-брекчия в основании и в центральной части находится столбчатая отдельность, причем верхние столбы больше по размеру, чем нижние.

Столб образуется следующим образом: излившийся лавовый поток достаточно жидкий, в нем возникает множество центров охлаждения, но не все центры «выживают». К центрам начинает стягиваться материал, вокруг них возникают трещины, и появляется отдельность в виде ячеек. Поскольку лава остывает неравномерно, такие ячейки образуются последовательно друг над другом – таким образом происходит рост столба. Столб может расти как сверху вниз, так и снизу вверх, но сверху охлаждение идет быстрее, чем снизу, поэтому таких столбов больше (**необходимо объяснить на экзамене в вопросе про образование столбчатой отдельности**).

В идеале столбчатая отдельность шестигранная, хотя бывают разные случаи. Столбчатая отдельность может быть и в интрузивном теле – например, в дайке, и в эффузивном теле.

Появление столбчатой отдельности говорит о том, что магма излилась, а затем медленно остывала – при быстром остывании столбчатая отдельность не образуется.

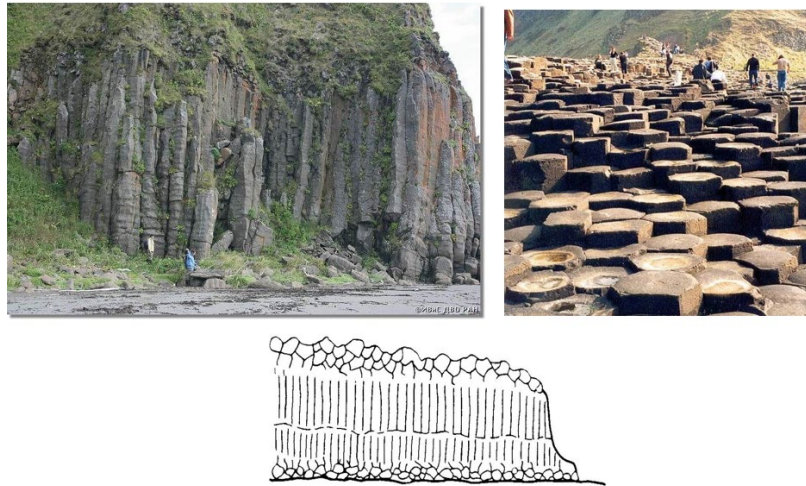


Рис. 6.8. Столбчатая отдельность

4) **Пиллоу-лавы (подушечные)** – особый тип базальтовых лавовых потоков, образующихся только в подводных условиях (сейчас в рифтовых долинах срединно-океанских хребтов).

Образуется исключительно в глубоководных условиях, поскольку давление столба воды не позволяет произойти эксплозивному извержению. Базальтовая магма выдавливается – образуются «подушки» или шары (рис. 6.9).



Рис. 6.9. Подушечные лавы

Размер «подушек» - первые метры. Промежутки между «подушками» заполнены осадочным материалом, или стекловатыми обломками – продуктами разрушения внешней корки «подушек». Каждая подушка – выдавленная капля расплава.

Такие породы наблюдаются в Крыму (Петропавловский карьер, недалеко от Симферополя). Пиллоу-лавы всегда указывают на относительную глубоководность извержения.

В разрезе «подушек» четко видна внешняя быстро застывшая стекловатая корка и раскристаллизованное внутреннее ядро (рис. 6.9, снизу).

### **6.7. Твердые продукты вулканических извержений**

*Твёрдые продукты вулканических извержений* – обломки различной величины (от долей мм до нескольких метров), которые образуются во время взрывных (эксплозивных) извержений вулканов. Пирокластический материал, тефра – «горячие обломки».

Объёмы пирокластического материала в десятки раз превышают объёмы лав, образующихся при извержении.

Образуется при взрывном извержении, разносится ветром, что представляет угрозу жизни человека.

В зависимости от величины обломков среди тефры различают *вулканические бомбы, лапилли, песок и пепел*.

При взрывном извержении образуются вулканические обломки, которые называются бомбами. Вулканические бомбы – самый грубый пирокластический материал. Размеры – от 5-6 см до нескольких метров и весят они нередко десятки тонн.

Вулканические бомбы – это обломки стенок кратера вулкана и сгустки еще горячей, выброшенной в пластичном состоянии лавы (рис. 6.10).



Рис. 6.10. вулканическая бомба

Во время полёта лава охлаждается, затвердевает и принимает очень разнообразную форму. Бомбы могут образовывать целые слои, могут иметь разную форму: сферическую, вытянутую, овальную, эллиптическую, грушевидную, ленточную



и веретенообразную (наиболее вязкие), с поверхностью типа «хлебной корки», типа «коровьей лепешки» (наиболее жидкая).

**Лапилли** (от лат. *lapillus* – камешек) - пузырьчатые, угловатые или округлые обломки пемзы величиной от горошины до грецкого ореха (3-6 см) (рис. 6.11). Именно лапиллии засыпали Помпеи.



Рис. 6.11. Лапиллии

Экзотические виды лапилли Гавайских островов – базальтовые волосы Пеле и слезы Пеле представлены на рис. 6.12. Это базальтовое вулканическое стекло. Встречаются в виде больших скоплений.



Волосы Пеле.

Слёзы Пеле.



Рис.6.12. Виды лапиллий

**Вулканический песок** – более тонкие шлаковые частицы лавы величиной от 1-2 мм до горошины, перемешанные с мелкими кристаллами или обломками кристаллов различных минералов.

**Пепел** – мелкая (от долей до миллиметра) пыль белого, серого, бурого или чёрного цвета, состоящая из частиц лавы, вулканического стекла, осколков минералов, обломков стенок кратера.

Вулканический пепел составляет главную массу твёрдого пирокластического материала. Частицы пепла - дугообразные, серповидные и неправильно изогнутые формы частиц пепла, состоящего из вулканического стекла.

На поверхности Земли рыхлая тефра уплотняется под действием силы тяжести и воды, цементируется и превращается в твёрдую вулканогенно-обломочную слоистую породу – **туф**.

### **6.8. Вулканические аппараты**

Строение вулканических аппаратов (выход магмы на поверхность) зависит от множества факторов:

- 1) тектонического положения вулкана и строения его субстрата,
- 2) характера извержений, их интенсивности, длительности,
- 3) физико-географических условий, в которых протекает вулканический процесс (наземная или подводная обстановка, рельеф, климат и т.д.).

В зависимости от строения и взаимного расположения магмовыводящих каналов различают вулканические аппараты *ареального, трещинного (линейного) и центрального типов*.

#### **Ареальный тип вулканического аппарата**

Ареальный тип вулканизма - массовые извержения на обширной площади через множество мелких трещин, которые, закупориваясь, отмирают и заменяются новыми центрами извержений.

#### **Линейные (трещинные) вулканы**

При трещинном типе извержения роль магмовыводящего канала играет глубокая протяженная трещина. Расплав выходит на поверхность либо вдоль всей трещины, либо на одном или нескольких ограниченных участках, перемещение активных центров извержения происходит вдоль трещины.

*Пример:* вулкан Лаки (Исландия). Извержение 1783 года. Трещина длиной 25 км. На поверхность было выведено 11,7 км<sup>3</sup> лавы.

#### **Вулканы центрального типа**

У вулканов центрального типа, как правило, один трубообразный магмовыводящий канал. В плане вулканы имеют округлую форму. Пример: вулкан Эльбрус.

Как правило, при ареальном и трещинном извержениях образуются *монокенные вулканические центры*, характеризующиеся однократным извержением, после которого их деятельность прекращается.

Вулканы центрального типа – полигенные вулканы, отличающиеся длительной активностью и многократными извержениями. Их деятельность происходит в течение тысяч, а нередко и миллионов лет.

Для вулканов центрального типа характерны конус, вершинный кратер, подводящий канал или несколько подводящих каналов. Форма и внутреннее строение вулкана центрального типа зависит от свойств магмы.

### **Щитовые и стратовулканы**

При извержении основной, базальтовой жидкой лавы выбросы пирокластики крайне незначительны. Образуются вулканы с очень пологими ( $5-10^0$ ) склонами, сложенными только лавой. Они имеют форму огромных пологих щитов диаметром в десятки км, а высотой в несколько км. Величайший щитовой вулкан Мауна-Лоа. Диаметр 200км, высота > 9 км.

### **Стратовулканы («слоистые»)**

Извержения более кислой, вязкой и менее подвижной лавы сопровождаются частыми взрывами с выбросами пирокластики и образованием на склонах вулканов шлейфов из тефры.

Вулканы, конусы которых сложены чередующимися потоками лавы и слоями пирокластического материала, называют слоистыми (смешанными) или стратовулканами. Крутизна склонов конусов стратовулканов  $20-30^0$ . Высота от основания 3-4 км. Пример: вулкан Килиманджаро.

Сложный стратовулкан состоит из конуса, кальдеры, множества вторичных кальдер внутри кратера.

Зависимость вулканических форм рельефа от состава лавы представлена на рис. 6.13. **Примеры для ответа на экзамене:**

- Трещинный вулкан – Лаки, Исландия
- Стратовулкан – Эльбрус
- Массивный поток обсидиановой лавы – вулканы Армении
- Щитовые вулканы – Гавайские острова
- Сложные стратовулканы – Камчатка
- Экструзивный риолитовый купол – в Украине

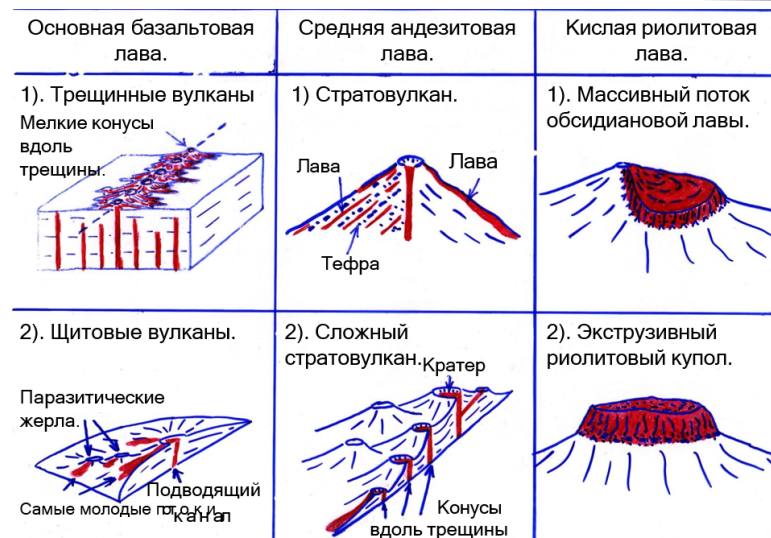


Рис. 6.13. Зависимость вулканических форм рельефа от состава лавы

**Вулкано-тектонические структуры** - отрицательные формы рельефа, связанные с вулканами.

Механизм образования следующий: после взрыва вулкана образовалась впадина, вырос купол – молодой внутренний вулкан. Так может происходить несколько раз.

Кальдеры отличаются по форме – закрытые и открытые (рис. 6.14). По происхождению кальдеры могут быть проседания (обрушения) и кальдеры взрыва.



Рис. 6.14. Формы кальдер

**Вулкано-тектонические депрессии** – прогибание земной коры под крупными вулканами, поскольку в каких-то местах глубинный очаг выходит на поверхность, масса и нагрузка меняются местами, и происходит проседание.

### 6.9. Типы вулканических извержений. Категории наземных извержений

Классификации вулканов по типу извержений условны. Извержения многих вулканов занимают промежуточное положение между выделяемыми типами.

Со временем некоторые вулканы меняют характер извержения. Попробуем объединить вулканы не по «эталонным» типам извержения (гавайский, стромболианский, везувианский, этнинский и т.д.), а по способу выхода магмы на поверхность - эффузия, эксплозия, экструзия.

### **Категории наземных извержений**

**Эффузивные извержения.** Излияния основной базальтовой, подвижной, жидкой лавы. Проявляются, за редким исключением, на островах в океане.

- Гавайский тип. Плоские щитовые вулканы центрального типа (Мауна-Лоа и т.д.).
- Исландский тип. Трещинные вулканы (Лаки, 1783 г., Плоский Толбачик, 1975 г.

**Эффузивно-эксплозивные извержения-** извержения средней андезитовой лавы и выбросы твёрдых и газообразных продуктов. Стратовулканы центрального типа (Поздний Везувий, Этна, Стромболи, Ключевской).

**Эксплозивно-экструзивные извержения** - взрывные выбросы твёрдых и газообразных продуктов, извержение или выдавливание малого количества лавы среднего или кислого риолитового состава (Мон-Пеле, Суфриер, Швелуч, Безымянный).

**Эксплозивные извержения** - необычно сильные взрывы с выбросами огромного количества газов и пепла. Лава кислая дацитового или риолитового состава на поверхности не появляется (Кракатау, Катмай, Бандайсан).

**Поствулканическая (фумарольная) стадия** - характеризуется выходом на поверхность горячей воды и газо-паровых струй – фумарол (лат. «фумус» - дым).

По составу газов и температуре фумаролы делят на:

- 1) Сухие, температура  $> 500$  С, пары воды отсутствуют, содержат хлористые соединения натрия и калия...
- 2) Кислые, температура 300-400 С, содержат пары воды, хлористый водород, диоксид серы ...
- 3) Щелочные, температура  $> 180$  С, содержат пары воды, аммиак, сернистый газ...
- 4) Сернистые (сульфатары), температура 100-180 С, преобладают сероводород и сернистый газ.
- 5) Мофетты, температура  $< 100$  С, преобладает углекислый газ.

## **Лекция 7. Магматизм**

### **7.1. Магматизм. Вулканизм**

**Магматизм** – процесс образования и перемещения из глубоких недр Земли к её поверхности горячих силикатных расплавов (магм), содержащих в растворённом виде летучие компоненты (пары воды и различные газы).

Магматизм принято делить на:

- 1) Магматизм глубинный или интрузивный (лат. «интрузио» - проникать, внедрять). Магма не достигает поверхности Земли и затвердевает на глубине.
- 2) Вулканизм, поверхностный или эффузивный (лат. «эффузио» - излияние) магматизм.

Интенсивность вулканической деятельности сильно различается и зависит от свойств извергаемого материала.

### **7.2. Магма. Магматические горные породы. Минеральный состав**

**Магма (греч.)** – густая мазь. Магма представляет собой силикатный расплав, состоящий главным образом из оксидов кремния, алюминия, кальция, железа, магния, титана, натрия и калия.

В магматическом расплаве растворены разнообразные флюиды – летучие компоненты (пары воды, углекислота и другие газы).

При охлаждении и затвердевании (кристаллизации) в магме образуются различные минералы – соли кремниевой кислоты. Преимущественно – это минералы класса силикатов, из которых состоят магматические горные породы.

Источники информации о магме:

- Наблюдаемые извержения.
- Разнообразные магматические породы. Состав которых сохраняет пропорции химических элементов, свойственные расплавам, за исключением летучих компонентов, потерянных при затвердевании.
- Данные экспериментальной петрологии
- Геофизика (сейсмика).

### **Магматические горные породы**

Горные породы – природные минеральные агрегаты более или менее постоянного минералогического состава, образующие самостоятельные тела в земной коре.

Магматические горные породы делятся на:

- **Интрузивные** (внедрившиеся, плутонические) – образуются в толще земной коры на различных глубинах.

- **Эффузивные** (излившиеся, вулканические) – образуются на поверхности земной коры в морских или наземных условиях.
- **Вулканогенно-обломочные** (пирокластические, вулканогенно-осадочные) – образуются в результате осаднения на поверхности Земли обломочного вулканогенного материала, выброшенного в атмосферу при взрывных извержениях.

**Вещественный состав магматических пород** определяется химическим или минеральным составом.

**Химический состав** показывает количественные соотношения химических элементов, входящих в состав породы. Химический состав не зависит от условий образования породы.

Главные петрогенные (образующие породы) оксиды магматических пород:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  – до 98% массы породы.

Кремнезём в виде петрогенного оксида присутствует во всех магматических породах, слагая от 30 до 78% их массы (рис. 7.1).

Условия образования	Характерные		Породы нормального (низкощелочного) ряда					
	Структуры	Текстуры	Кислые $\text{SiO}_2$ >64%	Средние $\text{SiO}_2$ 64-53%	Основные $\text{SiO}_2$ 53-45%	Ультраосновные $\text{SiO}_2$ <45%		
Интрузивные	Крупно- и среднекристаллическая Порфириовидная	Плотная массивная	Гранит	Диорит	Габбро	Ультрамафиты		
						Пироксенит	Перидотит	Дунит
Эффузивные	Скрытокристаллическая Порфириовая Афировая Стекловатая	Плотная Пористая Флоидальная Миндале-каменная	Риолит	Андезит	Базальт	Пикриты		
Преобладающий цвет пород Содержание цветных минералов (в %)			Светлые < 10	Серые < 40	Черные > 40	Темнозеленые или черные 90-100%		
Основной минеральный состав			С полевыми шпатами			Без полевых шпатов		
			С кварцем	Без кварца		Светлые минералы отсутствуют		
Светлые минералы	Кварц 25-40% КПШ 20-35% Кислый плагиоклаз 25-35%	Средние (гл. образом) плагиоклазы 60-80%	Основные плагиоклазы 35-65%					
Цветные минералы	Биотит (реже другие) 3-10%	Роговая обманка 0-40% пироксен 5-20%	Пироксен 35-65% (иногда оливин, роговая обманка)	Пироксен 50-100% Оливин 0-30% Роговая обманка 0-50%	Оливин 30-90% Пироксен 10-60% Роговая обманка < 10%	Оливин 90-100% Пироксен 0-10% Роговая обманка 0-10%		

Рис. 7.1. Классификация магматических горных пород

**Минеральный состав** свидетельствует о том, в каких макроскопических соединениях находятся химические элементы, т.е. из каких минералов состоит порода.

Минеральный состав связан с химическим составом, зависит от условий образования породы. Главные породообразующие минералы магматических пород – силикаты + кварц (~99% массы пород).

**Кислые породы** характеризуются содержанием кремнезема  $\text{SiO}_2 > 64\%$ .  
Например, для гранита:

- Кварц – 25-40%,
- КПШ – 20-35%,
- Кислые плагиоклазы – 25-35%,
- биотит – 3-10%

Для **средних пород** характерно содержание кремнезема  $\text{SiO}_2$  64-53%. Для диорита, доцита:

- Средние плагиоклазы – 60-80%,
- роговая обманка – 0-40%,
- пироксены – 5-20%

**Основные породы** характеризуются содержанием  $\text{SiO}_2$  53-45%. Пример: для габбро:

- Основные плагиоклазы – 35-65%,
- пироксены – 35-65%,
- оливин – редко

Для **ультраосновных пород** характерно содержание  $\text{SiO}_2 < 45\%$ . Для дунита и перидотита:

- Оливин – 40-100%,
- пироксены – 10-60%

### **Строение магматических пород**

*Внутреннее строение магматических пород* – это важная информация об условиях их образования. Строение определяется структурой магматических пород.

*Структура* магматических пород определяется степенью кристалличности породы, т.е. наличием или отсутствием вулканического стекла, абсолютными и относительными размерами кристаллов, их формой и взаимоотношением со стеклом.

*Крупно- и среднекристаллическая* структура характерна для интрузивных (глубинных) пород. Для эффузивных (излившихся) пород характерны *неполнокристаллические структуры* – порфировая или стекловатая.

**Текстура** характеризует общий облик породы, её сложение, т.е. расположение кристаллов и их агрегатов в объёме породы.





Среднекристаллическая  
структура.  
Диорит



Порфировая.  
Андезит.



Стекловатая.  
Обсидиан.

Рис. 7.2. Структура пород

Для интрузивных (глубинных) пород характерна *плотная (компактная)* текстура. У излившихся (вулканических, эффузивных) пород встречаются и *плотные, и пористые* текстуры (рис. 7.3).



←Базальт и риолит→  
с плотной текстурой.



←Базальт и пемза→ с  
пористой текстурой.



Рис. 7.3. Текстура пород

Последовательность кристаллизации минералов при остывании магматического расплава (по Н. Боуэну) представлена на рис. 7.4.

Природная магма – это расплав, всегда состоящий из трёх фаз: газообразной, жидкой и твёрдой.

**Резюме:**

Характер вулканических извержений зависит от вязкости магматического расплава. Вязкость магматических расплавов повышается, а их подвижность падает при:

- увеличении содержания кремнезёма ( $\text{SiO}_2$ ). Кислые магмы самые вязкие, малоподвижные, создают пробки в подводящих каналах вулканов. Извержения взрывные, иногда с образованием экструзивных обелисков или куполов.
- понижении температуры. Чем ниже температура расплава, тем больше в нём твёрдых кристаллов, меньше растворённых флюидов, соответственно выше вязкость и меньше подвижность расплава.
- уменьшение количества растворённых летучих (флюидов). Чем меньше в расплаве растворённых летучих, тем выше его температура кристаллизации, выше вязкость и меньше подвижность.



Рис. 7.4. Последовательность кристаллизации минералов при остывании магматического расплава (по Н. Боуэну)

Вязкость магматических расплавов понижается, а подвижность возрастает при:

понижении содержания кремнезёма ( $\text{SiO}_2$ ). Маловязкие магмы основного состава спокойно изливаются и растекаются в виде лавовых потоков протяженностью в десятки и сотни км.

- повышении температуры. Чем выше температура магмы, тем меньше в расплаве твёрдой
- кристаллической фазы и больше летучих (флюидов), соответственно ниже вязкость и больше подвижность расплава.
- увеличении количества растворённых в расплаве летучих (флюидов). Чем больше в расплаве растворённых флюидов, тем ниже его температура кристаллизации, ниже вязкость и больше подвижность.

### 7.3. Зарождение магм. Три главных механизма плавления

Магма образуется в астеносфере. Магматические расплавы зарождаются в континентальной земной коре и верхней мантии Земли в интервале глубин от 10-15 до 250-300 км.

Поверхность астеносферы – главная область генерации магмы. Астеносфера находится в эффективно твёрдом состоянии. Это среда, в которой расплав (1- 5%) заполняют только межзерновое пространство.

Геофизические данные и состав некоторых магматических расплавов свидетельствуют о том, что магматические очаги могут формироваться и в земной коре (рис. 7.5). На рисунке видно, что для вулкана Ключевского магматический очаг доходит до глубины 45 км – это практически граница мантии.

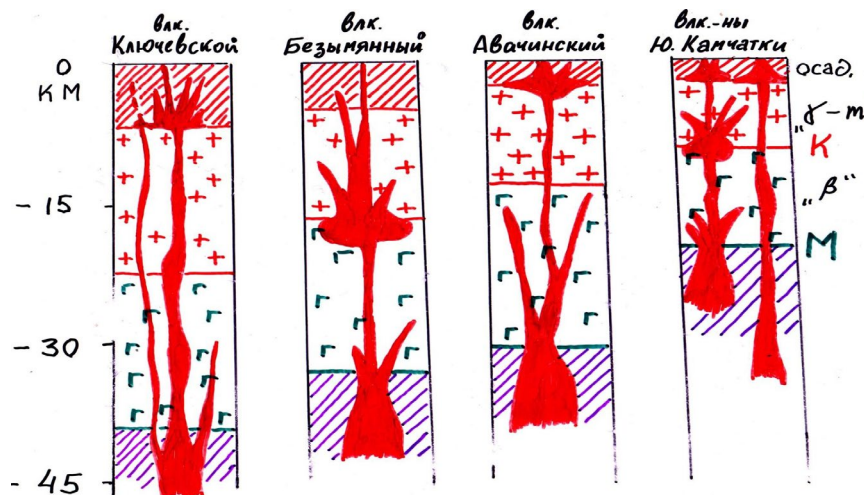


Рис. 7.5. Магматические очаги вулканов Камчатки.

**Три главных механизма плавления**, приводящих к образованию магм (рис. 7.6):

1). Нагревание выше температуры плавления глубинного вещества, т.е. *выше температуры солидуса*. Источники тепла для литосферных очагов – тепловое воздействие мантийных магматических масс, нагретых до высокой температуры. Причины эпизодического и локального нагрева мантийного вещества не ясны.

2). *Адиабатический (почти изотермический) подъем нагретого вещества литосферы* до достижения на некоторой глубине температуры плавления (солидуса). Механизм реализуется при быстром (в геологическом масштабе времени) перемещении крупных масс нагретого и пластичного глубинного материала.

3). *Плавление при дегидратации гидроксид-содержащего минерала* (например, слюды при нагревании выделяют до 4 мас % воды.) На рис. 7.6:

- $S_1$  - солидус при отсутствии воды.
- $S_2$  - солидус насыщенного водой расплава.
- $S_3$  - солидус недосыщенного водой расплава.
- $d$  – кривая дегидратации минерала.

При нагревании на уровне  $P$  в точке  $d$  происходит разложение минерала с выделением воды, которая растворяется в насыщенном водой расплаве в точке  $2$ . При нагревании на уровне  $P$  дегидратация происходит в точке  $2'$ , образуется расплав, содержащий воду, но не насыщенный ею.

Если в магматическом источнике есть вода, то температура плавления силикатного вещества понижается на десятки и сотни градусов.

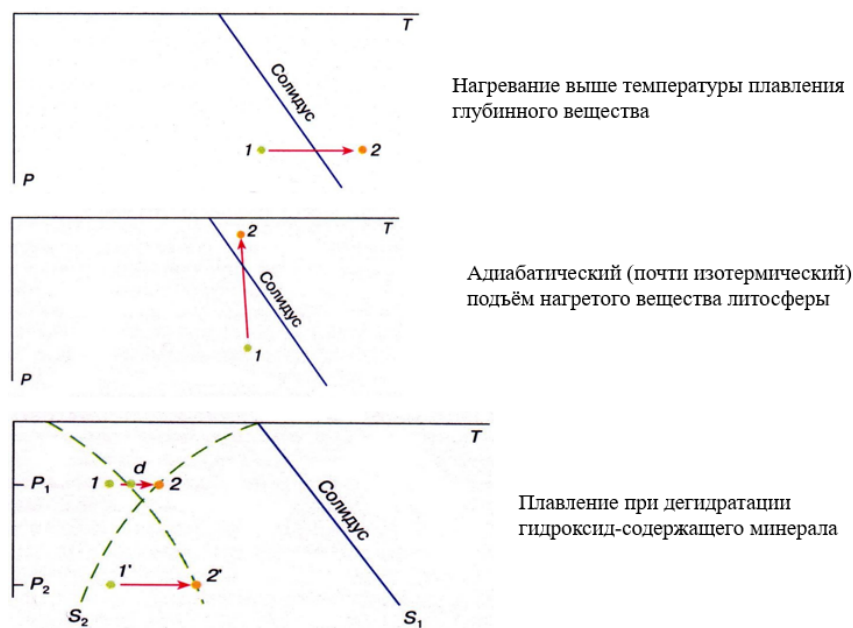


Рис. 7.6. Три главных механизма плавления

### Типы первичных магм

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг предполагали, что все известные магматические породы образовались за счет двух родоначальных магм: основной (базальтовой), богатой Mg, Fe

и Са с содержанием  $\text{SiO}_2$  от 45 до 53% и кислой (гранитной), богатой щелочными металлами, содержащей от 65 до 78%  $\text{SiO}_2$

А. Холмс предполагал ещё и наличие ультраосновной магмы. Н. Боуэн – что все магматические породы образовались из одной основной магмы в результате кристаллизационной дифференциации расплава. Затем допустил возможность образования кислой магмы в условиях высокого давления, присутствия воды (2-4%), при температуре ~ 600 С.

#### **7.4. Интрузивный магматизм. Формы интрузивных тел**

Ранее рассматривались только излившиеся (эффузивные породы). Но, благодаря своей вязкости, магма имеет способность внедряться в породы, не выходя на поверхность. Такой процесс характерен для **интрузивного магматизма**.

По своей форме интрузии (внедрения) бывают разными. Существует два типа: *секущие* (пересекающие слои магматические породы) и *согласные* (параллельные слоистости) *интрузии* (рис. 7.7).

##### **Секущие:**

- дайка,
- диапир (колокообразное тело),
- шток («палка»),
- батолит («не имеющий дна»),
- гарполит (серповидное тело)
- бисмалит (интрузивное тело, ограниченное разломами)

##### **Согласные:**

- силл (пластовое тело),
- лополит («чаша»),
- лакколит (грибообразное тело),
- факолит (находящееся в замке антиклинальной складки)

Интрузивные породы внедряются по слоистости (**необходимо знать, уметь рисовать на экзамене**).

Породы (базальты, андезиты, риолиты) – от основных к кислым. Ниже представлены интрузивные породы – от основных к кислым.

На схеме показано изменение состава при увеличении или уменьшении количества отдельных элементов.

В верхней части схемы, представленной на рис. 7.8, приведены вулканические

Можно видеть, что в ультраосновных породах (перидотитах) преобладает оливин и пироксен, в габбро уже меньше оливина, а в андезите нет вовсе. В граните преобладает кварц и КПШ, мусковит, биотит.

Важно отметить изменение цвета породы – основные породы более темные, кислые – светлые. Также кремнезёма, калия и натрия больше в кислых породах, чем в основных, кальция, железа и магния – в основных.



Рис. 7.7. Формы интрузивных тел

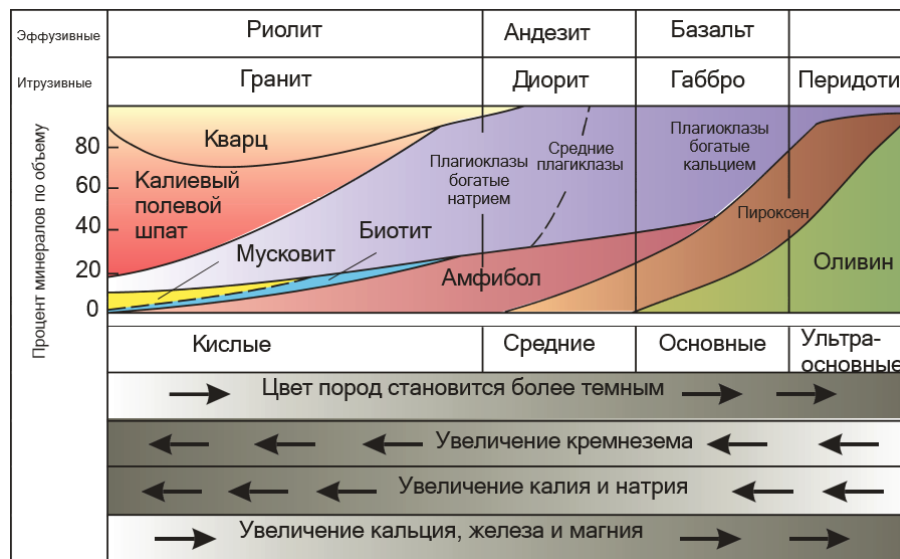


Рис. 7.8. Содержание минералов в горных породах

### 7.5. Секущие интрузии

**Батолиты** образуют крупные положительные формы рельефа (площадь более 200 км<sup>2</sup>), сложенные главным образом гранитоидами и залегающие среди осадочных толщ. Батолит может выглядеть, как огромный массив на поверхности.

**Гарполиты.** Огромное обнажение гранитов наблюдается в юго-западном Алтае – ранее считалось, что это батолит, но было выяснено, что у этого «батолита» есть дно – это гарполит. **Шток** – палкообразное вертикальное тело. Например, Карадаг, Крым.

*Малые секущие интрузии (жилы, дайки)* выражены в рельефе, но играют незначительную рельефообразующую роль.

Дайки образуются в условиях растяжения. Дайки часто характеризуются четкими контактами. Иногда в дайках может присутствовать столбчатая отдельность.

Одна из самых знаменитых даек – Великая дайка Родезии. Ее длина составляет 540 км, а ширина – 11-15 км.

### 7.6. Согласные интрузии

**Лополиты** внедряются в структуры по слоистости – это могут быть синклинальные структуры, как, например в случае лополита Маскоккс в Канаде.

**Лакколиты** встречаются в одиночку и группами. В России самые известные лакколиты находятся в Минеральных водах (5 отдельных гор, одна из них - Бештау). Многие лакколиты являются магматическими диапирами – все зависит от положения контактов. Например, там, где на поверхность выходит гора Машук (одна из пяти гор), магматические породы не образуются, скрыты под чехлом. Лакколиты бывают приурочены к разломам.

**Силлы** - пластовые интрузии выражены в рельефе в виде ступеней. Силл, например, может внедряться между осадочными породами.

Внедрение может происходить многократно – каждое внедрение будет происходить по слоистости. При этом образуется ступенчатый рельеф. Но слои не деформированы, в каких условиях происходит внедрение? В условиях, когда вся толща испытывает вертикальное тектоническое растяжение, благодаря чему между слоями падает сопротивление. В таких случаях контактов практически нет (**вопрос на экзамене**).

### 7.7. Интрузивные массивы. Экзоконтакт и эндоконтакт

При внедрении магмы главный вопрос – куда исчезает вещество, на место которого она внедрилась?

При внедрении на контакте с вмещающими породами образуются контактовые зоны - **экзоконтакты** (рис. 7.9). Глубже (на рисунке показан сиреневым цветом) образуется **эндоконтакт** – внутренний контакт на границе внедряющегося тела. Экзоконтакты и эндоконтакты отличаются минеральным составом.

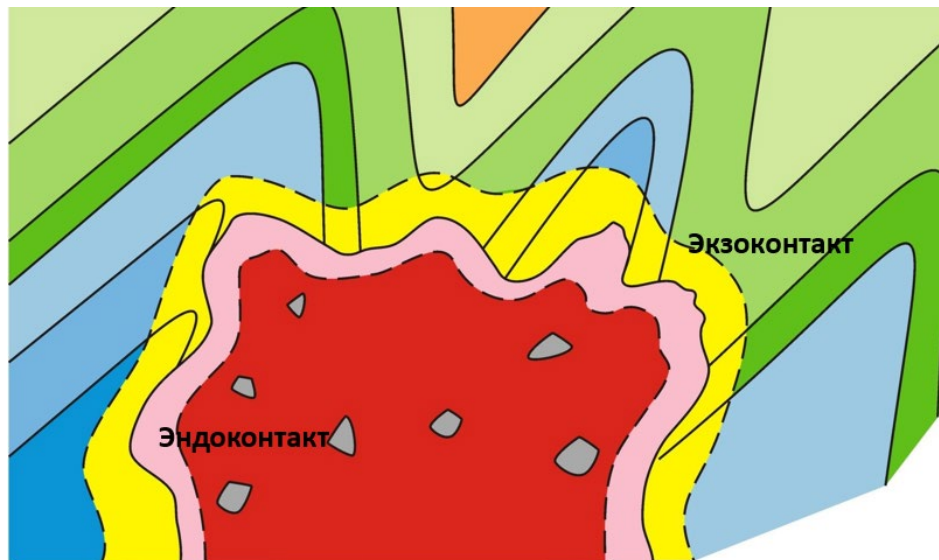


Рис. 7.9. Схема строения интрузивного массива

Порода, находившаяся на месте внедрившегося тела, либо смялась в складки и раздвинулась в стороны, либо растворилась (ассимилировалась) во внедряющейся магме (при этом должен измениться состав магмы), либо части породы в виде ксенолитов падают вниз и скапливаются в основании батолита (**необходимо прочесть в учебнике «проблема пространства при внедрении интрузивных тел», вопрос будет на экзамене**).



## **7.8. Метаморфические породы. Метаморфизм. Фации метаморфизма**

«Метаморфо» означает «изменение». **Метаморфизм горных пород** - процесс существенного изменения текстуры, структуры, минерального и химического состава горных пород в земной коре и мантии под воздействием температуры, давления и глубинных флюидов (летучих компонентов).

Процессы метаморфизма протекают ниже зоны выветривания, диагенеза и катагенеза. Метаморфизм горных пород происходит в кристаллическом (твёрдом или пластичном) состоянии без расплавления пород.

В редких случаях на больших глубинах метаморфизм сопровождается частичным или полным переплавлением горных пород (ультраметаморфизм).

Метаморфизм всегда связан с тектоническими деформациями (складчатость, образованием трещин и разрывов), реже с подъёмом магматических масс.

Деформации стимулируют образование и создают пути фильтрации восходящих потоков флюидов, изменяют температуру и давление в недрах Земли.

Метаморфизм горных пород с изменением только содержания летучих компонентов ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ) условно называют изохимическим (собственно – метаморфизм).

При метаморфизме химический состав пород (не считая воды и углекислоты) не изменяется.

Метаморфизм горных пород с изменением других компонентов ( $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  и др.) называют аллохимическим (метасоматоз). Метасоматоз сопровождается изменением химического состава горных пород. Происходит привнос или вынос вещества.

Строго говоря, различают две группы процессов (*метаморфические и метасоматические*) и две группы пород (*метаморфиты и метасоматиты*).

### **Факторы метаморфизма**

Основными факторами изменения минерального состава пород являются:

- 1) Температура.
- 2) Литостатическое давление.
- 3) Химический состав флюидов.

Одностороннее давление (стресс) не приводит к образованию новых минералов, но влияет на текстуры метаморфических пород, повышает проницаемость пород для флюидов, ускоряет действие метаморфических реакций. Проявление факторов метаморфизма, как правило, взаимосвязано.

### **Температура**

Температура метаморфизма находится в пределах от  $200^{\circ}\text{C}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$  и выше. Температуру считают главным фактором метаморфизма.

Температура определяется геотермическим градиентом (зависит от теплового потока и теплопроводности горных пород).

Повышение температуры резко увеличивает скорость химических реакций. При повышении температуры на  $10^{\circ}\text{C}$  скорость химических реакций увеличивается в два раза, при повышении на  $100^{\circ}\text{C}$  – в тысячу раз, на  $200^{\circ}\text{C}$  – в миллион раз.

### **Литостатическое давление**

Всестороннее литостатическое давление определяется весом вышележащих пород (глубиной развития метаморфизма). Давление метаморфизма находится в пределах от 0-1 до 15-18 кбар.

Роль давления велика при формировании структур и текстур метаморфических пород. Давление может ускорять и задерживать химические реакции.

Повышение давления вызывает реакции, в результате которых возникают минералы с более компактной кристаллической решеткой и большей плотностью. Например, оливин + анортит  $\rightarrow$  гранат.

### **Химический состав флюидов**

В состав флюидов входят химические соединения магматического или постмагматического происхождения:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .

Флюиды играют очень важную роль и участвуют во всех химических реакциях метаморфизма. Самые активные: вода, углекислый газ и кремнезём.

Особенно важна роль водных растворов и газов, проникающих в поровое пространство между минеральными зёрнами породы и в трещины, нарушающие сплошность пород.

При взаимодействии с флюидами также важен химический состав самих пород, в значительной мере определяющий состав вновь образуемых минералов.

В общем случае интенсивность постдиагенетических преобразований увеличивается с глубиной и с продолжительностью воздействия температуры, давления и флюидов на горные породы. Прямой зависимости нет.

В разных зонах коры значения геотермического градиента, теплового и флюидного потоков сильно меняются. Этим объясняется неодинаковая степень преобразования пород, залегающих на сопоставимых глубинах, но в различных областях земной коры. (осевые зоны срединно-океанских хребтов – 0,5-0,6 км,

Постепенность нарастания интенсивности факторов метаморфизма позволяет наблюдать все переходы от первичных магматических или осадочных пород (протолит) к метаморфическим.

### Текстура

Если первичная порода мономинеральная, то ее текстура становится массивной. Если протолит полиминеральный, то возникают типичные для метаморфических пород ориентированные текстуры. На рис. 7.10 показан метаморфизм глинистой породы. Переориентировка и рост кристаллов происходит перпендикулярно господствующему давлению.

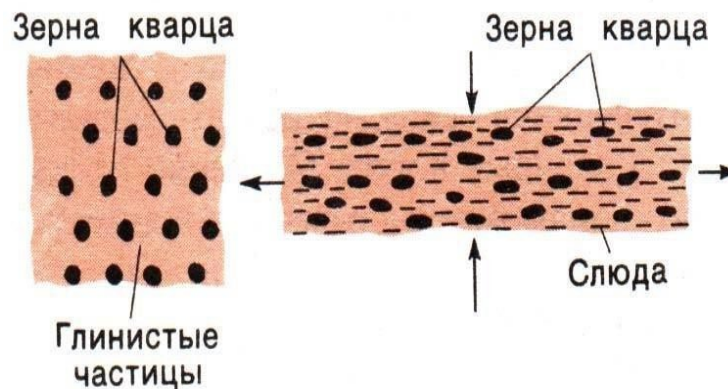


Рис. 7.10. Метаморфизм глинистой породы

*Сланцеватая текстура* подчеркивается только взаимно параллельным расположением минеральных зерен (рис. 7.11).



Рис. 7.11. Сланцеватая текстура

*Гнейсовидная (полосчатая) текстура* подчеркнута полосками минералов разного цвета и разного состава.

## Структура

Метаморфические изменения структуры пород выражаются в их перекристаллизации.

Перекристаллизация идет в твердой среде и для всех минералов начинается примерно одновременно. Поэтому форма их кристаллов зависит от «кристаллизационной силы» минералов.

Первичные породы (протолиты) могут иметь разнообразные структуры: полно- и неполнокристаллические, обломочные, биоморфные и др.

Метаморфические породы все полнокристаллические от микрокристаллических (размер зерен 0,01 – 0,1 мм) до гигантокристаллических (> 10,0 мм).

Кроме того, происходит увеличение размеров кристаллов при нарастании факторов метаморфизма.

## Фации метаморфизма

Представим наличие слоев, например, глины и песка. Если глина клиновидными слоями переходит в песок, это называется *фации*.

Изменение параметров метаморфизма (температуры, литостатического давления, химического состава флюидов) вызывает перестройку минерального состава пород. Минералы приспосабливаются к новым физико-химическим условиям (рис. 7.12).



Рис. 7.11. Фации метаморфизма

## Лекция 8. Выветривание горных пород.

### 8.1. Строение атмосферы

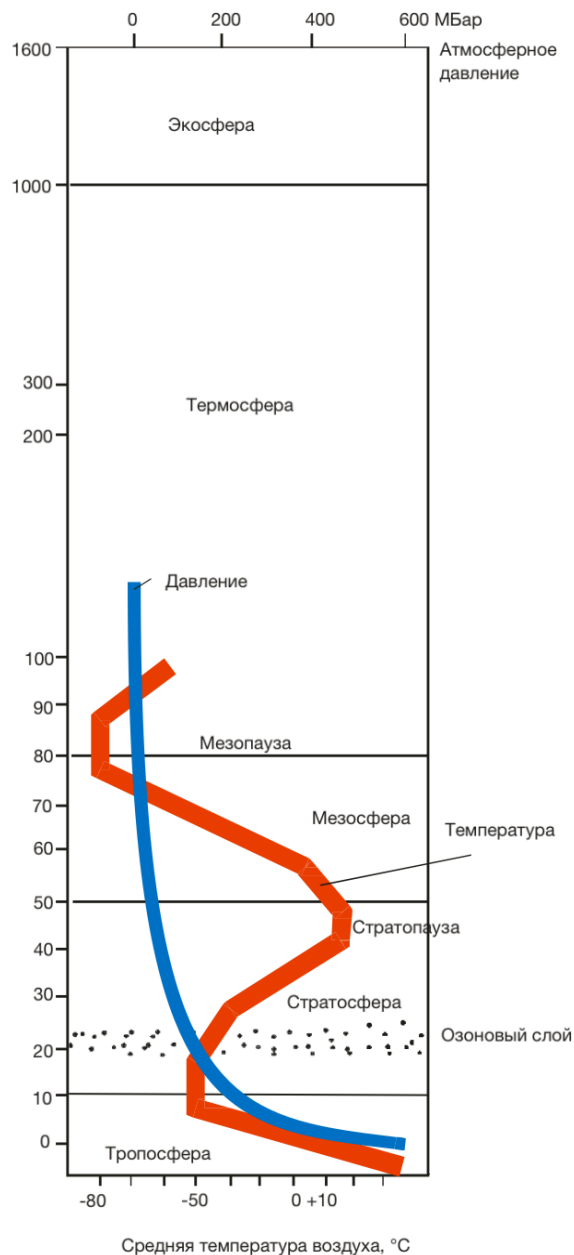


Рис. 8.1 Строение атмосферы.

Строение атмосферы характеризуется наличием целого ряда сфер, выделяющихся на основании изменения температуры (рис. 8.1). **Тропосфера** – это нижний слой атмосферы до 10 км высотой с постоянным падением температуры примерно на 0,6°C на 100 м высоты. На верхней границе тропосферы выделяется слой постоянных температур – **тропопауза** (1-2 км). Выше, до высот 50-55 км располагается **стратосфера**, в которой наблюдается рост температур до верхней ее границы – **стратопазузы**, где температура

почти такая же, как у поверхности Земли, что связано с поглощением солнечного излучения озоном. Над стратосферой до высоты в 80 км находится **мезосфера**, в которой температура снова понижается до  $-100^{\circ}\text{C}$  и венчается слой, с давлением воздуха в 100 раз меньшим, чем у поверхности Земли – **мезопаузой**. В этих 3-х слоях заключено 99,5% всей массы атмосферы. Выше мезопаузы располагается **термосфера**, в которой температура снова резко повышается до  $+1200-1500^{\circ}\text{C}$  на высотах в 250 км, а верхняя граница **термосферы** находится на уровне 800-1000 км, выше которого выделяется **экзосфера** или сфера ускользания газов.

## 8.2. Типы выветривания

**Процесс выветривания** - процесс разрушения горной породы.

**Типы выветривания:** физическое, химическое, биологическое.

**Причины физического выветривания:**

1. Изменение температуры.
2. Механическое.
3. Морозобойное. Вода, попав в трещины, при замерзании увеличивает свой объем увеличивается на 10%, раздвигая трещины и разрушая породу (рис. 8.2).

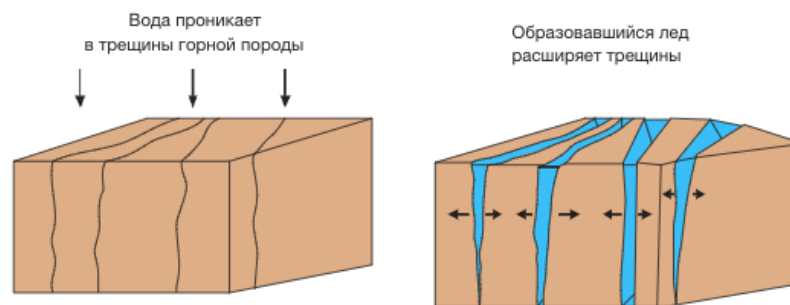


Рис. 8.2. Морозное выветривание

4. Рост кристаллов. Возможен в жарких областях (Туркмения, Казахстан, Киргизия, рис. 8.3).

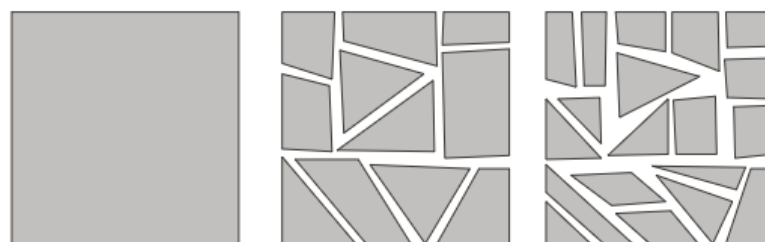


Рис. 8.3. Увеличение поверхности постепенно растрескивающихся и выветривающихся горных пород.

Чем больше трещин, тем больше поверхность выветривания. Трещины могут возникать из-за дождевой эрозии, морозное выветривание, биологическое выветривание.

### 8.3. Формы выветривания:

#### 1. Столбообразные формы выветривания

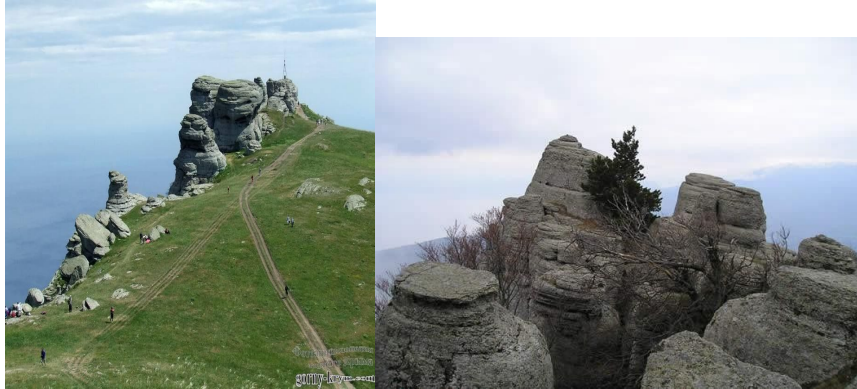


Рис. 8.4. Столообразные поверхности выветривания. Г. Южная Демерджи, Крым.

#### 2. Бастионные формы выветривания



Рис. 8.5. Красноярские Столбы. Форма Крепость

#### 3. Матрацевидная форма выветривания

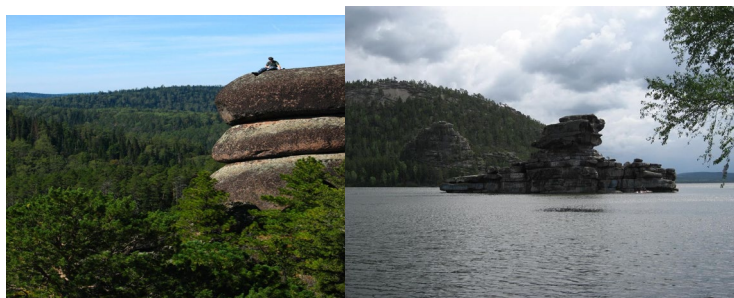


Рис. 8.6. Матрацевидное выветривание гранитов. Боровое, Казахстан.

#### 4. Грибообразные формы выветривания

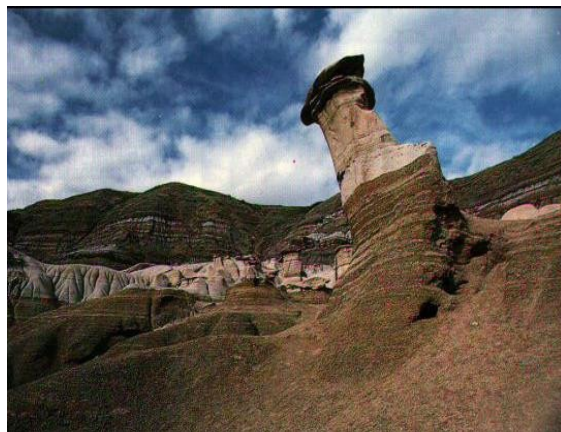


Рис.8.7. Грибообразная форма выветривания. Каппадокия, Турция

5. Ячеистые формы выветривания



Рис. 8.8. Ячеистое выветривание палеогеновых известняков. Крым.

6. Карнизониевые формы выветривания.



Рис. 8.9. Карнизониевые формы выветривания. Урочище Жеты-Огуз, Киргизия.

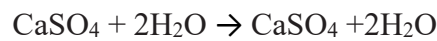


#### 8.4. Химическое выветривание

**Окисление** представляет собой взаимодействие горных пород с кислородом и образование оксидов или гидрооксидов, если присутствует вода. Сильнее всего окисляются закисные соединения железа, марганца, никеля, серы, ванадия и других элементов, которые легко соединяются с кислородом. Легко окисляется такой распространенный минерал, как пирит:



**Гидратация** — это процесс присоединения воды к минералам и образования новых минералов. Самый простой пример — переход ангидрита в гипс:



или гематита в гидроокислы железа:



Объем породы при гидратации увеличивается, что может привести к деформациям отложений.

**Растворение** играет наиболее важную роль, т. к. связано с воздействием воды, в которой растворены ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и др. Особенно существенны ионы водорода ( $\text{H}^+$ ), гидроксильный ион ( $\text{OH}^-$ ) и содержание  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и органических кислот (рис. 8.10).

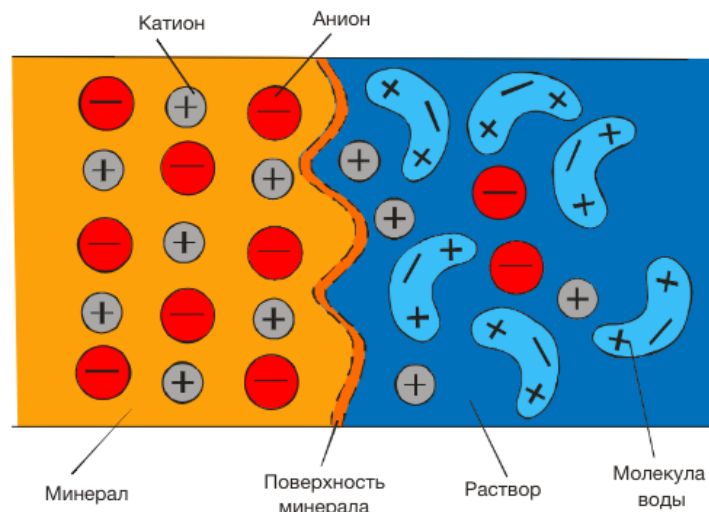
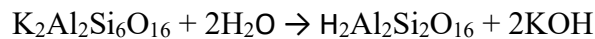


Рис. 8.10. Схема взаимодействия воды с поверхностью минерала.

**Гидролиз** — это довольно сложный процесс, особенно затрагивающий минералы из группы силикатов и алюмосиликатов. Происходит он при взаимодействии ионов  $\text{H}^+$  и

ОН<sup>-</sup> с ионами минералов, следовательно, для гидролиза всегда необходима вода. Гидролиз приводит к нарушению первичной кристаллической структуры минерала и возникновению новой структуры уже другого минерала. Наиболее распространенный пример – это гидролиз ортоклаза, одного из полевых шпатов, часто встречающегося в горных породах, особенно в гранитах:



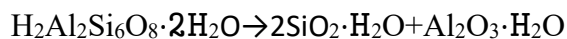
Ортоклаз

КОН обуславливает щелочную реакцию раствора, при котором происходит глубокое разрушение кристаллической решетки и отделением части кремнезема.

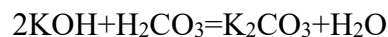


Каолин

При дальнейшем гидролизе происходит распад каолина на окиси кремния и алюминия:



Образующийся в процессе гидролиза КОН (и другие основания) переходят в форму карбонатов:



**Карбонатизация** представляет собой реакцию ионов карбоната и бикарбоната с минералами, которая ведет к образованию карбонатов кальция, железа, магния и других. Большая часть известных нам карбонатов хорошо растворяется в воде и выносится из зоны выветривания. Именно поэтому грунтовые воды в таких местах обладают высокой жесткостью (рис. 8.11).

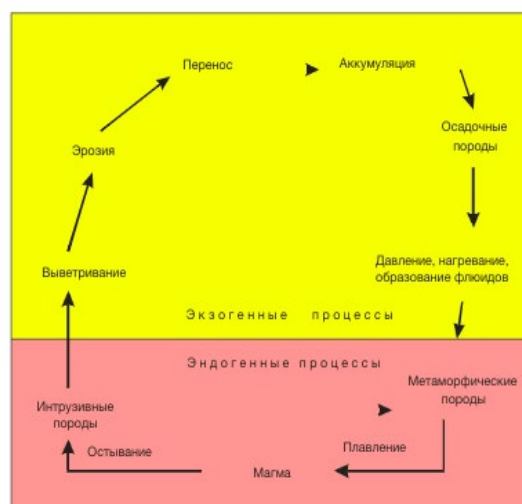


Рис. 8.11. Схема круговорота горных пород.

## 8.6. Биологическое выветривание

Корни дерева, попадая в трещину, разрушают горные породы.



Рис. 8.12. Физическое выветривание. Крым, Большой Каньон.

## 8.7. Элювий

**Элювий** или **кора выветривания** представляет собой геологическое тело, развитое на определенной площади или вдоль какой-либо зоны в горных породах, сложенное продуктами переработки поверхностных горных пород процессами физического, химического и биохимического выветривания. Элювий не перемещается, он остается на месте разрушенных пород.

Кора выветривания, как и ее мощность, зависит от ряда факторов. Наиболее благоприятные условия создаются при высокой температуре, высокой влажности и выровненном рельефе. В таких условиях жаркого гумидного климата образуются **латеритные красные коры выветривания**, состоящие из минералов гидроксидов и оксидов алюминия, железа и титана с примесью каолинита.

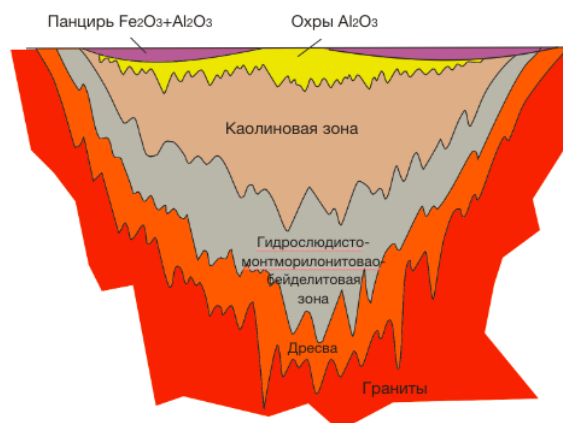


Рис. 8.13. Кора выветривания в тропической зоне (по Н.М.Страхову).



Рис. 8.14. Кора выветривания. Гоа, Индия.

### **8.8. Влияние выветривания на развитие геологических процессов:**

1. Ускоряет склоновые процессы
2. Активизируют эоловые процессы

### **8.9. Сернокислородное выветривание**

Сернокислородное выветривание встречается в Раздольском месторождении, колчеданных месторождениях Урала и Алтая, предкарпатских месторождениях, месторождении Шор-Су.

### **8.10. Карстовые и суффизиионно-карстовые процессы.**

**Карстовые процессы** развиваются в растворимых природными поверхностными и подземными водами горных породах: известняках, доломитах, гипсах, ангидридах, каменной и калийной солях. Основой процесса является процесс химического растворения пород и процесс выщелачивания, т.е. растворения и вынос какой-то части горных пород.

**Условия формирования карстовых форм рельефа:** состав пород, характер рельефа, трещиноватость, положение грунтовых вод.

**По составу пород** выделяют карст: карбонатный, сульфатный, галоидный (соляной).

**Карры** — это разнообразные неглубокие выемки, образованные, в основном, выщелачиванием известняков поверхностными атмосферными водами.

**Карстовые воронки** могут быть поверхностного растворения или провальные. Воронки имеют округлую или овальную форму в плане, в поперечном - конусовидную или чашеобразную. При слиянии нескольких воронок образуется вытянутые ложбины или округлые котлованы (диаметром 200-400 метров, глубиной 20-30 метров).

**Поля** представляют собой довольно большие, сотни метров в диаметре, неправильной формы понижения, образовавшиеся при слиянии ряда котловин и

воронок. В том числе и провальных.

**Карстовые пещеры** возникают различными способами: путем растворения, выщелачивания и размыва; путем обрушения, раскрытия и последующего размыва тектонических трещин. Подземные воды, протекая по трещинам или тектоническим раздробленным зонам, постепенно растворяя и выщелачивая известняки или доломиты. Таким образом, формируются пещерные полости, часто многоэтажные и сложные, когда отдельные крупные пещеры – «залы», соединяются с другими узкими каналами, щелями, нередко с текущими по ним ручьями. Крупные пещерные комплексы формируются продолжительное время – десятки и сотни тысяч лет.

Наиболее впечатляющей особенностью ряда карстовых пещер являются **сталактиты** и **сталагмиты** – причудливые натечные образования, создающие неповторимый облик пещерных залов. Через какое-то время сталактиты и сталагмиты могут сомкнуться и тогда образуются колонны причудливой формы - сталагматы.

Во многих районах, особенно платформенных, где развит закрытый карст. Встречаются т.н. суффозионные воронки (лат. «суффозиио» – подкапывание). Они возникают в том случае, когда из толщи отложений, перекрывающих карстовые формы, начинается процесс вымывания в карстовые полости. Постепенно на месте этой толщи образуется воронка, а еще ниже – полости, куда эти отложения и могут провалиться.

## Лекция 9. Временные и постоянные водные потоки

### 9.1. Эрозия

Ранее нами было рассмотрено выветривание – разрушение горных пород. Но ведь то, что разрушается, должно откладываться на месте (*элювий*) или куда-то переноситься (*делювий*). Все, что разрушается – переносится по склонам, оврагам, рытвинам и т.д.

Эрозия – процесс разрушения. Пример: дождевая эрозия – влияние дождевых капель. Кинетическая энергия одного ливня (10 см осадков) достаточна, чтобы поднять слой почвы в 10 см на высоту 2 м. Крупные обломки будут выделяться, а пространство между ними – эродироваться.

Поскольку дождевая эрозия разрушает породы, они должны куда-то переноситься – возникают *промоины*. Промоина может достигать в глубину 2-3 м. Затем возникают *ложбины* - пологое, линейно вытянутое, незамкнутое, незначительное понижение рельефа. Ложбины характерны для южной Украины, Ставрополя, Ростовской области.

*Лощина* – линейно вытянутое эрозионное понижение на склоне, глубиной от 3 до 15 м и длиной до 1–1,5 км.

Ложбины могут быть неправильной формы, а лощины обычно вытянуты в длину на склонах.

Образование *оврага* начинается с небольшой узкой промоины или борозды (рис. 9.1а), которая быстро углубляется и удлиняется после нескольких больших ливней (рис. 9.1б). Углубление оврага происходит очень быстро, особенно после крупных ливней.

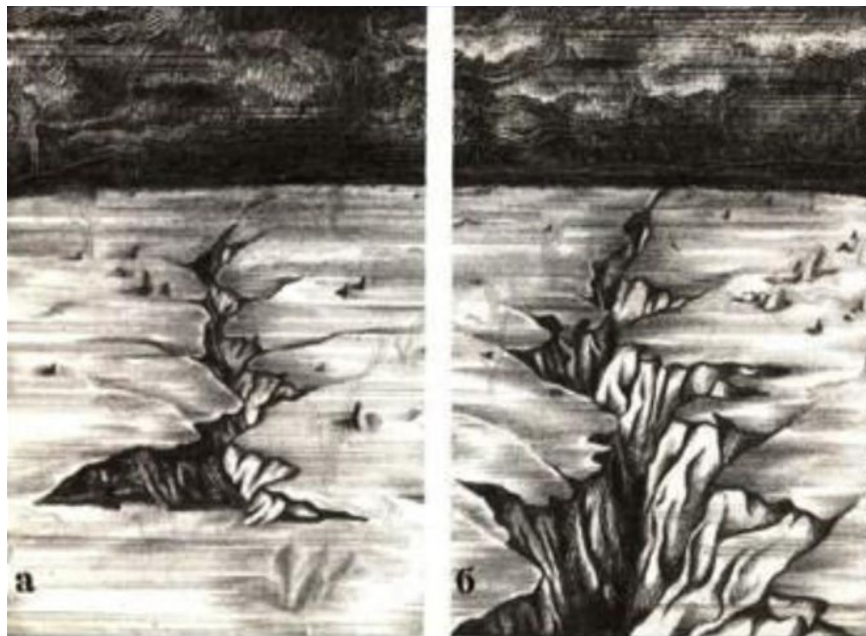


Рис. 9.1. Образование оврага

Овражная эрозия – очень характерный элемент рельефа. Овражная сеть может состоять из главного оврага и примыкающих к нему – такая система будет постоянно увеличиваться. В южных районах борьба с оврагами ведется постоянно.

Обычно в предгорьях и на склонах оврагов скапливается *пролювий* – выносы материала временных водных потоков. Но, поскольку воде необходимо где-то собираться, образуются *водосборные воронки*.

На рис. 9.2 представлен овраг, который растет путем *пятящейся эрозии*. Выработка продольного профиля равновесия оврага на разных стадиях (1,2,3,4,5) регрессивной эрозии. Профиль равновесия стремится к базису эрозии. Рост оврага происходит не от устья, а от истока оврага (поэтому эрозия называется *пятящейся*).

Любое водное пространство, куда впадает овраг, называется *базисом эрозии*. Например, для Волги базисом эрозии является Каспийское море. Изменение базиса эрозии влечет за собой изменение роста оврага. Рост оврага происходит благодаря понижению базиса эрозии.

В любом овраге или ложине должен выработываться профиль равновесия. Профиль равновесия всегда стремится к базису эрозии. Развитие профиля равновесия – регрессивная эрозия, идущая к истоку.

При половодье базис эрозии поднимается, следовательно, эрозия идет слабее, и овраги растут медленнее. *Днище любого оврага, ложины, промоины стремится к базису эрозии.*



Рис. 9.2. Рост оврага

В результате эрозионной деятельности возникают различные элементы рельефа – например, *сухие долины*. Сухие долины возникают следующим образом: временный

водный поток вырабатывает долину, наступает засуха и поток иссякает, но впадина остается.

Другой вид рельефа, образующийся благодаря деятельности эрозии – *балка*. Характерно для южных регионов.

На рис. 9.3 представлены *саи (чаи)* или *бедленд*. Бедленд - равнина, целиком изрезанная оврагами. Такая форма рельефа характерна для пустынных районов.



Рис. 9.3. Бедленд

Эрозия и отложения – процессы, неразрывно связанные друг с другом. Разрушения и отложения происходят последовательно и постоянно.

Следующий элемент рельефа – *конус выноса* (рис. 9.4). Отложения, сносимые временными водными потоками, называются *пролювием*. Пролувиальные конусы выноса очень характерны для горного рельефа – на Кавказе, Памире, Урале. Разрушенный материал оврага переоткадывается в конусе.

В геологии пролювиальные конусы играют важную роль – помимо того, что в них могут находиться полезные ископаемые, в них могут образоваться мощные отложения.



Рис. 9.4. Конус выноса



Конусы выноса могут сливаться, образуя обширное равнинное пространство – *пролювиальные равнины*. Конусы выноса сливаются благодаря энергичному прохождению эрозии и выносу достаточно однородного материала.

## 9.2. Сели

**Сель** – результат очень сильного временного водного потока. Селевые потоки – бедствие, проявляющиеся везде, где есть горный рельеф.

### Классификация селей

По составу селевой массы:

- грязекаменные
- грязевые
- водокаменные
- вододресвяные
- вулканогенные (лахары – горячие или теплые грязекаменные вулканогенные потоки)

Сильнейшие сели наблюдались в Алма-Ате – была построена селеплотина. Другой пример – сель в Тырнаузе 2000 г, размывший целый город (рис. 9.5).



Рис. 9.5. Селевой поток, частично, разрушивший жилые дома в г. Тырнауз (фото М.Ю. Никитина)

По физическому типу сели делятся на *связные и несвязные*. Селевые потоки могут быть разными, в том числе и пластичными – из глины, как случилось на Филиппинах. Одновременно, селевой поток оползал.

Сели возникают неожиданно. Но человеку известны участки, подверженные селевым потокам. Самое простое решение – задержать селя при помощи плотины или дамбы.

### 9.3. Русла рек. Речная эрозия

Сель – это временный поток, а река – постоянный. Рельеф, созданный постоянными водными потоками, представлен на рис. 9.6.

Любая река, стремящаяся к базису эрозии, развивает русло. При половодьях образуется высокая пойма. Например, раньше, когда на Москва-реке не стояло плотины, Лужники заливались водой – это была пойма. Русла рек бывают разными. Русло может быть прямолинейным.



Рис. 9.6. Рельеф, созданный постоянными водными потоками

Кроме того, могут образовываться *эверзионные котлы*: в котел падают валуны, при этом в нем течет вода. Благодаря воде камень вращается и вырабатывает эверзионную котловину (рис. 9.7).



Рис. 9.7. Эверзионный котел

Русло может быть меандрирующим (рис. 9.8). *Меандр* – изгиб реки. Меандр – очень сильно петляющая река в Турции, по аналогии с чем термин и получил свое название.



Рис. 9.8. Река Любога, Сахалин

Пример меандрирующей реки: река Любога, Сахалин. Или Москва-река, которая изгибается прямо перед Ленинскими горами.

Со временем перемычки меандров разрушаются, что приводит к образованию новых озер. Как развиваются речные меандры?

На приглубом берегу накапливается песок, река сдвигается, образуется эрозионная котловина (на рис. 9.9 обозначена коричневым цветом). Далее происходит перехват русла, образуется озерная поверхность, называемая *старицей*.

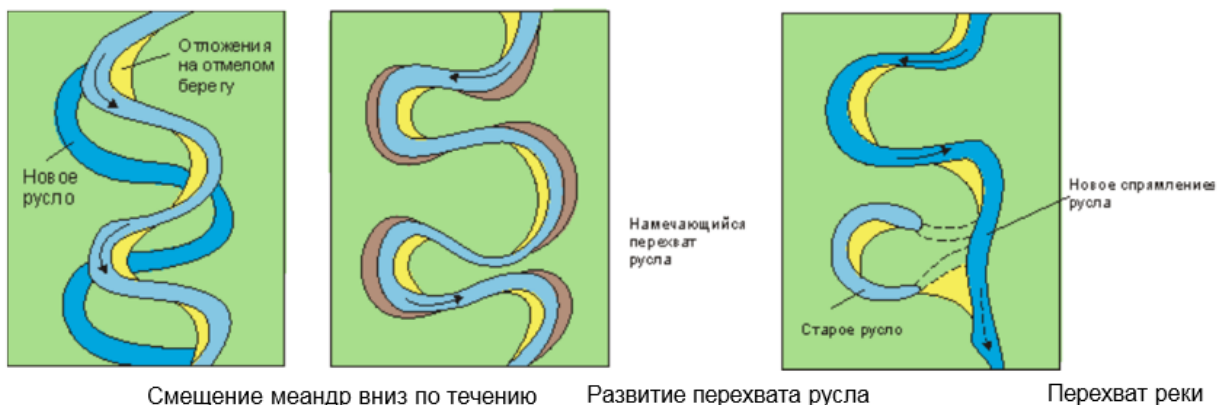


Рис. 9.9. Развитие речных меандр и образование стариц

Меандры – характерное явление для равнинных рек. Южнее Москвы все реки очень сильно изогнуты. Знаменитый Большой каньон США также является примером речной эрозии.

На рис. 9.10 представлена река, разветвляющаяся на целую систему русел – *фуркирующее русло*.

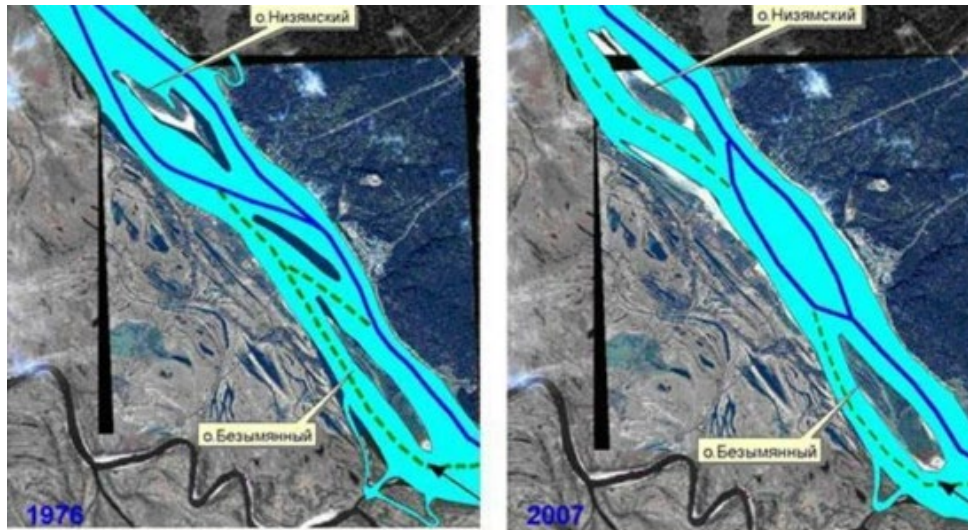


Рис. 9.10. Разветвление русла р. Оки

При разделении основного стока реки на серию рукавов образуются острова. Это происходит благодаря образованию *баров* в русле реки (рис. 9.11). Пример таких островов – Тянь-Шань, р. Нарын.

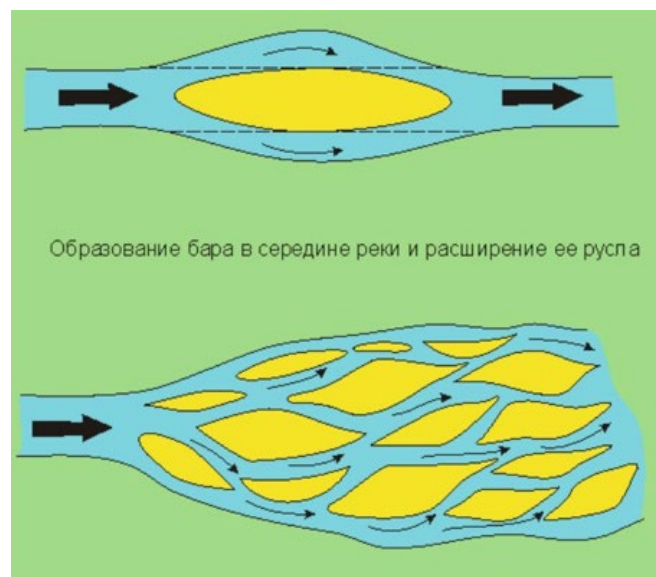


Рис. 9.11. Возникновение многочисленных баров и разделение основного канала стока на серию рукавов

Река производит работу. **Энергия реки** – способность реки производить работу. Чем выше скорость течения реки, тем выше энергия размыва. Энергия реки зависит от:

- Массы воды
- Скорости течения

Равнинные реки текут медленно – их энергия размыва не велика. Горные реки, напротив, текут быстро, что приводит к большому размыву.

Каким образом вода переносит материал? Взвешенные частицы перемещаются в верхней части водной толщи, песчинки – *сальтацией*, плоская галька – *волочением*; округлые гальки – *перекатыванием* (рис. 9.12).

Как видно на рисунке, транспортировка материала осуществляется ближе к дну. Также видна градиция – ближе к дну находятся более крупные обломки, в воде – взвешенные частицы (**необходимо знать и суметь рисовать на экзамене**).

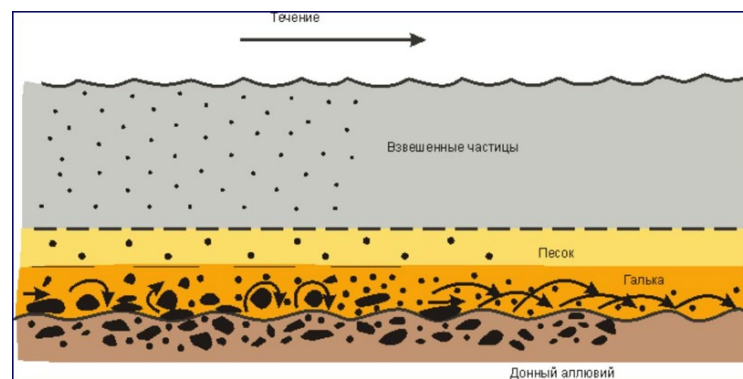


Рис. 9.12. Процесс транспортировки материала в реке

Любая частица или обломок обладает весом. Частица поднимается вверх, поскольку в воде ее вес становится меньше. На частицу с разных сторон действуют подъемная сила и сила волочения (рис. 9. 13, **необходимо нарисовать на экзамене**). Данное изображение является ответом на вопрос «Как влияет на частицу ее вес и объем, в котором она перемещается?».

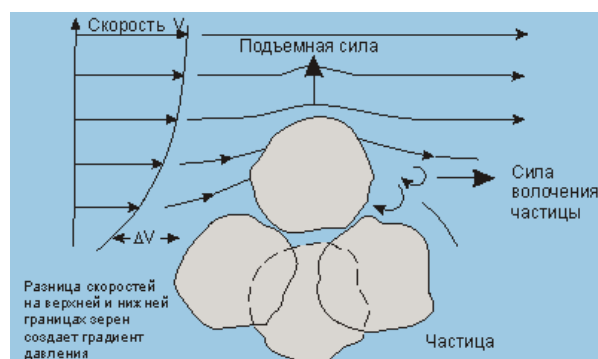


Рис. 9.13. Поведение частицы в речной воде

## Профиль реки

Поскольку река стремится к базису эрозии, в ней существует *продольный профиль*. Река вырабатывает профиль равновесия. На скорость течения реки будет влиять разница высот устья и истока и длина русла.

Профиль равновесия реки бывает *невыработанным* – при этом возникают *водопады*. Это происходит, если дно реки сложено плотными породами.

Помимо водопадов существуют *перекаты*, представляющие собой выступ твердых пород и небольшой перепад воды.

Область реки, характеризующееся наиболее сильным течением, называется *стрежень*. В русле реки всегда имеется *прирусловая отмель*.

## Пойма

Пойма – область, заливающаяся водой с приходом весны. На рис. 9.14 приведено строение поймы:

- А - русло, Б - пойма, С - старица, Д - прирусловый вал, Н - уровень полых вод, h - уровень межени
- 1 - русловый аллювий (грубые пески гравий галька),
- 2 - мелкозернистые и тонкозернистые пески,
- 3 - старичный аллювий, 4 - пойменный аллювий.

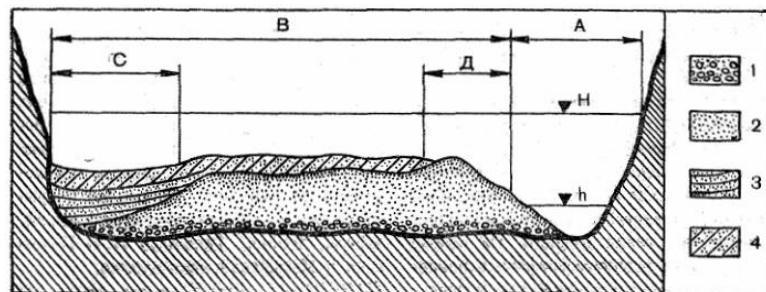


Рис. 9.14. Пойма

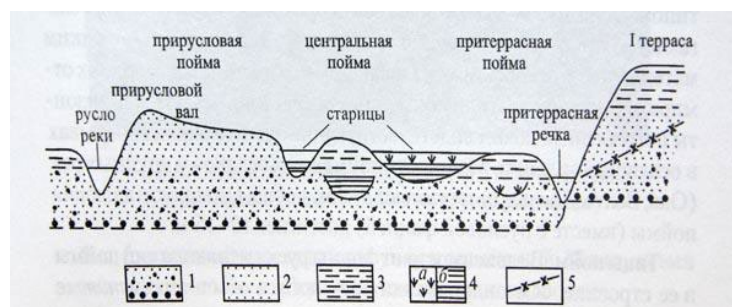


Рис. 9.15. Строение поймы

Поймы бывают разными. Пойма, заливающаяся каждой весной, является *низкой*. На рис. 9.15 (необходимо нарисовать на экзамене) приведено строение поймы. Строение аллювия в окрестностях реки является сложным. *Межень* – самое низкое состояние реки летом.

#### 9.4. Речные террасы. Базис эрозии

У всех рек существуют *террасы*. Элементы террасы предоставлены на рис. 9.16. Существует несколько видов террас: аккумулятивная, цокольная (эрозионно-аккумулятивная) и эрозионная терраса (рис. 9.17). Рис.9.16 и рис. 9.17 **необходимо нарисовать на экзамене.**



Рис. 9.16. Строение речной террасы

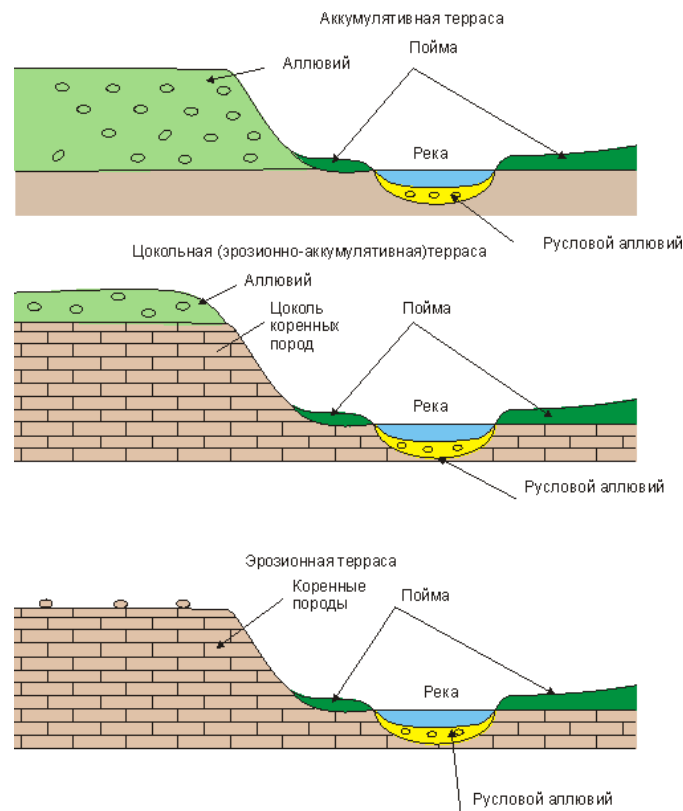


Рис. 9.17. Разновидности речных террас

---

*Эрозионная терраса* не включает в себя аллювий. *Цокольная терраса* обладает «цоколем» в виде коренных пород, на которых накапливаются аллювиальные отложения.

*Аккумулятивная терраса* отличается тем, что пойма и вся терраса сложены аллювием.

**Базис эрозии** - уровень, к которому стремится водный поток и ниже которого он не врезается. Например, р. Волга не врезается ниже уровня Каспийского моря, являющегося ее базисом эрозии.



## Лекция 10. Геологическая деятельность поверхностных текучих вод

### 10.1. Гидросфера

Земля - планета океанов. В Солнечной системе Земля - единственная планета с морями и сушей, с обилием воды в жидком состоянии ~ 71% поверхности Земли покрыто водой.

Водную оболочку Земли, включающую всю несвязанную воду независимо от ее состояния, жидкую, твердую, газообразную, принято называть *гидросферой*.

Гидросфера включает в себя Мировой океан, подземные воды, воды суши (ледники, озера, болота, реки, почвенную влагу), а также атмосферную влагу (таблица 10.1).

Таблица 10.1. Объем гидросферы

Виды воды	Объем воды, тыс. км <sup>3</sup>	Доля, %
Мировой океан	1370323	93
Подземные воды	60000	4,12
Ледники	24000	1,65
Озера	280	0,019
Почвенная влага	85	0,006
Атмосферная влага (пар)	14	0,001
Речные воды	1.2	0,0001

Вода на Земле находится в подвижном равновесии благодаря круговороту - одному из главных процессов, взаимодействующим с атмосферой, литосферой, биосферой и связывающим в единое целое все части гидросферы. Движущие силы круговорота воды – солнечная радиация и сила тяжести.

В результате тепловых процессов происходит испарение, конденсация водяных паров, таяние, замерзание воды. Ежегодно на поверхности Земли выпадает в виде осадков 112 тыс. км<sup>3</sup> воды.

Вода частично испаряется, частично просачивается в толщи горных пород, пополняя запасы подземных вод. Остальная вода растекается по поверхности суши.

### 10.2. Геологическая деятельность поверхностных текучих вод. Эрозия

Воды, падающие на земную поверхность и текущие по ней, называются *поверхностными текучими водами* или просто *поверхностными водами*.

Под *текущими водами* понимаются все воды поверхностного стока на суше от струй, возникающих при выпадении дождя и таяния снега, до самых крупных рек. Все

воды, стекающие по поверхности Земли, производят различного вида геологическую деятельность.

*Поверхностная текучая вода* - один из важнейших факторов денудации суши и преобразования лика Земли.

Реки, ручьи, ручейки переносят основную массу продуктов выветривания, вынося их в озера, моря и океаны. Сами по себе процессы выветривания формы рельефа не создают – они лишь приводят вещество в мобильное состояние. Ежегодно твердый сток (вынос) всех рек в мире оценивается примерно в 17-18 млрд тонн.

Геологическая деятельность поверхностных текучих вод зависит от массы воды и скорости ее движения. Скорость же зависит от уклона поверхности. Чем больше масса воды и скорость ее течения, тем больше совершаемая работа.

Работа складывается из:

1. Смыва рыхлых продуктов выветривания с поверхности пород,
2. Размыва (эрозии) пород,
3. Перемещения продуктов смыва и эрозии (транспортировка),
3. Отложения перемещенных продуктов (аккумуляция)

Эрозия [от лат. *erosio* - разъедание; *erosion*] – процесс активного разрушения горных пород, осадков, почв направленными водными или ветровыми потоками.

Соответственно выделяют ветровую эрозию и водную эрозию. В зависимости от характера процесса различают плоскостную, линейную, глубинную и др. виды эрозии.

В результате эрозии на земной поверхности возникают линейные отрицательные формы рельефа - долины, овраги, балки и т. п.

По характеру и результатам деятельности можно выделить два основных вида поверхностного стока вод: *плоскостной нерусловой сток* и *русловые водные потоки*.

Русловые водные потоки подразделяются на *постоянные водные потоки (реки)* и *временные водные потоки*, которые, в свою очередь, делятся на *равнинные (овраги)* и *горные потоки*.

### **10.3. Плоскостной нерусловой склоновый сток**

*Плоскостной нерусловой сток* представляет собой безрусловой сток, формирующийся в пределах склона. Вызывается периодическим выпадением дождевых осадков и таянием снега. Нередко приводит к эрозии почв, при этом возникают эрозионные ложбинки.

*Плоскостная (дождевая) эрозия* рыхлых пород происходит в результате любого дождя. Кинетическая энергия тела зависит от его массы и скорости:

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Падающие капли выбивают тонкий пылеватый материал. Скорость падения дождевых капель диаметром 0,5 мм на уровне моря и без ветра составляет 2 м/с. Капли диаметром 5 мм имеют скорость от 9 м/с.

Капли оставляют на поверхности маленькие столбики почвы, прикрытые сверху более крупными камешками или частицами почвы.

На ровных склонах атмосферные осадки распределяются равномерно и стекают по поверхности в виде сетки безрусловых тонких струек.

Вода выносит лишь самые мелкие частицы, покрывающие поверхность склона, т.к. её энергия очень незначительна.

Плоскостной смыв – размывающая деятельность дождевых и талых вод, более или менее равномерная по всей поверхности склонов и водоразделов.

У основания склона уклон поверхности уменьшается и соответственно уменьшается скорости течения. Смытые мелкие частицы продуктов выветривания оседают. Постепенно накапливается покров осадков в виде шлейфа (рис. 10.1). Формирующиеся при этом осадки называются делювием

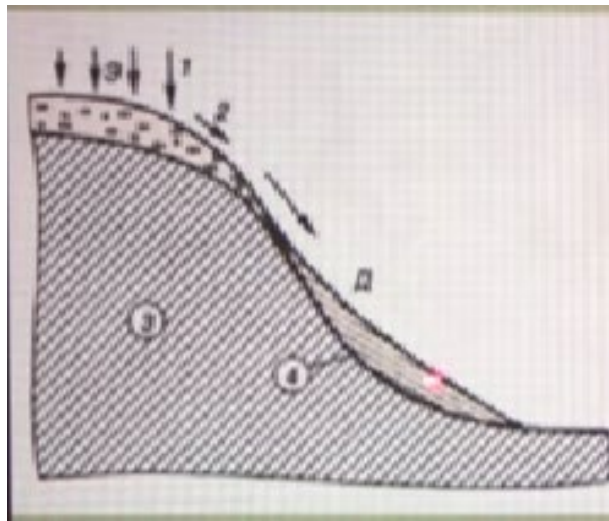


Рис. 10.1. Формирование делювия

На рис.10.1: Э - элювий; Д - делювий; 1-атмосферные осадки; 2- плоскостной смыв; 3-коренные породы; 4- первоначальная поверхность склона.

Этот процесс плоскостного смыва, совершаемого дождевыми и талыми водами, получил название делювиального (пат. Deluo - смываю). Мощность делювиальных отложений обычно составляет первые метры, иногда достигая 15 - 20 м.

Делювиальные отложения [от лат. deluo - смываю; Павлов А.П., 1890; talus deposits] - генетический тип отложений, возникающих в результате накопления смытых со склонов дождевыми и талыми снеговыми водами рыхлых продуктов выветривания.

Делювиальный шлейф не является однородным. В вершине его может откладываться относительно более грубый материал - песчаный, ниже - все более и более мелкий (супеси), в конце шлейфа накапливаются только тонкие пылеватые и глинистые частицы (суглинки). На рис. 10.2 приведена схема строения делювия.

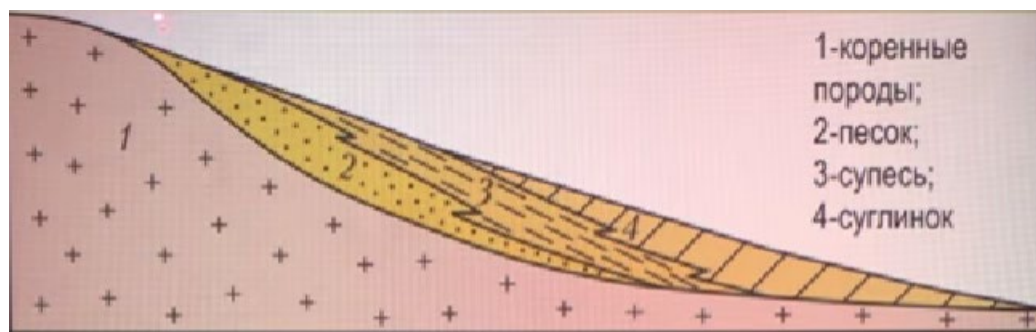


Рис. 10.2. Схема строения делювия

#### 10.4. Русловые водные потоки

Равномерный плоскостной смыв происходит лишь на ровных склонах. В действительности на поверхности склонов всегда есть какие-то неровности различных размеров. За счет этого отдельные тонкие струйки сливаются друг с другом, образуя более мощные струи. При этом возникают небольшие рытвины, получившие название делли.

*Делли* – плоскодонные неглубокие ложбины. Именно с этого начинается активный процесс линейной эрозии.

#### 10.5. Геологическая деятельность временных водных потоков на равнинах (образование и развитие оврагов)

При выпадении сильных дождей или интенсивном снеготаянии делли собирают в себе воды атмосферных осадков и начинают расти в глубину, в ширину и вверх по уклону.

Так начинается на склонах процесс размыв, или эрозия (от лат. Ordo - размываю, разъедаю). Образуется уже заметная промоина, или *рытвина* примерно полуметровой глубины. Со временем рытвины растут и превращаются в овраги, характеризующиеся значительно большей глубиной и длиной.

Овраг в противоположность первоначальной рытвине, выходит за пределы склонов долин в водораздельные пространства. Захватывает все новые и новые участки.

Верхняя часть растущего оврага нередко представляет собой отвесный обрыв (вершинный перепад): во время дождя здесь возникает водопад, который разрушает

русло оврага. Падающий поток подрезает обрыв, стенки обрушиваются, и овраг растет вверх.

Овраг растет вспять, постепенно завоевывая все новые и новые участки водораздела. Такой процесс роста оврага называется *регрессивной, или попятной, эрозией* (рис. 10.3).

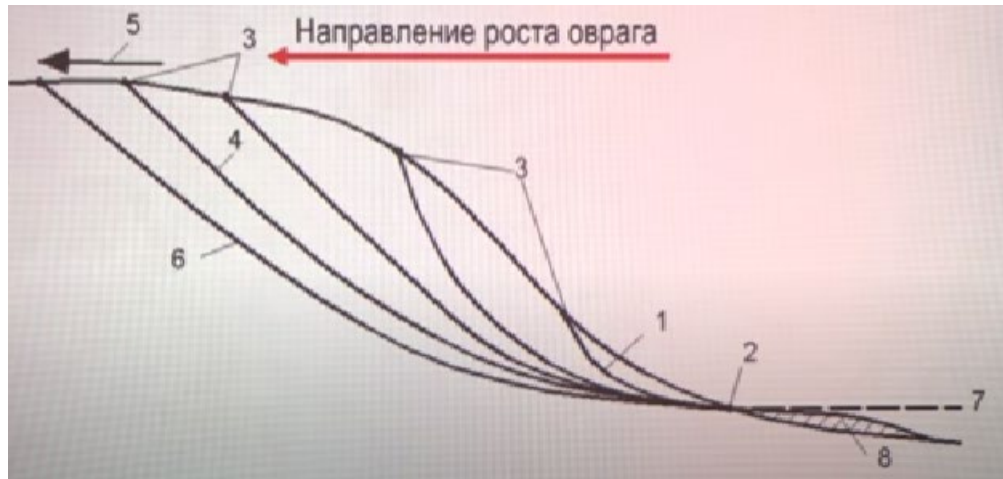


Рис. 10.3. Схема роста оврага

На схеме: 1- промоина; 2 - устье; 3 - вершина; 4 - ложе; 5 - направление роста оврага; 6 - профиль равновесия; 7 - базис эрозии; 8 - конус выноса

### 10.6. Стадии развития оврагов

В развитии оврага можно выделить четыре стадии:

1. Первая стадия развития оврага - стадия промоины, или рытвины, в которой концентрируются потоки талых и дождевых вод. Глубина таких промоин невелика - порядка 0,5 м.

2. Вторая стадия начинается с момента образования вершинного перепада или обрыва. Овраг растет в сторону водораздельных пространств в результате обвалов стенок в вершине. Высота вершинного перепада, или обрыва, достигает 2 - 10, реже 12 - 15 м. Русло отличается большой крутизной и неровностью, вследствие чего оно интенсивно углубляется на всем своем протяжении.

3. Третья стадия начинается с момента, когда овраг, углубляясь, достигает своим устьем уровня долины или другого понижения, в которое он впадает. Профиль дна выравнивается, овраг расширяется. В нижней части склона образуются осыпи, обычно неустойчивые, подмываемые снизу и пополняемые осыпающимися продуктами разрушения сверху.

4. Четвертая стадия (стадия затухания) прекращается рост оврага в длину и глубину, сглаживается обрыв вершины. Склоны оврагов постепенно осыпаются, приобретают угол устойчивого естественного откоса (30-40°), овраг еще больше

расширяется. Дно оврага затягивается осадками. Склоны и днище постепенно зарастают растительностью. С течением времени овраг четвёртой стадии развития переходит в балку.

Если дно оврага достигает уровня подземных вод, то в русле возникает постоянный водоток – *ручей*. Происходит дальнейшее углубление, расширение и удлинение оврага. Он постепенно превращается в речную долину. Так можно проследить эволюцию форм, созданных эрозией - от простой рытвины на склоне до речной долины.

**Делли [dells]** - плоскодонные линейно вытянутые безрусловые или с зачаточными руслами ложбины стока дождевых и талых вод (плоскостного смыва), которые, постепенно соединяясь друг с другом, переходят вниз по склону в неглубокие эрозионные борозды и рытвины.

**Рытвина [delve]** - элементарная резко выраженная эрозионная форма рельефа, возникающая за счет слияния струй дождевой воды (см. Делли). При дальнейшем развитии может преобразоваться в овраг. Формируется в рыхлых горных породах.

**Овраг [gully]** - относительно глубокая ложбина с крутыми незадернованными склонами, образованная в результате размывания рыхлых пород земной поверхности.

**Балка [draw]** - долина с относительно пологими заросшими склонами, плоским или желобообразным днищем.

Овраги расчленяют водораздельные плато на отдельные массивы и тем самым приносят большой вред сельскохозяйственным полям.

Для борьбы с овражной эрозией почв разработан и проводится ряд мероприятий (цементные лотки в головной части оврага, различные запруды на дне с водобойными сооружениями, насаждение деревьев и др.) как непосредственно по борьбе с ростом оврагов, так и по защите склонов от размыва.

### **10.7. Геологическая деятельность временных горных потоков**

На склонах гор периодически возникают горные потоки, вырабатывающие себе ложбины стока различных размеров. Верховья их расположены в верхней части горных склонов и представлены системой многих сходящихся рытвин и промоин, образующих вместе водосборный бассейн (рис. 10.4. (1)).

*Водосборный бассейн* (водосборная площадь) - земная поверхность, с которой все поверхностные и грунтовые воды стекают в данный водоём или водоток.

Из водосборного бассейна ниже по склону вода движется в едином русле. Этот участок временного горного потока называется каналом стока (рис. 10.4. (2)).

На предгорной равнине, при резком падении скорости движения воды, временный поток разливается в виде веера и откладывает весь принесенный материал. Образуется конус выноса (рис. 10.3 (3)).

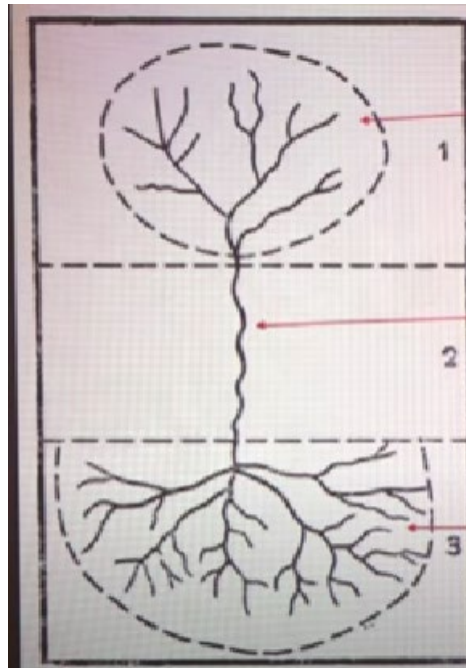


Рис. 10.4. Водосборный бассейн

В конусах выноса часто наблюдается закономерная сортировка материала по крупности обломков. В относительно крутой вершинной зоне (проксимальная часть) откладывается преимущественно грубообломочный материал - слабо окатанная галька и щебень, часто в смеси с супесчаным и суглинистым материалом.

По мере удаления от вершины (срединная часть) щебнисто-галечниковые отложения сменяются песками, супесями. В периферической части конусов выноса (дистальная часть) откладывается наиболее тонкий пылеватый материал.

Отложения конусов выноса аридных областей А.П. Павлов выделил в самостоятельный генетический тип континентальных отложений и назвал *пролювием*.

*Пролювий* - весь комплекс отложений конусов выноса от вершинных (проксимальных) грубообломочных до тонких пылеватых образований периферической зоны (дистальных), генетически связанных друг с другом.

### 10. 8. Сель

*Сель* - временный поток смеси воды и большого количества обломков горных пород от глинистых частиц до крупных камней и глыб (до 70 - 80% обломочного материала), возникающий в руслах горных рек и лощинах.

Возникновение селей связано с ливневыми осадками, бурным таянием снегов или прорывами горных озёр.

Возникает сель внезапно, движется с большой скоростью (до 10 м/с и более) обладает громадной разрушительной силой, отдельные обломки весят 100-200 т и более.

Борьба с селями ведётся путём закрепления почвенного и растительного покрова, строительства специальных гидротехнических сооружений.

### **10.9. Геологическая деятельность постоянных водных потоков**

**Река** - природный водный поток значительных размеров с естественным течением по руслу от истока вниз до устья и питающийся за счёт поверхностного и подземного стока с его водосборного бассейна.

Реки играют огромную роль в хозяйственной жизни людей: главный источник водоснабжения; основной поставщик воды, используемой для орошения полей; удобные и дешевые пути сообщения; источник дешевой энергии; источник рыбных богатств.

#### **Некоторые общие сведения о реках**

В зависимости от рельефа местности, в пределах которой текут реки, они разделяются на горные и равнинные.

*Горные реки* характеризуются большими уклонами преимущественно прямолинейных русел, крупными размерами обломков переносимого материала.

*Равнинные* - малыми уклонами, сильно изгибающимися руслами, песчано-илистыми осадками.

Режим реки представляет собой закономерное изменение во времени состояния воды в реке (количества воды, её уровня, скорости течения, температуры). Эти показатели не остаются постоянными, а изменяются из года в год и по сезонам года.

Для каждой реки в течение года характерно чередование периодов высокого и низкого уровня воды.

Периоды высокого уровня - *половодье и паводок*. Период низкого уровня – *межень*. Период проявления половодья и межени зависит от характера питания реки.

Питание рек бывает снеговым (реки Европейской части России), ледниковым (реки Центральной и Средней Азии), дождевым (реки Дальнего Востока России), за счет подземных вод (наблюдается во всех реках) и смешанным (многие реки Кавказа).

**Половодье** – регулярный ежегодный повторяющийся в один и тот же сезон года относительно длительный и значительный подъём уровня воды в реке. Таяние снега на равнине вызывает весеннее половодье, таяние ледников в горах – летнее.

**Паводок** - не сезонное и не регулярное, кратковременное увеличение уровня воды, вызывается дождями или обильным снеготаянием во время оттепелей.

**Межень** - самый низкий уровень воды в реке. Бывает на реках летом, когда стоит засушливая погода или зимой, когда реки находятся подо льдом.



Движение воды в речных потоках преимущественно *турбулентное* (беспорядочное, вихревое). Скорость движения в каждой точке потока непостоянна по величине и направлению (пульсирует).

Турбулентность потока вызывает перемешивание всей массы воды от дна до ее поверхности. В быстрых реках показателем турбулентного движения являются *водовороты (завихрения)*.

На отдельных участках реки, характеризующихся незначительными уклонами и скоростями, может быть *ламинарное, или струйчатое*, движение воды.

Скорость течения воды в реке зависит от массы воды, уклона и особенностей русла, определяющих характер движения воды. Скорость не остается постоянной, а изменяется во времени и в пространстве в зависимости от многих обстоятельств.

У берегов скорость течения меньше, чем в средней, более глубокой части реки – *стрешне*. Меньшие скорости наблюдаются в придонной части потока, а большие в его верхней части.

#### **10.10. Геологическая деятельность рек**

Реки на земной поверхности производят огромную работу и существенно преобразуют ее рельеф. Способность реки производить работу может быть названа ее *живой силой*. Живая сила реки (K) пропорциональна массе воды (m) и квадрату скорости течения (v):

$$k = \frac{mv^2}{2}$$

Чем больше в реке воды и чем выше скорость течения, тем значительнее работа, совершаемая рекой.

Геологическая деятельность реки заключается в следующем:

- эрозия (размыв);
- перенос (транспорт) материала, полученного в результате эрозии и выветривания;
- аккумуляция (накопление) перемещаемого материала по пути движения воды.

В зависимости от соотношения между живой силой реки (K) и грузом (L), который она несет с собой, меняется эффективность работы реки. Это соотношение для одной и той же реки меняется от места к месту.

*Возможны три случая:*

- 1)  $K > L$  - преобладает эрозия;
- 2)  $K = L$  - наблюдается равновесие между эрозией и аккумуляцией;

3)  $K < L$  - преобладает аккумуляция

### Эрозия донная и боковая

В формировании речных долин большое значение имеют эрозионные процессы. Различают эрозию *донную, или глубинную*, направленную на врезание потока в глубину, и *боковую*, ведущую к подмыву берегов и в целом к расширению долины.

Соотношение донной и боковой эрозии меняется на разных стадиях развития долины.

### Донная (глубинная) эрозия

В начальной стадии развития реки преобладает донная эрозия. Водный поток, врезаясь в горные породы, стремится выработать свой продольный профиль дна (рис. 10.5).

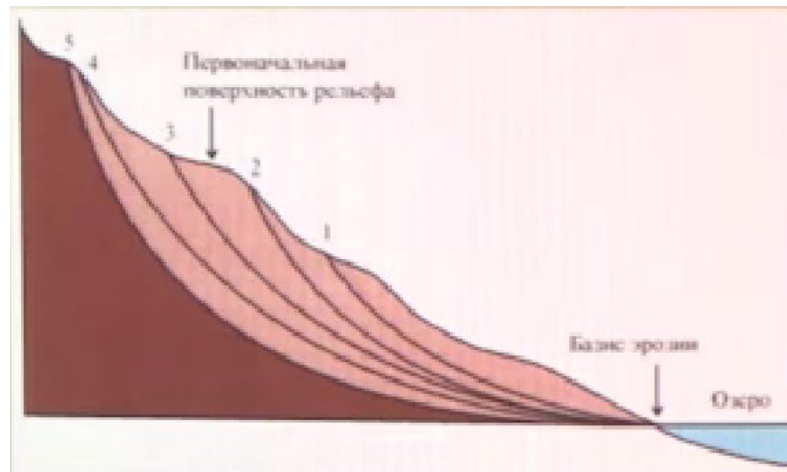


Рис. 10.5. Донная эрозия

В этой стадии продольные профили рек вырабатываются применительно к уровню моря или озера, в которые они впадают.

Уровень бассейна, куда впадает река, определяет глубину эрозии речного водного потока и называется *базисом эрозии*. Он является общим или главным базисом эрозии для данной речной системы (главной реки со всеми притоками различных порядков).

*Базис эрозии* - поверхность Земли, на уровне которой водоток теряет свою силу и не может далее углубить свое русло.

Самый общий (главный) базис эрозии для всех рек земного шара - уровень Мирового океана.

*Местный базис эрозии* - место впадения притока в основную реку, выходы твердых пород, замедляющие глубинную эрозию и вызывающие образование порогов и др.

Изменения базиса эрозии (колебания уровня моря или озера, тектонические движения земной коры, смещение порогов и пр.) приводят к усилению глубинной эрозии и врезанию долин либо к ее ослаблению и заполнению долин речными отложениями.



Рис. 10.6. Выработка профиля равновесия реки

Развитие реки идет от базиса эрозии вверх по закону *пятящейся*, или *регрессивной*, эрозии (рис. 10.6).

При чередовании в русле реки мягких и твердых пород образуются *пороги* и иногда *водопады*.

Водопад отступает вверх по течению. Падающая струя воды размывает дно реки возле уступа, отражается от него, образует сложные водовороты.

Нижняя часть уступа подмывается, образуется ниша. Часть уступа над нишей рушится. Уступ постепенно разрушается и водопад отступает вверх (рис. 10. 7).

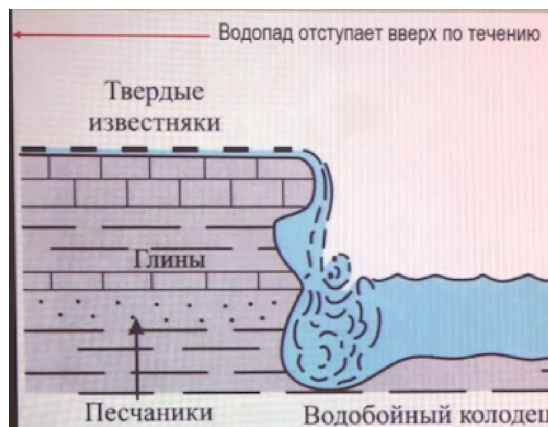


Рис. 10.7. Образование водопада

### Эверзионные котлы

Углублению дна реки под водопадом способствуют находящиеся на дне обломки горных пород. Падающая вода захватывает эти обломки, они попадают в водоворот,

приобретают вращательное движение и высверливают в дне реки углубления. Такие углубления называют *исполинскими или эверзионными котлами* (рис. 10.8).



Рис. 10.8. Эверзионный котел

### **Боковая эрозия**

Одновременно с глубинной эрозией проявляется и *боковая эрозия*. На первых этапах развития реки ее роль незначительна. По мере выработки профиля равновесия донная эрозия постепенно ослабевает и все больше увеличивается роль боковой эрозии. Происходит подмыв берегов, расширение долины, формирование плоского дна.

Развитию боковой эрозии способствует извилистость реки. Русловой водный поток подмывает в излучинах вогнутые берега и постепенно мигрирует в их сторону, вынося обломочный материал на противоположный выпуклый пологий берег. Миграция русла в сторону подмываемого берега в течение длительного времени приводит к значительному расширению долины, увеличению её извилистости. Возникает асимметрия в строении речной долины.

Поперечная форма долины позволяет выделить последовательные стадии в развитии рек (рис. 10.9):

1) стадия морфологической молодости - большие скорости движения воды резкое преобладание процессов донной, или глубинной, эрозии. Выработка узких глубоких речных долин с крутыми склонами и V-образным поперечным профилем (теснины, щели, ущелья, каньоны).

2) стадия морфологической зрелости - более поздняя, значительное усиление боковой эрозии, смещение стрежня то к одному, то к другому берегу и образование извилистости реки - излучины, называемых также меандрами (по названию р. Меандр в Турции).

Долины приобретает асимметричную, позже - плоскодонную, или ящикообразную форму. U-образный поперечный профиль долины, характерен для зрелых равнинных рек.

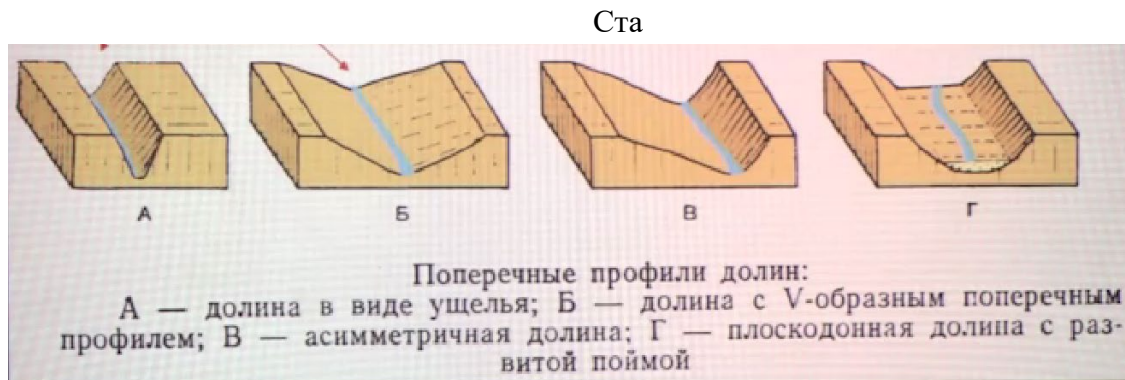


Рис. 10.9. Стадии развития рек

Речной поток вследствие инерции стремится двигаться прямолинейно. В случае поворота русла вода устремляется к вогнутому берегу, где приобретает наибольшую скорость. Здесь русло углубляется, берег размывается, становится обрывистым и постепенно отступает, увеличивая кривизну изгиба и ширину долины реки.

Вода опускается на дно стречневой части потока, прижимающейся к вогнутому берегу. Происходят завихрения, водовороты и возникают поперечные придонные течения, направленные к противоположному выпуклому берегу.

Поперечные придонные течения при движении к выпуклому берегу захватывают с собой песок, гравий, гальку, откладывает их на выпуклом берегу и в примыкающей к нему части русла реки, где скорость движения воды уменьшается.

Так образуются песчаные или песчано-галечниковые прирусловые отмели, которые частично обнажаются в меженное время.

Процесс подмыва вогнутых берегов вызывает постоянное наращивание прирусловых отмелей на противоположных выпуклых берегах. Прирусловые отмели нередко выражены в рельефе в виде невысоких прирусловых валов.

Когда прирусловые отмели достигают большой ширины, части их, удаленные от русла, заливаются водой только во время половодья. Так происходит развитие поймы.

*Пойма* — это часть долины реки, возвышающаяся в межень непосредственно над руслом. При развитии пойм поперечный профиль долины приобретает плоскодонную, или ящикообразную форму (морфологическая зрелость развития реки).

### **Развитие речных излучин (меандр) и образование стариц**

*Меандры* развиваются не только в сторону берегов, но и вниз по течению. Постепенно меандры приобретают большую кривизну, образуя петли с узким перешейком между ними.

Прорыв такого перешейка спрямляет русло реки, а в отрезанной излучине остается старое русло – *старица*.

### **10.11. Закон Бэра**

#### **Закономерность в асимметрии долин**

У крупных рек, текущие в меридиональном направлении в Северном полушарии, почти всегда правый берег высокий, крутой, более интенсивно подмываемый, а левый - пологий (Волга, Днепр, Дон и др.)

У рек Южного полушария, наоборот, крутой левый берег, а правый более пологий (Парана, Уругвай и др.).

В 1857 году Карл Максимович Бэр объяснил асимметрию склонов речных долин особенностями движения тел на поверхности вращающейся Земли

Возникает поворотное, или *кориолисово*, ускорение, горизонтальная составляющая которого при движении тела к экватору всегда направлена к западу по отношению к направлению движения.

В Северном полушарии ускорение Кориолиса прижимает воду к правому берегу, а сила трения его активно разрушает, перенося отложения на левый берег.

*Асимметрия речных долин* - результат совместного действия ускорения Кориолиса и силы трения.

### **10.12. Перенос материала. Аккумуляция материала**

Реки переносят большое количество продуктов разрушения горных пород, образующихся в результате выветривания и речной эрозии. Наличие обломочного материала в воде способствует усилению эрозионной деятельности рек, разрушению, истиранию и обтачиванию пород на дне.

Перенос (транспортирование) материала рекой осуществляется различными способами:

- 1) перекачиванием и волочением обломков горных пород по дну;
- 2) прыжками (сальтацией);
- 3) во взвешенном и растворенном состоянии.

Влекомые по дну и взвешенные наносы принято называть *твердым стоком рек*. Гальки и обломки перекачиваются по дну, плоские гальки перемещаются волочением или скольжением. Песчинки перемещаются прыжками - *сальтацией*. В верхней части воды самые тонкие частицы находятся во взвешенном состоянии (рис. 10.10).

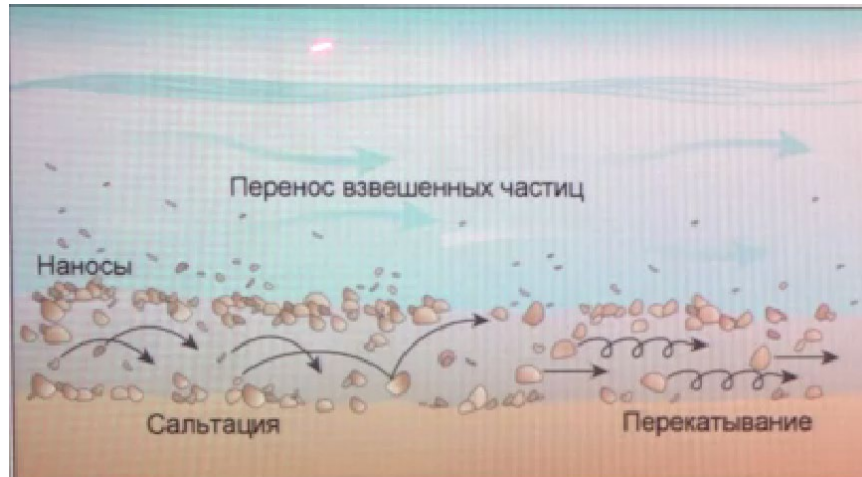


Рис. 10.10. Перенос материала рекой

Соотношение твердого стока рек и переносимых ими растворенных веществ изменяется в зависимости от изменения живой силы рек и рельефа местности. В горных реках преобладает твердый сток, особенно взвеси. В равнинных реках преобладает сток растворенных веществ.

Наносы представлены преимущественно галечниками, иногда с крупными валунами, а во взвесьях переносятся песчаные и более мелкие частицы. Среди наносов преобладают песчаные частицы, а во взвесьях - частицы меньше 0,1 мм.

#### **Аккумуляция (отложение) материала**

Отложения, накапливающиеся в речных долинах, называются *аллювиальными отложениями*, или *аллювием* (лат. *alluvio* - нанос, намыв).

Они состоят из обломочного материала различной размерности, степени окатанности и сортировки. По условиям образования выделяют два генетических типа: аллювий горных рек и аллювий равнинных рек.

Аллювий равнинных рек четко разделяется на три основные группы (рис. 10.11):

- 1) русловой аллювий;
- 2) старичный аллювий, заполняющий старицы;
- 3) пойменный аллювий, покрывающий русловую

На схеме: А - русло; В - пойма; С - старица; D - прирусловой вал; Н – уровень половодья; h - уровень межени; М - мощность аллювия

Русловой аллювий: 1 - разнозернистые пески, гравий, галька, 2 - мелко- и тонкозернистые пески, 3 - старичный аллювий, 4 - пойменный аллювий

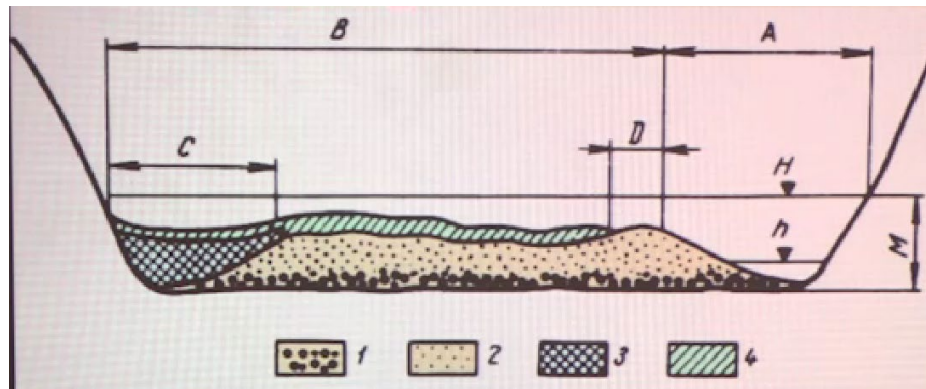


Рис. 10.11. Схема строения поймы

*Русло* - наиболее пониженная часть долины реки, по которой перемещается основная часть донных наносов и сток воды в межень.

Русловой аллювий распространен наиболее широко, слагает дно реки, острова, косы, отмели. У равнинных рек представлен хорошо промытыми разномелкими косоугольными песками, реже гравийниками галечниками.

В разрезе снизу вверх размер обломков меняется от крупного к более мелкому. Для руслового аллювия характерна косая (диагональная) слоистость от более молодых слоев к ранее отложенным.

*Старичный аллювий* возникает за счет отшнуровывания стариц от действующего русла. Старичный аллювий образует линзы, вложенные в руслового аллювий (рис. 10.12).

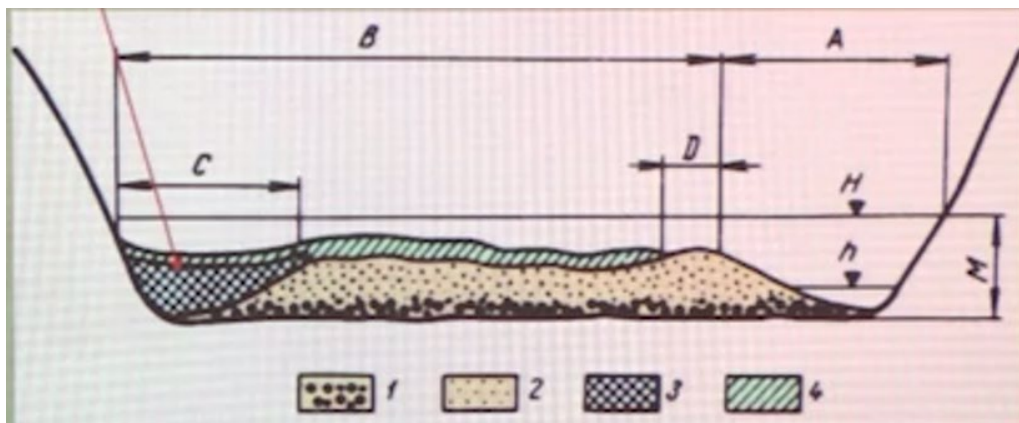


Рис. 10.12. Старичный аллювий. 1,2- руслового аллювий, 3 - старичный аллювий, 4 - пойменный аллювий

Для темноокрашенных, почти черных старичных отложений характерен тонкий пылеватоглинистый, реже мелкопесчаный состав и насыщенность органикой. Иногда перекрыты торфом.



*Пойма* - часть дна долины, приподнятая над меженным уровнем реки и регулярно затапливаемая в половодье. Низкая пойма –затапливается ежегодно, высокая - раз в несколько лет.

Пойменный аллювий возникает за счёт осаждения частиц из паводковых вод, периодически затапливающих речную пойму весной. Залегает пойменный аллювий поверх руслового и старичного. Обладает субгоризонтальной слоистостью из-за небольшой скорости течения. Представлен иловато-глинистыми, в основном алевритовыми отложениями.

Гравийно-галечный аллювий горных рек характеризуется слабой сортировкой материала, отсутствием четкой слоистости и малой мощностью.

### 10.13. Направленность и цикличность в развитии речных долин. Речные террасы

#### Направленность и цикличность в развитии речных долин

В развитии речной долины намечаются:

1) Направленность и последовательность развития - переход от стадии морфологической молодости с преобладанием глубинной эрозии к стадии морфологической зрелости с преобладанием боковой эрозии.

2) Цикличность развития - повторение последовательности стадий молодости и зрелости.

V- образный поперечный профиль долины характерен для молодых горных рек. U-образный поперечный профиль долины характерен для зрелых равнинных рек (рис. 10.13).

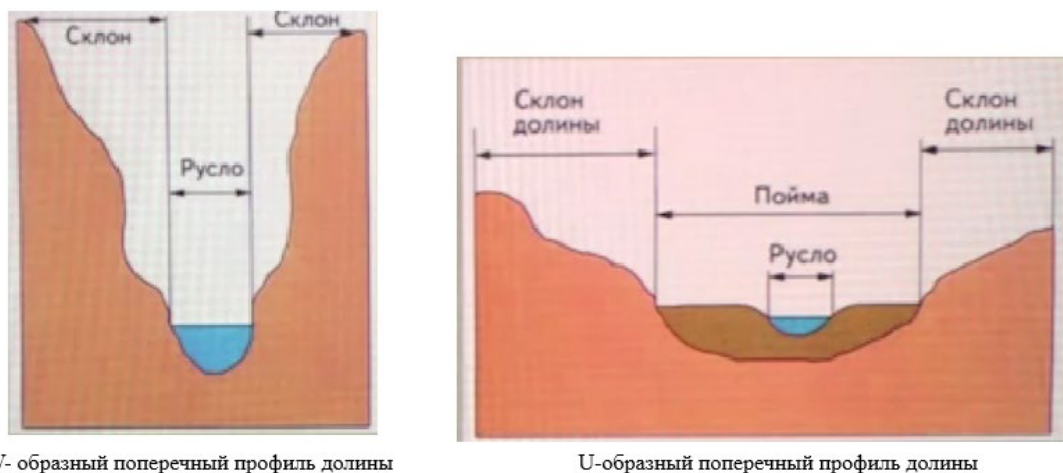


Рис. 10.13. Профили речных долин

На склонах речных долин выше поймы часто наблюдаются выровненные площадки различной ширины, отделенные друг от друга уступами, выраженными в рельефе. Такие ступенеобразные формы рельефа называют речными *террасами*.

В пределах равнинных рек обычно наблюдается 3-5 пойменных террас, в горных районах – до 8-10 террас и более (рис. 10.14).



Рис. 10.14. Речные террасы

Счет надпойменных террас производится снизу вверх. Самая нижняя I надпойменная терраса - самая молодая, следующая выше расположенная II надпойменная терраса и т. д. Самая высокая терраса - самая древняя.

В основании аллювиальных отложений каждой террасы располагается цоколь коренных горных пород, в которые врезана долина реки.

В зависимости от высотного положения цоколя и мощности аллювия выделяют три типа надпойменных террас (рис. 9.17, Лекция 9):

- 1) Аккумулятивная – цоколя не видно вовсе
- 2) Цокольная (эрозионно- аккумулятивная) – цоколь, а на нем шлейф аллювиальных отложений
- 3) Эрозионная – только коренные породы, практически нет аллювия

Формирование террас связано с циклами врезания и аккумуляции (тектонические и климатические причины). Цикл: донная эрозия - боковая эрозия - аккумуляция.

1. Донная эрозия. Развитие реки идет от базиса эрозии в верх по закону регрессивной, эрозии

2. Изменение климата или базиса эрозии, уменьшение энергии потока боковая эрозия, заполнение долины осадками

3. Изменение климата или базиса эрозии, увеличение энергии потока, донная эрозия, врез реки в аллювиальные отложения, формирование террасы

4. Изменение климата или базиса эрозии, уменьшение энергии потока боковая эрозия, заполнение долины осадками

*Террасы - бывшие поймы, прорезанные рекой.*

## Устьевые части рек

На формирование влияют многочисленные факторы:

- 1) расход воды в реке и его изменение во времени;
- 2) количество и состав обломочного материала, переносимого рекой;
- 3) соленость морской воды;
- 4) морские течения;
- 5) эвстатические колебания уровня Мирового океана;
- 6) приливы и отливы;
- 7) тектонические движения

Главную роль играют объем поставляемого рекой обломочного материала, знак и амплитуда движений земной коры. В зависимости от их соотношений возникают два основных типа устьев рек: *дельтовый и эстуарный*.

## Дельта

При впадении реки в море, происходит резкое падение скорости течения. Весь обломочный материал выпадает на дно прибрежной части водоема, образуя подводный конус выноса. Постепенно нарастая в сторону моря в ширину и высоту, он начинает выступать на поверхности в виде дельты с вершиной, обращенной к реке, и с расширяющимся и наклонным в сторону моря основанием.

Термин «дельта» был впервые использован применительно к конусу выноса Нила благодаря сходству его формы с греческой буквой «Дельта».

*Дельта реки* - полого наклоненной в сторону моря низменность в устьевой части реки, сложенная речными отложениями и разделенная разветвленной сетью рукавов и протоков. Некоторые типы дельт приведены на рис. 10.15.

Дельты образуются при относительно небольшой глубине моря при преобладании скорости аккумуляции осадков над скоростью тектонических опусканий или их равенстве. Наземная дельта переходит в подводную дельту, или *авандельту*. Строение дельты приведено на рис. 10.16.



Рис. 10.15. Типы дельт

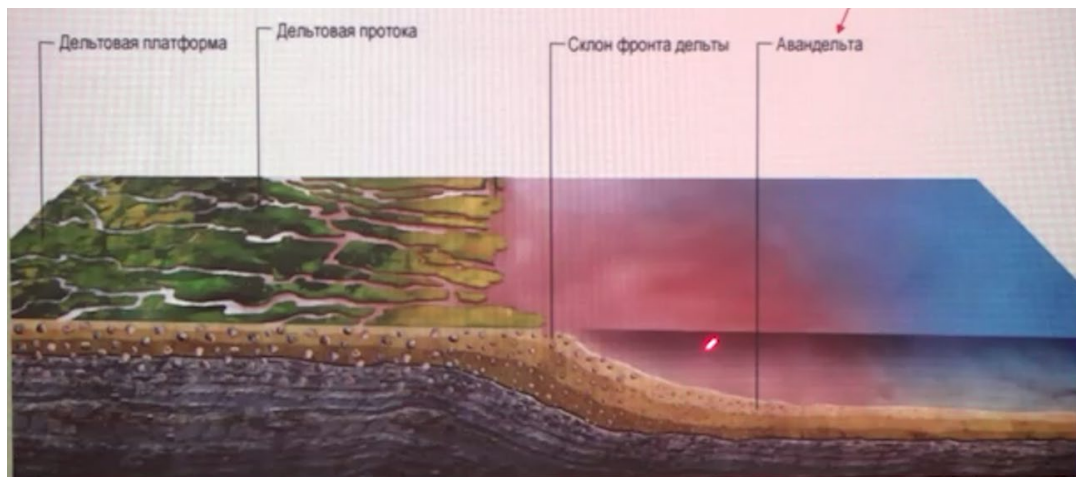


Рис. 10.16. Строение дельты

### Отложения дельт

В речных дельтах встречаются различные по составу и происхождению отложения:

- аллювиальные отложения русловых протоков, представленные в равнинных реках песками и глинами - горных - более грубым материалом;
- озерные отложения, образующиеся в замкнутых водоемах отшнурованных руслах или пониженных частях междуречных островов, представленные преимущественно суглинистыми осадками, богатыми органическим веществом

- болотные отложения - торфяники, возникающие на месте зарастающих озер;
- морские осадки, образующиеся при нагонных волнах.

**Эстуарии** (лат. «эстуариум» - берег, заливаемый приливом) - однорукавные воронкообразные узкие заливы, глубоко вдающиеся в долину реки. Образуются в результате затопления низовий реки, что бывает связано или повышением уровня моря, или с тектоническим опусканием приустьевой части берега.

## Лекция 11. Геологическая деятельность подземных вод

### 11.1. Общие сведения о подземных водах

Все воды, находящиеся в подвижном состоянии ниже поверхности земной коры, называются *подземными*.

Вместе с поверхностными и атмосферными водами они формируют водную оболочку нашей планеты – гидросферу. Количество подземных вод очень велико.

Часть подземных вод свободно перемещается в верхах земной коры под действием гравитации, другая находится в очень тонких порах, удерживаясь силами поверхностного натяжения.

Подземные воды не могут существовать без обмена с поверхностной водой и активно участвуют в круговороте воды в природе.

При непрерывно усиливающимся техногенном воздействии на природную среду подземная пресная вода стала важнейшим полезным ископаемым (Таблица 1).

Таблица 1. Запасы пресной воды

Части гидросферы	Объем пресной воды, км <sup>3</sup>	Процент от данной части гидросферы	Процент от общего объема пресной воды
Ледники	24000000	100	85
Подземные воды	4000000	6,7	14
Озера и водохранилища	155000	55	0,6
Почвенная влага	83000	98	0,3
Пары атмосферы	14000	100	0,05
Речные воды	1200	100	1,004
Итого	28253200	-	100

### 11.2. Происхождение подземных вод

По условиям образования выделяются несколько типов подземных вод:

- 1) инфильтрационные (просачивающиеся с поверхности);
- 2) конденсационные;
- 3) седиментогенные;
- 4) магматогенные, или ювенильные;
- 5) метаморфогенные, или возрожденные

**Инфильтрационные подземные воды** образуются в результате просачивания (инфильтрации) выпадающих на поверхность земли атмосферных осадков вглубь, в водопроницаемые горные породы.

Доказательство - повышение уровня воды в колодцах при выпадении обильных дождей или таяния снежного покрова и понижение уровня в засушливые периоды.

В ряде случаев в питании подземных вод определенную роль играет фильтрация из рек, озер, водохранилищ и других наземных водоемов фильтрационные воды имеют наибольшее значение, доля других невелика.

**Конденсационные подземные воды** формируются в результате конденсации водяных паров, находящихся в трещинах и порах горных пород.

Обычно нагретые водяные пары свободной атмосферы, попадая в условия более низких температур в горных породах, переходят в жидкую фазу. Конденсация водяных паров имеет наибольшее значение для районов пустынь с малым количеством атмосферных осадков и их высокой испаряемостью.

**Седиментогенные подземные воды** образуются вследствие захоронения вод древних морских бассейнов совместно с накопившимися в них осадками. Часто их называют также реликтовыми или погребенными.

На рис. 11.1 представлено, как водоносные горизонты отжимаются из глинистых водоупоров.

На схеме: 1-инфильтрационные воды; 2 - седиментогенные воды выжатые из уплотняющихся осадков; 3-эндогенные воды; 4- фронт внедрения инфильтрационных вод; 5- водоносные песчаные отложения; 6- глинистые водоупоры; 7- кристаллический фундамент.

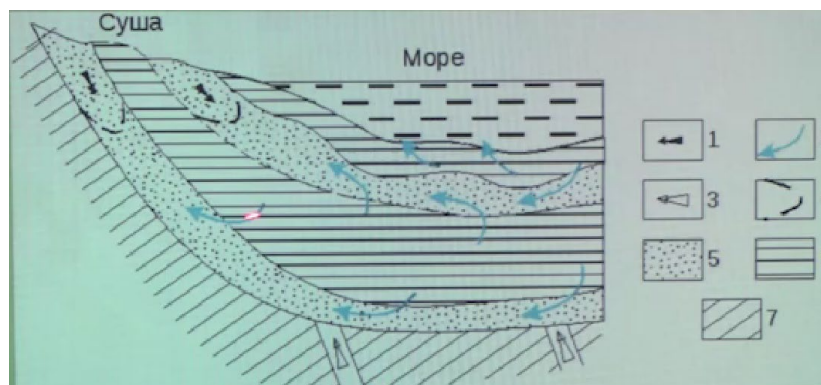


Рис. 11.1. Подземные воды

**Магматогенные, или ювенильные, воды** (от лат. «ювенилис» - юный) связаны с магматическими расплавами, которые содержат водяные пары.

В процессе остывания магмы водяные пары отделяются от нее, поднимаются по трещинам и разломам горных пород, попадают в области с более низкими температурами, конденсируются и переходят в капельно-жидкое состояние.

Извержения вулканов способствовали созданию современной атмосферы и гидросферы.

**Метаморфогенные, или возрожденные воды** возникают под влиянием повышенных температур и давлений, имеющих место при метаморфизме.

В этих условиях вода, входящая в некоторые минералы в химически связанном состоянии, переходит в свободное состояние. Наибольшее ее количество высвобождается при разложении кристаллогидратов, поэтому эти воды называют также дегидратационными.

*Кристаллогидраты* - минералы, содержащие молекулы воды, например, гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , карналлит  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

### 11.3. Виды воды в горных породах

Подземную воду, находящуюся в горных породах в жидкой фазе, согласно современным классификациям, делят на следующие основные виды воды (рис. 11.2):

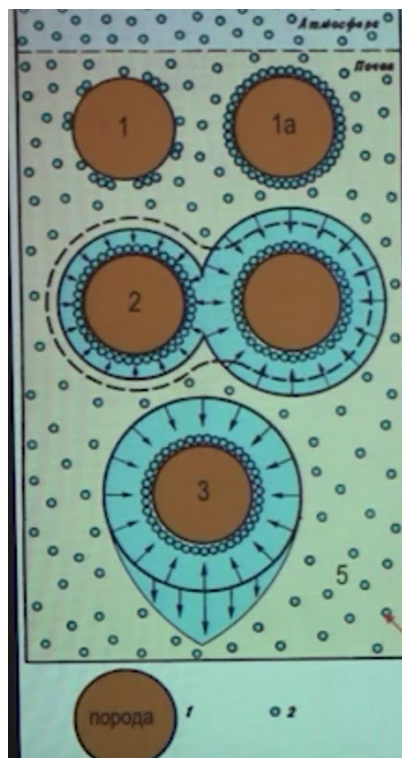


Рис. 11.2. Виды воды

- 1 - физически прочносвязанная (гигроскопическая),
- 2 - физически рыхлосвязанная (пленочная),



- 3 - гравитационная (капельно-жидкая),
- 4 - капиллярная,
- 5 - вода в газообразном и твердом состоянии,
- 6 - химически связанная вода

#### 1. Физически прочносвязанная вода (гигроскопическая)

##### **Физически прочносвязанная вода (гигроскопическая)**

Образуется из паров воды, проникающих в поры горных пород вместе с воздухом. Молекулы воды адсорбируются частицами горных пород - образуют на их поверхности тончайшие одномолекулярные пленки, прочно удерживающиеся молекулярными и электростатическими силами (рис. 11.3).

Выделить гигроскопическую воду из породы можно лишь путем нагревания до температуры  $> 100$  °С, при которой вода переходит в пар. Этот вид воды особенно характерен для глин, суглинков и др.

##### **Физически рыхлосвязанная (пленочная) вода**

По мере увеличения количества адсорбируемой влаги на поверхности частиц породы поверх гигроскопической воды формируются более толстые пленки из нескольких молекулярных слоев, которые удерживаются силами межмолекулярного притяжения (рис. 11.3).

Эта вода медленно перемещается от частиц пород с большей толщиной пленок к частицам с меньшей толщиной, стремясь к выравниванию толщины молекулярных пленок.

##### **Гравитационная (капельно-жидкая) вода**

Возникает при полном насыщении всех пор и трещин в горных породах водой. Свободно перемещается в них под действием силы тяжести. Образует скопления и потоки.

**NB!** Когда речь идет о геологической работе подземных вод, то в первую очередь подразумевается именно эта свободная вода.

##### **Капиллярная (от лат. «капиллярис» - волосная) вода**

Частично или полностью заполняет мельчайшие трещины и поры горных пород. Удерживается в них силами поверхностного натяжения. Может перемещаться по капиллярным каналам в любом направлении, в том числе и противоположном действию силы тяжести, т. е. снизу вверх (рис. 11.3).

Высота капиллярного поднятия над уровнем подземных вод в зависимости от пород изменяется от нескольких сантиметров до 2-3 м.

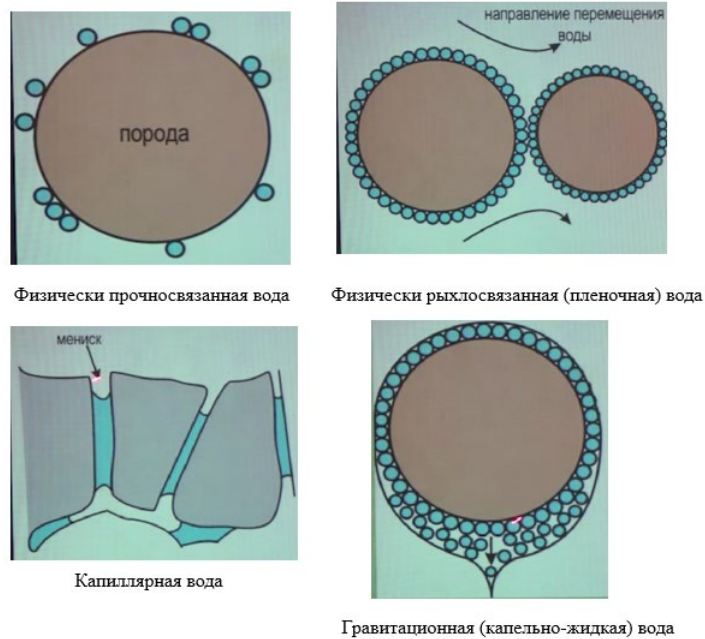


Рис. 11.3. Виды воды

Помимо жидкой воды, в породах присутствует вода, находящаяся в газообразном и твердом состояниях.

*Газообразная (парообразная) вода* содержится в воздухе, заполняющем все пустоты в горных породах, не занятые жидкой водой.

*Вода в твердом состоянии*, в виде льда, встречается главным образом в областях распространения многолетнемерзлых горных пород.

**Химически связанная вода** (конституционная, кристаллизационная, гидратная)

Входит в состав кристаллических решеток некоторых минералов или заполняет свободные пространства в них. Например, минералом, содержащим кристаллизационную воду, является гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Химически связанная вода удаляется из пород либо при нагревании, либо при полном химическом разложении минералов.

Подземные воды закономерно распределяются в верхней части земной коры. Часть коры вблизи поверхности называется *зоной аэрации* (рис. 11.4, I) — это зона свободного проникновения воздуха, самая верхняя часть земной коры между дневной поверхностью и зеркалом грунтовых вод.

В зоне аэрации вода может быть и жидкой, и парообразной. Ниже идет зона полного насыщения (рис. 11.4, II), где вода распространена преимущественно в жидком виде. Если температуры отрицательны, то вода в этих двух зонах может присутствовать и в виде льда.

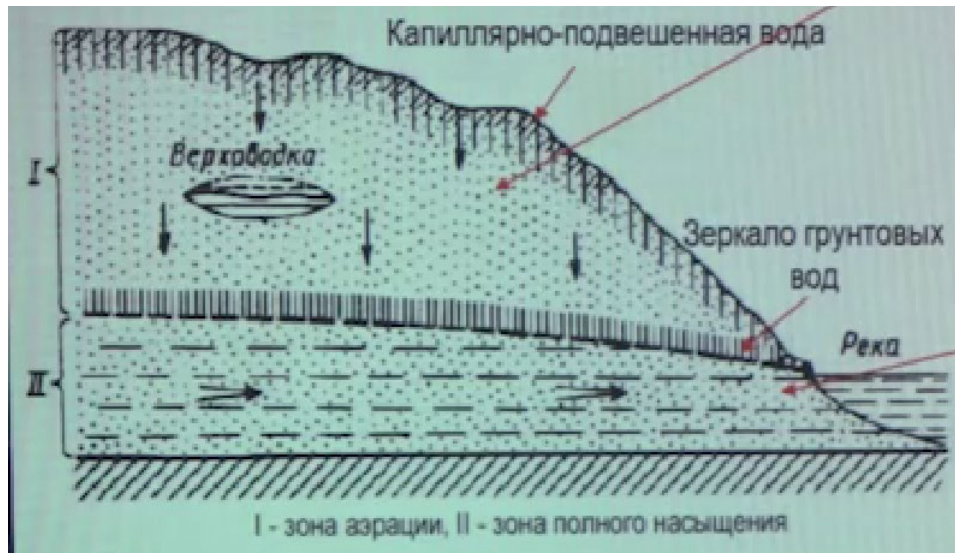


Рис. 11.4. Распространение подземных вод в верхней части земной коры

Таким образом, зона аэрации представляет собой переходный слой между атмосферой и гидросферой.

#### 11.4. Водно-коллекторские свойства горных пород

Пористость, трещиноватость, кавернозность, наличие карстовых полостей и водопроницаемость горных пород определяют формирование подземных вод, закономерности их размещения в земной коре и их режим движения.

**Пористость (n)** имеет особенно важное значение. Вычисляется как отношение суммарного объема пор в породе ( $V_n$ ) к общему объему горной породы ( $V$ ) и выражается в процентах:

$$n = \frac{V_n}{V} 100\%$$

Наиболее характерна пористость для рыхлых осадочных пород. Как правило, она тем больше, чем однороднее по размерам и лучше окатаны слагающие породу минеральные частицы.

В рыхлых осадочных породах пористость достигает 50%, в гранитах – от 0 до 5%, в глинах – 35-80%.

**Водопроницаемость** — это способность горных пород пропускать через себя воду.

**NB!** Даже при высокой пористости все зависит от сложения породы. Не всегда значительная пористость обеспечивает свободное проникновение воды.

Глины обладают пористостью, достигающей 80%, но практически являются водонепроницаемыми. Это объясняется тем, что поры в глинах чрезвычайно тонки

(субкапилляры), и вода при движении в них испытывает огромное сопротивление, создаваемое поверхностным натяжением.

По степени проницаемости горные породы подразделяются на 3 группы:

1) *водопроницаемые* - пески, гравий, галечники, трещиноватые песчаники, конгломераты и другие скальные породы, трещиноватые и закарстованные известняки, доломиты и другие растворимые породы;

2) *слабопроницаемые* - супеси, легкие суглинки, лесс, неразложившийся торф и др.;

3) *относительно водонепроницаемые, или водоупорные* - глины, тяжелые суглинки, хорошо разложившийся торф, не трещиноватые массивные кристаллические и сцементированные осадочные горные породы

В земной коре породы первой и отчасти второй групп играют роль *коллекторов* (накопителей) подземных вод, а породы третьей группы - подстилающих их водоупоров.

От состава рыхлых горных пород зависит их *влагоемкость*, т.е. способность вмещать и удерживать в себе то или иное количество воды.

Различают *полную влагоемкость* (рис. 11.5, 1), когда вода заполняет все поры (включая и тонкие капиллярные) горной породы; *максимальную молекулярную влагоемкость* (рис. 11.5, 3), показывающую количество воды, удерживаемой в породе силами молекулярного сцепления после того, когда вся гравитационная вода стечет из породы.

Разность между полной и максимальной молекулярной влагоемкостью называют *водоотдачей* (рис. 11.5, 2) горной породы.

Для практических целей важно знать *удельную водоотдачу* – количество свободной воды, которое можно получить из 1 м<sup>3</sup> породы.

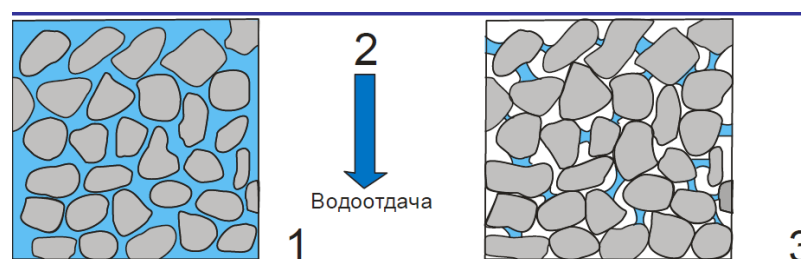


Рис. 11.5. Влагоемкость. 1 – полная влагоемкость: все поры заполнены водой; 2 – гравитационная вода стекла; 3 – максимальная молекулярная влагоемкость; вода удерживается силами молекулярного сцепления

Наибольшая водоотдача у грубообломочных рыхлых пород (пески, гравий, галька). Влагоемкие глины воду практически не отдают.

### 11.5. Условия залегания подземных вод, движение и режим грунтовых вод

По условиям залегания, гидродинамическому режиму, особенностям питания среди подземных вод могут быть выделены следующие типы: почвенные (1), верховодка (2), грунтовые (3), межпластовые безнапорные (4) и межпластовые напорные (или артезианские) воды (5) (рис. 11.6).

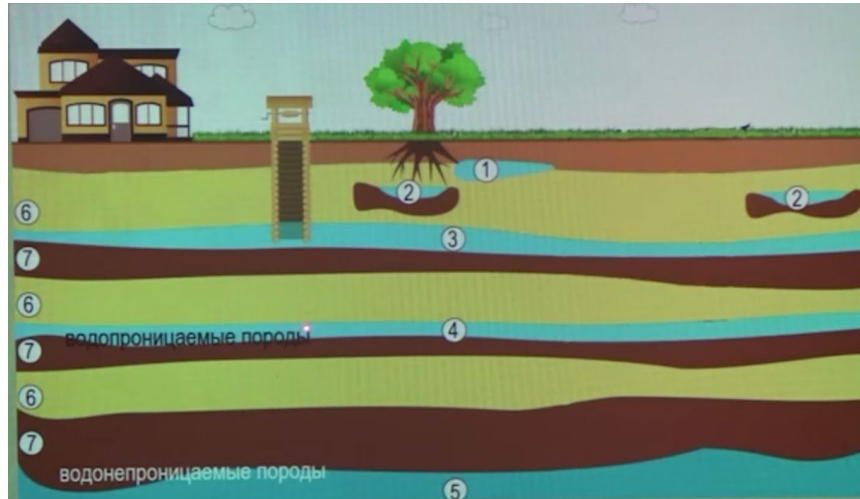


Рис. 11.6. Условия залегания подземных вод

**Почвенные воды** залегают у дневной поверхности в почвенном слое и представляют собой «висячие» (не подстилаемые водоупором) гигроскопические, пленочные, а во влажные сезоны еще и капиллярные воды.

Образуются путем инфильтрации атмосферных осадков и конденсации влаги из воздуха. Почвенные воды подвержены значительному воздействию сезонных колебаний температуры в летнее время они сильно прогреваются и испаряются, зимой замерзают.

**Верховодка** - временное скопление подземных вод в близповерхностном слое водоносных отложений в пределах зоны аэрации, лежащих на линзовидном, выклинивающемся водоупоре (рис. 11.7).

Мощность верховодки (0,5 - 1, редко 2 - 3 м) и ее уровень подвержен значительным колебаниям в соответствии с климатическими изменениями. Вода здесь находится в капельно-жидкой (гравитационной) форме.

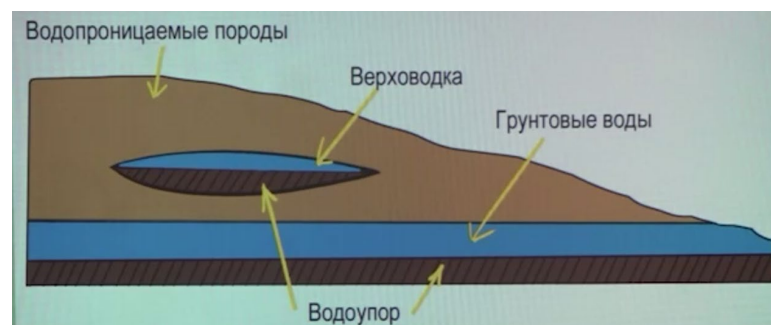


Рис. 11.7. Верховодка

**Грунтовые воды** пользуются большим распространением. Это воды первого от поверхности постоянного водоносного горизонта, залегающего на первом более или менее выдержанном водонепроницаемом слое (рис. 11.8)

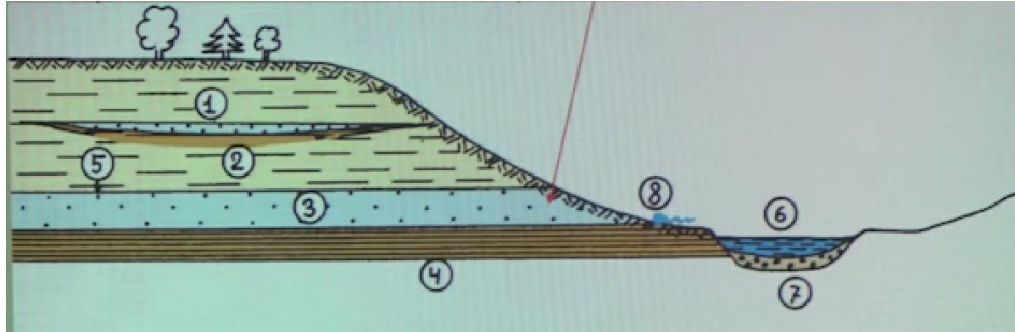


Рис. 11.8. Схема залегания грунтовых вод

Схема залегания грунтовых вод: 1 - верховодка (водоносный временный горизонт), 2 - локальный водоупор, 3 - водоносный горизонт, 4 – водоупорный горизонт, 5 - зеркало грунтовых вод, 6 - река, 7 - аллювий, 8 – родник.

Отсутствие водоупорной кровли обуславливает питание грунтовых вод на всей площади распространения т.е. область питания грунтовых вод совпадает с областью их распространения.

В грунтовых водах следует различать верхнюю поверхность, или *зеркало грунтовых вод*, и *водоупорное ложе* (водонепроницаемая горная порода, подстилающая грунтовые воды) (рис. 11.9).

Порода, насыщенная гравитационной водой, называется *водоносным слоем* или *водоносным горизонтом*. Мощность водоносного слоя - расстояние от зеркала грунтовых вод до водоупорного ложа.

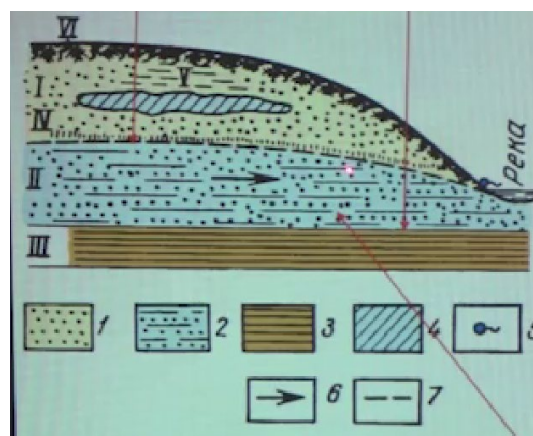


Рис. 11.9. Схема залегания грунтовой воды и соотношение с ее верховодкой

На схеме: I - зона аэрации; II - зона насыщения водой (грунтовая вода); III - водоупорное ложе; IV - зона капиллярного поднятия; V - верховодка; VI - почвенные воды; 1 - песок; 2 - вода-насыщенный песок; 3 - глина; 4 - тяжелый суглинок; 5 - нисходящий источник; 6 - направленное движение грунтовых вод; 7 - зеркало, или уровень, грунтовых вод.

Часть водоносного горизонта, где он насыщается водой, называется *областью питания*. Место, где подземные воды выходят в виде источников или родников, - *областью разгрузки или дренирования* (от франц. «дренаж» - сток). Расположенная между ними часть водоносного горизонта, где движутся подземные воды, - *областью транзита*.

К зеркалу грунтовых вод примыкает *капиллярная кайма*, в которой поры породы лишь частично заполнены водой, поднимающейся по капиллярам (рис. 11.9).

Грунтовые воды по своим гидравлическим особенностям – безнапорные или обладающие небольшим местным напором. Уровень грунтовых вод подвержен достаточно резким колебаниям в зависимости от метеорологических условий.

Подземные воды находятся в постоянном движении и, подчиняясь законам гравитации, медленно перемещаются от областей питания к областям разгрузки.

Грунтовые воды движутся по порам и трещинам в виде отдельных тонких струек, параллельных друг другу.

Скорость движения подземных вод зависит от водопроницаемости горных пород, а также от гидравлического уклона зеркала воды (напорного или гидравлического градиента).

Скорость движения грунтовых вод в сравнении со скоростями течения рек относительно невелика. В песках мелкозернистых и однородных скорости движения воды при больших уклонах могут достигать 1 - 5 м/сут. В крупнозернистых гравийных песках - 15 - 20 м/сут. В галечниках и сильно трещиноватых закарстованных известняках - 100 м/сут, а иногда значительно больше.

Самый большой карстовый источник на западном склоне Чатыр-Дага с расходом воды (дебитом) 0,02 - 30,8 м<sup>3</sup>/с.

**Режим грунтовых вод** - уровень, количество, качество грунтовых вод постоянно меняется.

Основным ведущим фактором при этом являются климатические и погодные условия, особенно количество атмосферных осадков.

Колебания уровня могут иметь резко выраженный сезонный характер и в течение года достигать нескольких метров с изменением уровня грунтовых вод изменяется дебит источников и химический состав воды.

Таким образом, от поверхности Земли до водоупорного ложа отчетливо выделяются 3 зоны (рис. 11.10):

- 1) зона аэрации, располагающаяся над уровнем грунтовых вод, она не заполнена водой, и атмосферные осадки через нее лишь просачиваются в нижележащие зоны
- 2) зона периодического насыщения водой, расположенная между минимальным уровнем подземных вод, соответствующим засушливым периодам, и наивысшим, устанавливающимся в многоводные периоды
- 3) зона постоянного насыщения между самым низким уровнем грунтовых вод и водоупорным ложем

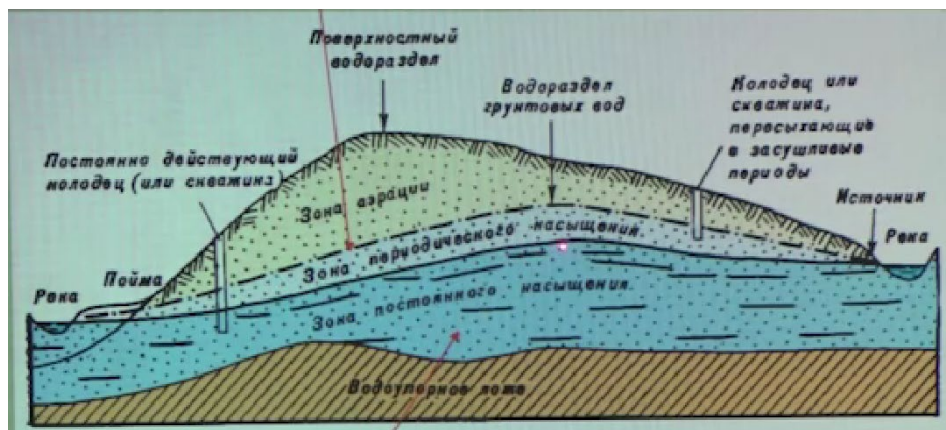


Рис. 11.10. Режим грунтовых вод

### Безнапорные межпластовые воды

Помимо грунтовых вод иногда выделяются безнапорные межпластовые воды, отличающиеся от грунтовых вод тем, что находятся между двумя выдержанными водоупорами.

Питание их происходит не на всей площади распространения водоносного слоя, а только в месте выхода его на поверхность (рис. 11.11).

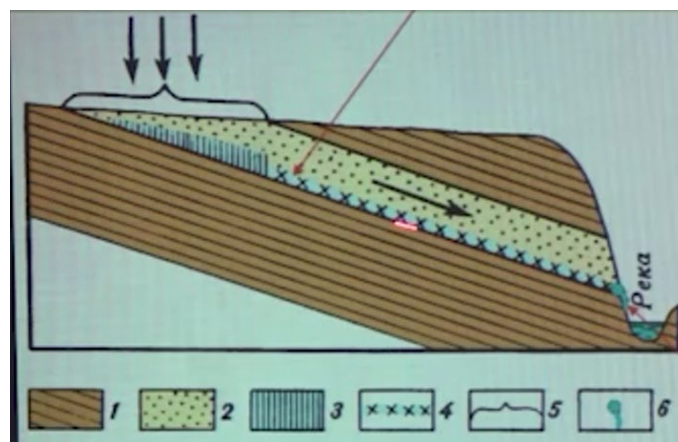




Рис. 11.11. Безнапорные межпластовые воды

Схема залегания межпластовых безнапорных вод: 1 - водонепроницаемые породы; 2 - водопроницаемые породы; 3 - грунтовые воды; 4 - межпластовые воды; 5 – область питания; б - нисходящий источник

Они не заполняют полностью водоносного слоя, не имеют соприкосновения с водонепроницаемой кровлей и характеризуются свободной ненапорной поверхностью (рис. 11.11).

На склонах оврагов и рек часто образуются источники, или родники, при вскрытии контакта водоносных и водоупорных пород.

Таким образом, межпластовые воды являются проточными и по условиям передвижения аналогичны грунтовым нисходящим водам подчиняющимся законам силы тяжести.

### **Напорные, или артезианские, межпластовые воды**

Наиболее благоприятные условия для формирования напорных вод создаются в пределах различных прогибов земной коры.

Под действием силы тяжести воды будут стремиться к нижней части водоносного горизонта. При этом, если они стремятся с двух сторон, в центральной части возникает избыточное давление. Таким образом, если пробурить скважину, она будет фонтанировать за счет напора (рис. 11.12).

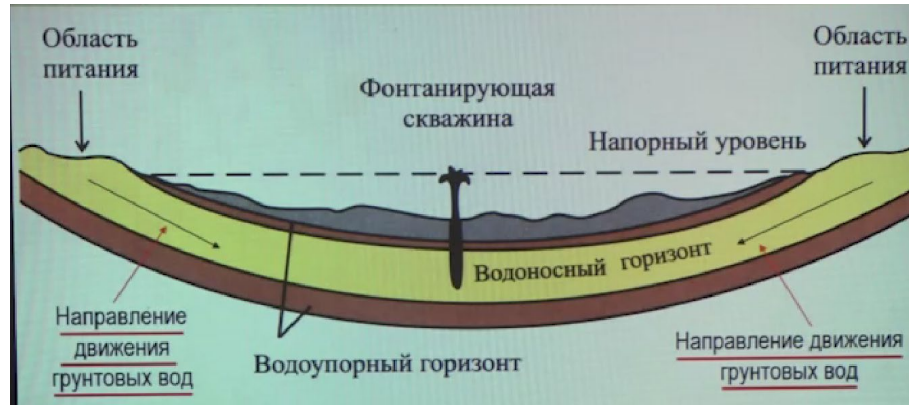


Рис. 11.12. Напорные воды, фонтанирующие из скважины, пробуренной к водоносному слою

### **11.6. Источники**

Естественный выход подземных вод на поверхность называется *источником* (ключ, родник).

Источники чаще всего приурочены к долинам рек, балок, оврагов, прорезающих водоносные горизонты, и к берегам морей. Вода может спокойно стекать в виде многочисленных струй на широкой площади или в виде одной струи.

Источники, питаемые верховодкой и ненапорными грунтовыми водами, называются *нисходящими*.

Если вода выходит в виде бьющей вверх сильной струи, то такие источники, питаемые напорными водами, называют *восходящими*.

### **11.7. Химический состав подземных вод**

Химический состав подземных вод связан с их происхождением и взаимодействием с различными горными породами, в которых они находятся.

Подземные воды практически никогда не бывают дистиллированными. Всегда содержат некоторое количество растворенных компонентов.

Суммарное содержание растворенных веществ называется *общей минерализацией* и выражается в г/л или мг/л. Классификация подземных вод по общей минерализации предложена В. И. Вернадским, который выделил четыре группы подземных вод:

- Пресные – до 1 г/л
- Солончатые – 1-10 г/л
- Соленые – 10-50 г/л
- Рассолы – 50-600 г/л

По преобладающим анионам выделяются гидрохимические типы подземных вод, главными из которых являются:

- гидрокарбонатные;
- сульфатные;
- хлоридные воды,
- ряд промежуточных типов - гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-хлоридные и др.

В подземных водах наиболее распространены ионы:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$

Иногда в заметных количествах:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$

Из газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , реже  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$

Различные сочетания первых основных шести элементов и определяют основные свойства подземной воды - щелочность, соленость и жесткость.

### **Минеральные воды**

*Минеральными водами* называют воды, которые используются для лечебных целей и обладают определенными физико-химическими свойствами, оказывающими особое физиологическое воздействие на организм человека.

По температуре минеральные воды делят на холодные (до 20 °С), теплые (от 20 до 37 °С), горячие (от 37 до 42 °С) и очень горячие (гидротермальные - более 42 °С). В зависимости от состава, свойств и лечебного значения среди них различают:

- углекислые,
- сероводородные,
- радиоактивные минеральные воды

### **11.8. Геологическая деятельность подземных вод**

Находясь в земной коре в непрерывном движении, подземные воды производят геологическую работу, заключающуюся в физических и химических выветривания горных пород, переносе продуктов выветривания и накоплении определенных типов отложений.

Первостепенную в геологической работе подземных вод играют процессы, выражающиеся в их химическом и механическом воздействии на горные породы.

Основным результатом этой деятельности является образование *карста и оползней*.

#### **Карстовые процессы**

*Карст* - процесс химического растворения и вымывания водой солей (*выщелачивание*) из растворимых водой пород (карбонатных, галоидных, сульфатных) т. е. растворения и выноса какой-то части пород, а также комплекс поверхностных и подземных форм рельефа, образующихся в областях распространения растворимых пород.

Растворяющее действие воды зависит от:

1. Температуры
2. Содержания углекислоты и различных солей (СО<sub>2</sub> повышает растворимость карбонатов, NaCl - растворимость сульфатных пород)
3. Пористости и трещиноватости пород (увеличивает проницаемость пород)

Горные породы, которые подвержены развитию карста, называют *карстующимися*. Районы, где развивается карст – *карстовыми*.

К числу растворимых пород относятся каменная соль, гипс, ангидрит, известняк, доломит, отчасти мергель.

Наибольшей растворимостью обладает каменная соль ( $\text{NaCl}$ ), наименьшей - карбонатные породы, известняки ( $\text{CaCO}_3$ ) и доломит ( $\text{CaMgCO}_3$ ).

По характеру растворимых пород различают три основных типа карста:

- карбонатный - труднорастворимый (известняк, доломит, мел, мергель),
- сульфатный - среднерастворимый (гипс, ангидрит),
- соляной - легкорастворимый (каменная и калийная соли)

Наиболее часто встречается известковый карст, что объясняется широкой распространенностью карбонатных пород.

По степени выраженности карстовых форм и их соотношению различают (рис. 11.13):

- *карст открытый, или голый* (средиземноморский тип, крымский тип) - карстующиеся породы выходят непосредственно на поверхность,
- *карст покрытый (среднеевропейский тип)* - карстующиеся породы перекрыты нерастворимыми отложениями



Рис. 11.13. Типы карста

Наибольшее многообразие карстовых форм характерно для открытого карста, чему способствует ливневый характер выпадающих атмосферных осадков.

Процесс растворения пород приводит к формированию *поверхностных и подземных карстовых форм* (рис.11.14).

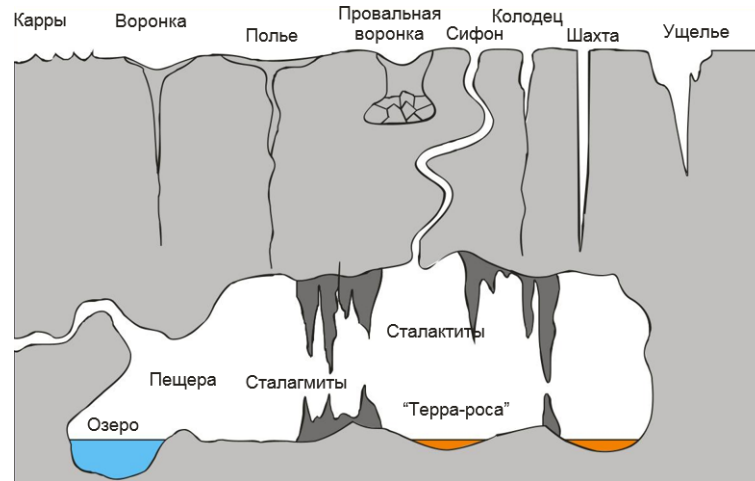


Рис. 11.14. Карстовые формы рельефа

**Поверхностные карстовые формы** развиваются на поверхности обнаженных растворимых пород в результате совместного действия подземных и поверхностных вод, растворяющих и одновременно размывающих горные породы.

Поверхностные формы отличаются большим разнообразием. К ним относятся (рис. 11.15):

- карры,
- понары,
- карстовые воронки,
- карстовые котловины и поля,
- колодцы и шахты



Рис. 11.15. Поверхностные карстовые формы рельефа

**Карры** представляют собой небольшие углубления (глубиной от нескольких сантиметров) и дыры на поверхности горных пород.

Нередко - глубокие борозды, небольшие канавки, щели, и т.п. глубиной от нескольких сантиметров до 1 и редко 2 м, развивающиеся по трещинам.

Поверхность растворимых пород, покрытая каррами, называется *карровыми полями*. Происхождение карров связано с растворяющим воздействием атмосферных вод на породы в краях трещин, пересекающих массивы.

**Поноры** - глубокие наклонные или вертикальные отверстия щелеобразной и колодецеобразной формы, по которым поверхностная вода отводится в глубину массива. Поноры - проявление следующей за парообразованием стадии карстового процесса.

**Карстовые воронки** - наиболее распространенные поверхностные карстовые формы. Это конусообразные и чашеобразные углубления с крутыми или пологими склонами. Диаметр их обычно изменяется от 1 до 50 м и более, глубина редко превышает 15-20 м.

На отдельных закарстованных участках Крымской яйлы на площади в 1 км<sup>2</sup> находится до 50 и даже до 80 воронок.

По особенностям развития выделяются 2 основных типа карстовых воронок (Гвоздецкий, 1954; Соколов, 1962):

1) Воронки поверхностного выщелачивания, образование которых связано с растворяющим воздействием дождевых и снеговых вод, приводящим к постепенному углублению и расширению трещин. Росту этих воронок помогает размывающая деятельность поверхностных вод.

2) Провальные воронки распространены как в пределах различных растворимых пород, так и в районах, где растворимые породы покрыты достаточно мощной песчано-глинистой толщей. Они образуются в результате обрушения сводов подземных карстовых полостей.

Карстовый процесс в этих условиях сосредоточивается в глубине, где вырабатываются различные полости - пещеры, своды которых до определенного момента держатся ненарушенными.

Процессы растворения и эрозия при линейном расположении воронок могут привести к образованию карстово-эрозионных оврагов.

### **Карстовые котловины и поля**

Дальнейшее развитие карстовых процессов при слиянии карстовых воронок приводит к образованию более сложных крупных карстовых форм - *котловин и полей*, достигающих значительных размеров.

*Карстовое поле* - большое в сотни км<sup>2</sup> понижение, образовавшееся при слиянии нескольких карстовых котловин. Используется на Балканах для сельскохозяйственных полей.

**Карстовые колодцы и шахты** представляют собой карстовые формы, уходящие в глубину на десятки и сотни метров и являющиеся переходными от поверхностных к подземным формам.

К карстовым колодцам относят вертикальные каналы глубиной до 20 - 30 м и шириной более метра. Более глубокие формы, достигающие глубины в несколько десятков и сотен метров, называют *естественными карстовыми шахтами*.

**Исчезающие реки** - водотоки, скрывающиеся под землю в карстовых воронках, понорах, частое явление в районах выходов на поверхность карстующихся горных пород.

Поглощение и отвод в глубину поверхностного стока рек панорамы, воронками и другими карстовыми формами создает *слепые долины рек* (карстово эрозионные). Такие долины слепо заканчиваются, не достигая главной реки.

### **Периодически исчезающие озера**

Вытегорский район Вологодской области (Шимозеро, Долгозеро, Грязнозеро, Кенозеро, Ундозеро и др.).

*Шимозеро* - озеро в Вытегорском районе Вологодской области, в восточной части Вепсской возвышенности. Площадь поверхности - 7,9 км<sup>2</sup>. Относится к периодически исчезающим карстовым озёрам. Сток происходит через карстовую воронку (Чёрная яма).

## **11.9. Подземные карстовые формы**

К подземным карстовым формам рельефа относятся:

- 1) закарстованные трещины, т.е. трещины, расширенные растворяющей деятельностью подземных вод
- 2) карстовые пещеры и каналы

*Карстовые пещеры* - самые крупные подземные карстовые формы (рис. 11.16). Пещерами называют разнообразные подземные полости, образующиеся в карстовых областях, и имеющие один или несколько выходов на поверхность. Карстовые пещеры образуются двумя путями:

- 1) растворения, выщелачивания и размыва;
- 2) обрушения, раскрытия и последующего размыва тектонических трещин

Пещеры представляют собой систему горизонтальных или близких к горизонтальным каналов, то ветвящихся, соединенных узкими ходами, то расходящихся и образующих огромные залы, или гроты, то переходящих в узкие щели.



Рис. 11.16. Карстовая пещера

На дне карстовых пещер наблюдаются иногда водотоки или небольшие озера, осуществляющие не только растворение, но и размыв (эрозия) горных пород.

Пещеры сильно различаются по протяженности. Самой длинной считается пещерная система Мамонтова - Флинт-Ридж (Mammoth-Flint Ridge Cave System), - карстовая пещерная система в штате Кентукки (США).

Длина исследованной части пещерной системы - 676 км. Вторая по протяженности - гипсовая Оптимистическая на Украине (192 км). Есть сведения, что украинские спелеологи обнаружили в Тернопольской области самую длинную пещеру в мире («Музейная»), точная ее длина неизвестна.

В России карстовые пещеры распространены в Крыму, на Кавказе, в Приуралье, на Алтае и в других местах. Пещера Ботовская (Жигаловский район Иркутской области) самая протяженная на территории России. На 2012 год длина ее разведанных ходов составляла 66743 метра.

Помимо растворения пород и их эрозии, подземные воды осуществляют перенос и отложение материала. Перенос происходит в основном в химической форме, то есть в виде *растворов*.

Абсолютное большинство формирующихся осадков являются хемогенными. Из минералов - арагонит, галит, гипс.

На стенах, потолке и днище пещер образуются разнообразные *натечные формы* карбоната кальция, таких как: корки, завесы, занавесы, сталактиты сталагмиты и сталагматы и другие.

В ледяных пещерах натечные образования могут слагаться льдом. Из вод, насыщенных кремниевой кислотой, образуются кремнёвые туфы. В местах выхода на земную поверхность насыщенных углекислотой подземных вод откладывается известковый туф – травертин.



Оставшаяся после растворения известняка нерастворимая глинистая масса, часто красного цвета из-за оксидов и гидроксидов Fe, формирует *терра-россу*.

*Кремнёвый туф (гейзерит)* - горная порода, отложений подземных вод, содержащих растворенный кремнезем. Преимущественно состоит из опала. Цвет белый, серый, розовый, коричневый.

*Известковый туф (травертин)* - образуются в результате осаждения CaCO<sub>3</sub> у выходов источников подземных вод, богатых углекислым кальцием:



*Терра росса* (лат. terra rossa - красная земля) - красноватые глинистые отложения, являющиеся остаточной нерастворимой частью карбонатных пород. Обогащены оксидами, в основном Al и Fe. Тип почвы, характерный для карстовых ландшафтов Средиземноморья.

Во всех пещерах есть *известковые натечки*. По происхождению близки к травертинам. Натечные образования нарастают на стенках пустот в карбонатных породах при испарении растворов, обогащенных углекислым кальцием.

В зависимости от положения в пещере и формы, натечные образования подразделяются:

*Сталактиты* - выросшие на своде пещеры из просачивающейся воды. Иногда ряды сталактитов маркируют трещину в потолке.

*Сталагмиты* - выросшие на полу из капающей сверху воды. Они обычно более короткие и широкие по сравнению со сталактитами. Часто растут непосредственно под сталактитами.

*Сталагматы* - вертикальные колонны. Образуются из доросших до пола сталактитов или из соединившихся сталактита и сталагмита.

*Гуры* - наплывы на полу пещеры, образуются при равномерном просачивание воды через трещину в потолке.

Высотное расположение многих пещер, по которым протекают подземные реки, находится в тесной связи с уровнем базиса эрозии – положением днищ долин, дренирующих карстовый массив.

При понижении базиса эрозии (углубления долин), устья пещерных рек высыхают, превращаются в сухие пещеры, а на уровне нового базиса эрозии начинает формироваться новая система горизонтальных галерей. Так возникает *этажный карст* и *многоэтажные пещеры*.

### **Основные особенности тропического карста**

*Карстовый процесс* - прежде всего денудационный процесс (снос и перенос), поэтому он протекает по-разному в разных климатических зонах.

В тропическом карсте, в процессе развития возникают понижения, разделяющие весь карстовый массив на отдельные возвышенности (башни, конусы).

Дальнейшее развитие тропического карста сводится к расширению за счет сокращения площадей, занятых возвышенностями, до их полного уничтожения.

По морфологии положительных элементов рельефа тропический карст подразделяют на (рис. 11.17):



Рис. 11.17. Тропический карст

- Куполовидный
- Башенный
- Конический
- Котловинный

#### **Итог:**

Карстовые явления представляют собой сложный многообразный процесс, развивающийся лишь при наличии следующих основных условий:

- Карстующихся горных породах
- Способности пород пропускать воду
- Наличие движущейся воды, способной растворять породы

При отсутствии одного из этих условий карстообразования не будет. Карст - процесс химического (растворения) и отчасти механического воздействия вод (разрушение струями - водной эрозии) на растворимые проницаемые горные породы.

### 11.10. Суффозия

*Суффозия* - процесс разрушения горных пород подземными водами путем механического выноса твердых частичек породы (от лат. *suffosio* - подкапывание, подрывание), внешне похожий на карст, при суффозии идет выноса материала без растворения.

Наиболее широко суффозия развита в лесах и суглинках, по склонам речных долин, часто проявляется у выходов источников, особенно восходящих источников.

В карбонатно-глинистых породах карст и суффозия могут проявляться одновременно. Это явление носит название *глинистый карст*, или *глинистый псевдокарст*.

Суффозия приводит к проседанию поверхности земли с образованием отрицательных форм рельефа: суффозионных воронок, блюдец, впадин (воронки просасывания) диаметром до 10 и даже 100 метров, а также пещер.

Недоучет карстовых и суффозионных процессов при инженерно- строительной деятельности может привести к:

- просадке и провалам жилых зданий над подземными полостями;
- деформациям железнодорожного или автомобильного полотна;
- утечки воды из водохранилищ;
- поступлению карстовых грунтовых вод в подземные выработки;
- Загрязнению подземных вод зальная карстово-суффозионная воронка под жилым зданием

## **Лекция 12. Геологическая деятельность ледников**

### **12.1. Ледники**

Ледники – часть гидросферы (водной оболочки) Земли. 85% запасов пресной воды на Земле сосредоточено в ледниках.

*Ледник* - большая многолетняя масса природного льда на поверхности Земли преимущественно атмосферного происхождения, испытывающая медленное течение под воздействием силы тяжести.

В современную эпоху 11 % суши, или 17 млн км<sup>2</sup>, занято ледниками и ледниковыми покровами, объемом около 30 млн км<sup>3</sup>. Из них ~ 98 % приходится на материковые покровы, 2 % - на шельфовые 0,1 % - на горные ледники

Крупнейшие ледниковые покровы суши: Антарктический (~ 13,8 млн км<sup>2</sup>), Гренландский (~ 1,7 млн км<sup>2</sup>).

Все остальные ледники, развитые преимущественно в горах, обладают незначительным объемом.

Ледники производят огромную разрушающую, транспортирующую и аккумуляционную работу, существенно преобразуют рельеф. Изменение массы ледников вызывают:

- движения земной коры,
- колебания уровня Мирового океана,
- приводят к изменению климата Земли

### **12.2. Образование ледников. Снеговая линия**

Существует два главных фактора, которые позволяют в той или иной местности образоваться леднику - *рельеф и климат*.

Лед ледников образуется из снега. Возникновение ледников обусловлено обильными снегопадами и низкими температурами не только зимой, но и летом. Эти условия выполняются в полярных широтах и высокогорьях. С высотой температура понижается в среднем на 0,5-0,6° С на каждые 100 м. NB! Ледники образуются только выше снеговой линии

*Снеговая линия* - уровень земной поверхности, выше которого накопление твердых атмосферных осадков преобладает над их таянием и испарением (рис. 12.1).

Высота снеговой линии зависит от климатических особенностей, прежде всего от температуры и влажности, и от рельефа конкретных территорий. Чем теплее, тем выше снеговая линия и чем влажнее, тем она ниже.

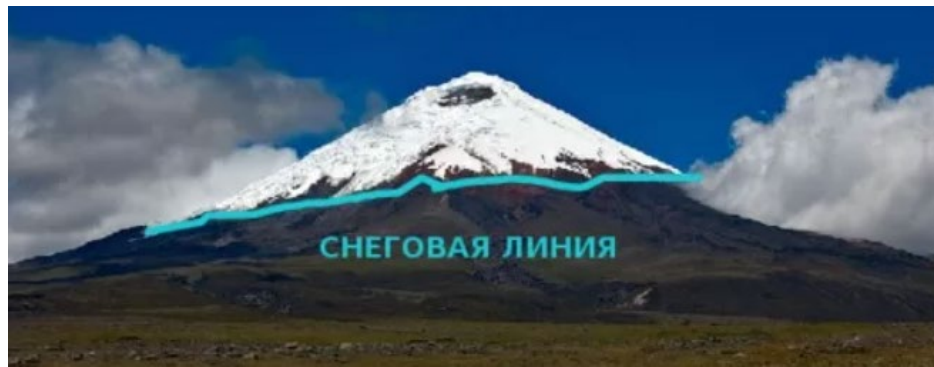


Рис. 12.1. Снеговая линия

Высота снеговой линии меняется и внутри одной горной страны, это связано с различной влажностью воздуха и экспозицией горных склонов.

Помимо *нижней снеговой границы* выделяют и *верхнюю снеговую границу*. С высотой температура понижается, содержание водяного пара в воздухе уменьшается. На какой-то высоте возникает обстановка неблагоприятная для образования снежного покрова.

*Хионосфера* (от греч. *chion* - снег и *sphaira* - шар), - слой атмосферы, внутри которого возможен постоянный положительный баланс твердых атмосферных осадков, возможно зарождение и существование снежников и ледников. Мощность хионосферы до 10 км.

Верхняя граница расположена выше уровня самых высоких гор и соответствует нулевому балансу твёрдых атмосферных осадков. Нижняя граница хионосферы соответствует снеговой линии.

Процесс образования льда сложный и длительный. *Сублимация (возгонка)* - переход вещества из твёрдого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое.

Под действием солнечных лучей снежинки днем оплавляются, ночью - замерзают и принимают форму зерен. Затем происходит испарение зерен льда (сублимация) и новая кристаллизация. При этом высвобождается тепло, происходит сплавление отдельных кристаллов в более крупные кристаллические сростки льда. Образуется фирн.

*Фирн* (от др.-в.-нем. *fīni* - прошлогодний, старый) - плотно слежавшийся, зернистый и частично перекристаллизованный многолетний снег.

По мере накопления новых порций фирна нижние слои испытывают все возрастающее давление. Происходит уплотнение фирна, вытеснение воздуха, смерзание отдельных кристаллических сростков. Фирн превращается в непрозрачный белый фирновый лед. Затем в голубой прозрачный ледниковый (глетчерный) лед.

- *Снег* (пористость 90-50%). Из 10-11 м<sup>2</sup> снега образуется ~1 м<sup>3</sup> ледникового (глетчерного) льда
- *Фирн* (пористость 20%) - зернистая ледяная порода с сообщающимися порами, переходная форма между снегом и ледниковым льдом
- *Ледниковый (глетчерный) лед* (пористость 0%) - монолитная ледяная порода, слагающая ледник

### 12.3. География современного оледенения. Классификация ледников

Ледники особенно широко распространены на материках и островах полярных областей Земли, а также в высоких горах других климатических зон.

#### Классификация ледников

Есть несколько классификаций ледников:

- 1) Динамическая классификация ледников - подразделение ледников в связи с особенностями их движения
- 2) Геофизическая классификация ледников - деление ледников в соответствии с их тепловым состоянием и термическим режимом ниже деятельного слоя (слой сезонных колебаний температуры в леднике)
- 3) Морфологическая классификация ледников - деление ледников в зависимости от вмещающей ледник или несущей оледенение формы (рис. 12.2)

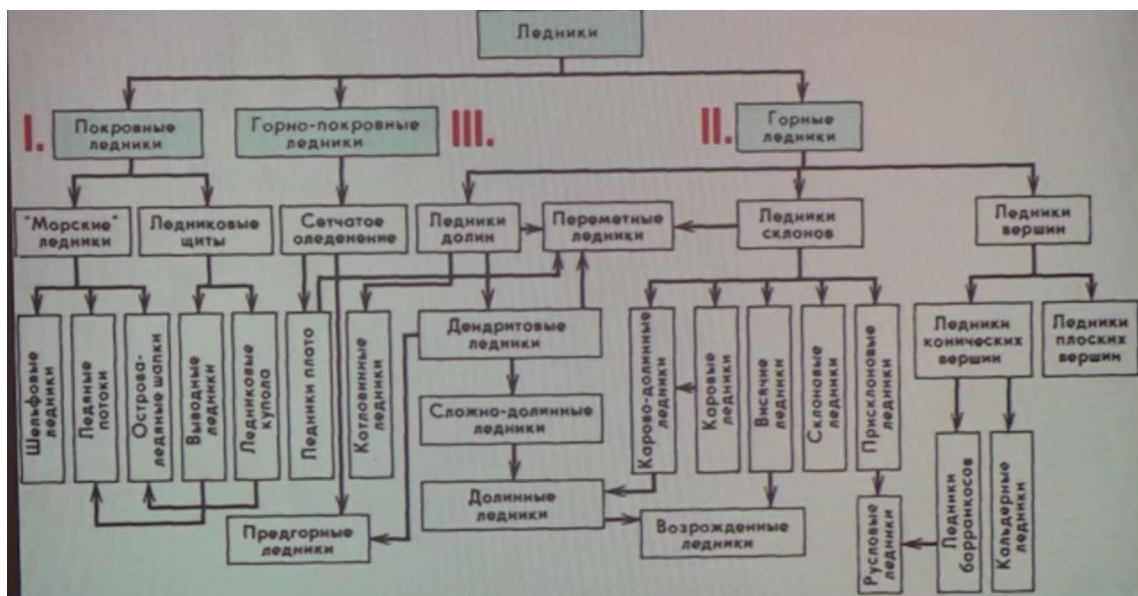


Рис. 12.2. Морфологическая классификация ледников

### 12.4. Покровные (материковые) ледники

*Ледниковый покров* - система ледниковых щитов, куполов, ледяных потоков, выводных ледников, шельфовых ледников, покрывающих сушу, континентальные

шельфы и материковые склоны. Крупные ледники покрывают целые острова и континенты.

Развиты в полярных областях, где снеговая граница близка к уровню моря. 85% общей площади современных ледниковых покровов (14,4 млн. кв.км) приходится на наземный покров Антарктиды (толщина льда ср.- 2,5 - 2,8 км, макс.- 4,8 км). 12,4% составляет покров Гренландии (толщина льда ср. - 1,5 км. макс.~ 3,2 км). 2,6% остаются на ледниковые покровы Канадского архипелага, Исландии, Шпицбергена, Новой Земли, Северной Земли и других островов Арктического океана.

Форма покровных ледников не зависит от рельефа земной поверхности, а обусловлена распределением питания и расхода льда.

Движение льда определяется преимущественно силой растекания и происходит, как правило, от центральной части к периферии (рис. 12.3).

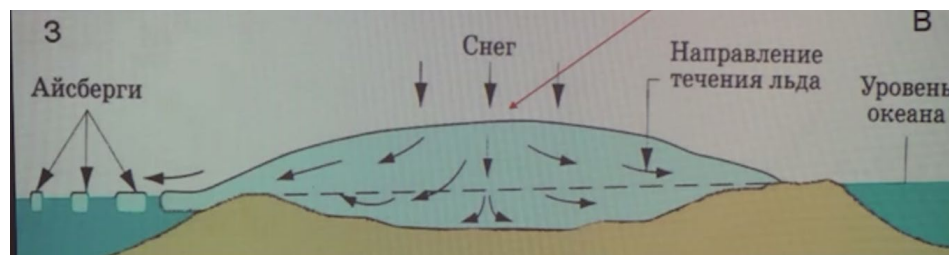


Рис. 12.3. Движение льда

Характерные особенности покровных (материковых) ледников:

- большая мощность льда
- отсутствие влияния доледникового рельефа на распространение
- отсутствие четкого разделения области питания и зоны переноса льда (стока) в область таяния
- радиальный характер движения льда к окраинам ледникового покрова (растекание)
- плосковыпуклая форма поверхности ледника, образующая подобие щита или купола (рис. 12.3)

Покровные ледники делятся на «морские» ледники и ледниковые щиты.

### «Морские» ледники

Ледниковые покровы, которые имеют частью каменное, частью водное ложе. «Морские» ледники образуются из наземного ледникового покрова, ложе которого оказывается погруженным ниже уровня моря. Краевые части покрова всплывают, а внутренние части остаются лежать на каменном субстрате

Пример «морского» ледника - современный ледовый комплекс Западной Антарктиды.

**Шельфовый ледник** - плавающий или частично опирающийся на дно ледник, имеющий форму плиты с почти горизонтальными верхней и нижней поверхностями, значительной толщиной (в сотни метров) и большой горизонтальной протяжённостью.

Представляют собой продолжение наземных ледниковых покровов. Примеры: шельфовый ледник Уорд-Хант у сев. края о. Элсмира в Канадском Арктическом архипелаге.

Шельфовые ледники Антарктиды: Ронне, Фильхнера, Росса, Беллинсгаузена, Ларсена, Эймери и т.д. В Антарктиде 83% площади шельфовых ледников находится в западной части Круппнейшие из них - Росса и Ронне-Фильхнера.

*Ледник Росса* занимает половину моря Росса. Ледяная плита приблизительно треугольной формы. Ледник находится на плаву и поднимается и опускается под действием приливов и отливов.

Толщина ледника составляет от 183 м у переднего края до 1300 м в обращённой 830 км к суше части. Площадь ледника составляет приблизительно 473 000 км<sup>2</sup> – это больше площади Испании и почти равно площади Франции. Ледник обрывается уступом.

От обрывов шельфовых ледников обычно откалываются *айсберги* столообразной (плитообразной) формы.

Самый большой (на 2018 г.) столообразный айсберг (S-6 тыс. км<sup>2</sup>) был замечен в морских льдах возле шельфового ледника Ларсена у побережья Антарктического полуострова.

16 октября 2018 года НАСА опубликовала снимок идеального столообразного айсберга безукоризненно прямоугольной формы.

В 2019 г. самый крупный за последние 50 лет айсберг D28 на востоке Антарктиды откололся от шельфового ледника Эймери Его вес - 315 миллиардов тонн, толщина - 210 метров, S - 1,6 тысяч км<sup>2</sup>. Санкт-Петербург занимает 1439 км<sup>2</sup> суши.

**Островные ледяные шапки** широко развиты в Антарктиде. Они не связаны с антарктическим ледниковым покровом, встречаются на плоских вершинах горных массивов прилегающих островов.

Остров Дригальского расположен в средней части моря Дейвиса в Антарктике S=204 км<sup>2</sup>. Вся поверхность острова покрыта льдом и представляет собой монолитный купол высотой 327 метров. Снеговая линия представляет собой ледяные обрывы высотой до 50 м.

### **Ледниковые щиты**



Выпуклый *куполовидный ледник*, характеризующийся значительной (> 1000 м) толщиной льда, большой (> 50 тыс. км<sup>2</sup>) площадью, примерно изометрической плановой формой и радиальным растеканием льда. Пример, Гренландский ледниковый щит, ледниковый щит Восточной Антарктиды.

### **Гренландский ледяной щит**

Покрывает - 83% острова, или ~ 1,7 млн км<sup>2</sup>. Максимальная толщина льда - 3207 м. Средняя - 1,5 км. Объём льда ~ 2,85 млн км<sup>3</sup>.

Щит находится в центре острова, от моря отделён полосой земли, но в некоторых местах его граница расположена практически на побережье.

Поверхность ледяного щита покрыта слоем снега, перевиваемого ветром, из под которого местами выступают отдельные скалы – *нунатаки*.

*Нунатак* - одинокая изолированная скала или скалистые вершины, выступающие над поверхностью ледника.

Ниже уровня 1800 - 2000 м щит слабо расчленен водными потоками, возникающими летом при таянии снега и льда. У краев (на высоте 1000 1500 м) щит разбит трещинами глубиной до 30-40 м.

Накопление льда на ледниковом покрове приводит к течению льда от центра щита к западным и восточным краям со средней скоростью около 150 м в год. На северном склоне щита лёд малоподвижен.

У краёв скорость возрастает. На отдельных участках в движение приходит вся толща льда и образуются выводные ледники, которые по долинам достигают океана.

*Выводной ледник* - быстро движущийся поток льда, через который происходит основной расход льда с данного водосборного бассейна наземного ледникового щита.

Лежат в долинах, в краевых частях обычно ограниченной скальными выходами. Ледники достигают многокилометровой ширины. Выводные ледники двигаются со скоростью 20- 40 м в сутки и дают начало айсбергам.

*Айсберги* (до 100--135 м высоты над уровнем океана) выносятся в северную часть Атлантики и представляют большую опасность для судоходства.

*Ледовый патруль* - служба наблюдений за айсбергами в Северной Атлантике. Организована в 1913 г. после гибели «Титаника». Осуществляется береговой охраной ВМС США. Информация о ледовой обстановке регулярно передается по радио для всеобщего использования.

Изменение площади ледяного покрова Гренландии с 1992 по 2005 годы: считается, что при повышении температуры в регионе всего на 3°C ледниковый щит

может растаять полностью за период более 1000 лет. Возможно, уровень Мирового океана поднимется на 7 метров.

### 12.5. Антарктида

**Ледяной щит Антарктиды** - наибольший из всех современных ледников покровного типа. Занимает площадь - 13,8 млн км<sup>2</sup>, или 9% территории суши Земли.

Превосходит ближайший по размеру гренландский ледниковый покров по площади приблизительно в 10 раз. В нём сосредоточено - 27 млн км<sup>2</sup> льда, то есть 90 % всех льдов суши.

Ледниковый щит имеет форму купола с увеличением крутизны поверхности к побережью, где он во многих местах обрамлён шельфовыми ледниками (рис. 12.4).

Средняя толщина слоя льда - 2500-2800 м, достигающая максимального значения в некоторых районах Восточной Антарктиды - 4800 м. Общий объём ледникового покрова составляет 26,5 миллиона км<sup>3</sup>.

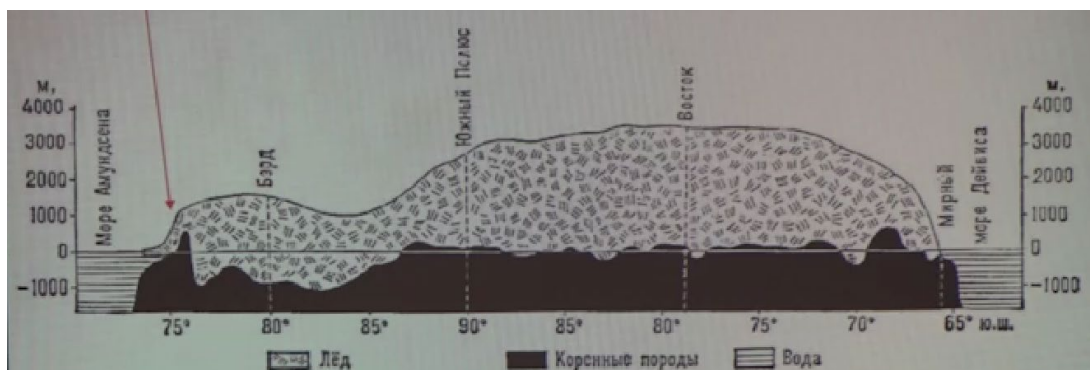


Рис. 12.4. Разрез через Антарктиду

Ледниковый покров в Антарктиде содержит приблизительно 80 % всех пресных вод планеты; если он полностью растает, уровень Мирового океана повысится почти на 60-70 метров. Уровень Мирового океана на 66 метров выше современного.

Трансантарктические горы делят ледниковый покров Антарктиды на Западный «морской» ледник и Восточный ледниковый щит.

*Западная Антарктида* - «морские» ледники - ледниковые покровы, которые имеют частью каменное, частью водное ложе.

*Восточная Антарктида* - ледниковые щиты - выпуклый куполовидный ледник, характеризующийся значительной (> 1000 м) толщиной льда, большой (> 50 тыс. км<sup>2</sup>) площадью, примерно изометрической плановой формой и радиальным растеканием льда.

*Ледниковый щит Восточной Антарктиды* не только самый большой по площади, но и самый толстый. Его средняя толщина составляет, по данным разных исследователей, от 2120 м до 2630 м.

Ледниковый щит Восточной Антарктиды состоит из нескольких плоских «куполов» второго порядка, слившихся между собой. Максимальная толщина льда (4774 м) была измерен в северо-восточной части ее индийского сектора (69°54' ю. ш., 135°12' в. д.).

Из-за малых уклонов поверхности в пределах ледникового щита купола различаются с трудом. Визуально внутренняя часть ледникового щита на протяжении многих сотен километров представляется идеальной равниной.

Большая часть площади ледникового щита лежит выше 2000 м над уровнем моря. Самая высокая часть (близ Полюса относительной недоступности) превышает 4000 м. Средняя высота ледникового щита Восточной Антарктиды 2380 м.

В краевой зоне щита на его поверхности начинают сказываться неровности подледного рельефа, гребни отдельных горных вершин и хребтов выступают в виде нунатаков.

Сток льда из внутренних районов щита дифференцируется. Появляются выводные ледниковые потоки, разделенные ледяными бортами своих долин. Антарктические выводные ледники отличаются большими размерами.

Крупнейший в мире выводной ледник - Ледник Ламберта, расположен в Восточной Антарктиде. Ледник начинается в северной части Долины МГГ и вливается в шельфовый ледник Эймери.

Длина ледника 470 км, ширина – от 30 до 120 км. Раньше ледник передвигался со скоростью 230 м/год, сейчас его скорость составляет 1000 м/год.

### **Самые засушливые территории на Земле**

*Сухие долины* - территория трех бесснежных долин-антарктических оазисов (Виктории, Райта, Тейлора). Ветры, достигающие скорости 320 км/ч, вызывают испарение влаги. Открыл сухие долины английский исследователь Антарктиды Роберт Скотт в 1903 году.

Ледниковый покров Антарктиды образовался 30-35 миллионов лет назад. Ранее Антарктида была соединена перешейком с Южной Америкой. Разрушение перемычки, соединяющей Южную Америку и Антарктический полуостров, привело к формированию холодного антарктического циркумполярного течения (течения Западных Ветров) и изоляции приантарктических вод от остальной части Мирового океана (рис. 12.5).

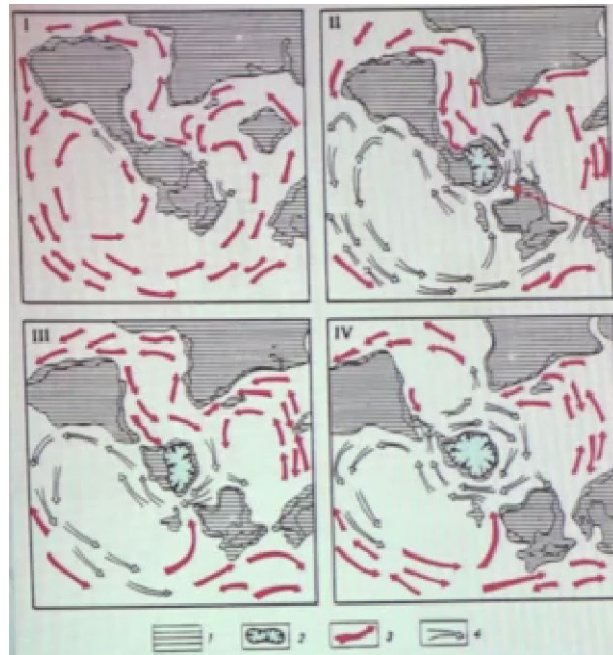


Рис. 12.5. Течение в океанах Южного полушария

На ри. 12.5: I - в палеоцене (~ 60 млн лет назад), II - в начале олигоцена (~ 35 млн лет назад), разрушение перемычки, III - в начале миоцена (- 20 млн лет назад), IV - современные течения; 1 - суша, 2 - ледниковый покров, 3 – теплые течения, 4 - холодные течения.

### 12.6. Горные ледники

*Горный ледник* - ледник, залегающий в горном рельефе, сохраняющий его основные формы и движущийся главным образом за счет уклонов ложа.

Горные ледники - ледники стока. Горные ледники подразделяются на три большие группы:

1. Ледники вершин (ледники конических и плоских вершин)
2. Ледники склонов (присклоновые, висячие, склоновые, каровые и карово-долинные ледники)
3. Ледники долин (долинные, сложные долинные, дендритовые, предгорные и котловинные ледники)

Среди горных ледников отдельно выделяются перемётные ледники - один или несколько ледников, расположенных на противоположных склонах и имеющих общую область питания на седловине хребта.

#### Ледники вершин

Лежат на вершинных поверхностях отдельных гор, хребтов, горных узлов. Различают ледники *конических и плоских вершин*.

*Ледник конической вершины* - ледник, покрывающий со всех сторон склоны конической вершины. Пример: Кавказ (Эльбрус), Камчатка, Береговые хр. Северной Америки, Анды.

*Ледник плоской вершины* - ледник в форме слабо выпуклого купола, занимающий плоские слабонаклонные поверхности отдельных вершин. Пример: Восточный Памир, Тянь-Шань, горы Центральной Азии, Ледник Петрова. Тянь-Шань.

### **Ледники склонов**

Занимают впадины и отдельные участки на склонах горных хребтов; сюда относятся присклоновые, висячие, склоновые, каровые и карово-долинные ледники.

*Присклоновый ледник* – ледник, вытянутый в ширину на узкой поверхности под крутым уступом.

*Висячий ледник* - ледник, занимающий слабо выраженные впадины в верхней части горных склонов.

*Каровый ледник* - ледник, расположенный в чашеобразном углублении горного склона

*Кар (ледниковый цирк)* - полузамкнутое чашеобразное углубление в привершинной части горного склона.

*Карово-долинный ледник* – каровый ледник, спускающийся в нижележащую долину.

### **Ледники долин**

Располагаются в верхних и средних частях горных долин. Это долинные, сложные долинные и дендритовые, предгорные и котловинные ледники.

*Долинный ледник* - горный ледник, язык (область стока) которого расположен в ледниковой долине, а фирновый бассейн (область питания) - в чашеобразном расширении её верховья.

Долинные ледники обычно имеют лентообразную форму. Среди долинных ледников выделяют *простые и сложные*.

*Простой ледник* состоит из области питания и одного ледникового языка. *Сложные ледники* образуются из 2-х или более ледниковых потоков с самостоятельными областями питания.

*Большой Алечский ледник (Швейцария)* относится к типу простых долинных ледников (альпийский тип ледников). Самый большой ледник в Альпах, покрывает площадь 86,63 км<sup>2</sup>. Общая протяжённость ледника составляет ~ 24 километров. В декабре 2001 года ледник был включён ЮНЕСКО в список Всемирного наследия (рис. 12.6).



Рис. 12.6. Большой Алечский ледник

*Ледник Федченко (Памир)* относится к типу сложных долинных ледников. Крупнейший в мире долинный ледник, его длина составляет 77 км, ширина - от 1700 до 3100 м. Мощность льда достигает 1000 м. Скорость движения льда - до 66,8 см/сут, общая площадь оледенения и снежников - 992 км<sup>2</sup>. Открыт в 1871 г. русской экспедицией, руководимой Алексеем Павловичем Федченко.

Сложно ветвящиеся ледники с большим количеством крупных ледников-притоков в плане напоминают дерево и поэтому называются *дендритовыми (древовидными)*.

*Зеравшанский ледник* - долинный древовидный ледник в Таджикистане, самый крупный в Гиссаро-Алае. Ледник состоит из основного потока и 20 крупных ледников-притоков.

Длина ледника составляет 27,8 км, площадь - 132,6 км<sup>2</sup>. Впервые ледник был пройден в августе 1880 года экспедицией Ивана Васильевича Мушкетова.

**Особый вид долинных ледников** - ледники памирского (или туркестанского) типа. Отличаются отсутствием фирнового бассейна. Образуются в глубоких узких долинах с крутыми бортами, где условия для образования фирновых полей отсутствуют.

Питание осуществляется за счёт схода лавин и обвалов льда с висячих ледников на склонах. На ледник попадает большое количество каменного материала со склонов.

Среди сложных ледников выделяются:

- *Переметные* - одна область питания, а ледниковые языки спускаются по разным склонам. Переметный ледник. Туркестанский хребет
- *Звездообразные* — это ледники Эльбруса, Казбека, Килиманджаро

### 12.7. Ледники горно-покровные(смешанные)

*Смешанными (промежуточными)* ледники называются так из-за смешения признаков покровных и горных ледников.

Как покровные, они образуют сплошные массы льда, покрывающие огромные пространства. Как горные - ледники используют для своего стока долины рек и ущелья.

Среди них выделяются 2 типа:

- 1) ледники плато
- 2) предгорные ледники

**Ледники плато** образуются на горах с плоской (столообразной) или плоско вогнутой вершиной, покрывая их сплошным чехлом на сотни квадратных километров.

Сток льда осуществляется в долины. Имеют единую область питания и разделенные каналы стока. Такие ледники отмечаются в Норвегии и на хребтах Алтая (рис. 12.7).

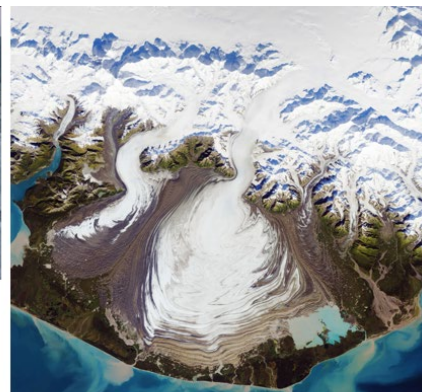
**Предгорные ледники** располагаются у подножия гор. Образуются в результате слияния многочисленных горных ледников, выходящих на предгорную равнину. Создают ледниковые шлейфы, растекающиеся на большие пространства. Достигают огромных размеров (рис. 12.7).

В предгорных ледниках сочетаются признаки горных ледников в высоких горах и покровных в предгорьях.

Самый крупный предгорный ледник - ледник Маласпина (Alessandro Malaspina) на Тихоокеанском побережье Аляски, площадь ~ 3900 км<sup>2</sup> Юстедаль площадью около 487 км<sup>2</sup>, толщина льда достигает 600 м. Около 50 каналов стока.



Ледник плато



Предгорный ледник

Рис. 12.7. Смешанные ледники

## **12.8. Режим ледников**

*Режим ледника* - совокупность всех процессов, происходящих на поверхности и в толще ледника.

Режим ледника определяется соотношением и изменением условий:

- питания ледника (количеством выпадающих осадков в фирновом бассейне);
- уменьшения массы ледника в результате таяния и испарения, или *абляции* (лат. *ablatio* - отнимание, снос)
- движения ледника, или с током;

*Абляция* - уменьшение массы ледника за счет таяния, испарения, сдувания снега ветром, обвалов льда и откалывания айсбергов.

Соотношение прихода и расхода массы снега и льда на леднике за определенное время называется *балансом массы*.

Баланс массы ледника — это накопление (аккумуляция) осадков минус таяние и испарение (абляция).

Баланс может быть:

- положительным, количество выпадающих осадков (накопление, аккумуляция) превышает абляцию
- отрицательным - абляция (таяние и испарение) превышает аккумуляцию

Баланс массы ледника может быть зимним, летним, годовым. У преобладающей части ледников достаточно четко выделяются области аккумуляции (с положительным балансом) и области абляции (с отрицательным балансом).

### **Строение горных ледников**

Лентообразная форма, четкая выраженность областей (рис. 12.8):

1 - верхняя часть ледника - область питания (фирнового бассейна) или аккумуляции (накопления) с положительным балансом массы ледника

2 - средняя часть - область движения (стока)

3 - нижняя часть ледника - область абляции (таяния и испарения) с отрицательным балансом массы ледника





Рис. 12.8. Строение горных ледников

### Строение покровных ледников

*Область питания (аккумуляции)* - центральная часть ледника, где за год происходит увеличение массы льда за счет выпадения и метелевого переноса снега.

*Область абляции* - краевая часть ледника, где за год происходит уменьшение массы ледника, восполняемой благодаря перемещению льда области аккумуляции ледника.

### Движение ледников

Перемещение льда в ледниках происходит в виде вязкопластического течения по ложу или внутренним слоям под действием силы тяжести. Движение обусловлено комбинацией двух основных механизмов:

- Вязкопластических деформаций, вызываемых давлением массы льда. Деформации зависят от температуры
- Скольжение по ложу ледника, его бортам и внутренним ослабленным поверхностям

Скольжение сильно зависит от:

- Уклона ложа
- Количества воды в леднике (т.е. тоже от температуры)

Скольжение возрастает летом за счет обильной талой воды. Этим же обусловлены суточные изменения скорости движения ледников.

Скорость течения льда (ледник Ирик, Эльбрус) изменяется от 10 см/сут в краевой части и до более 50 см/сут в центральной части ледника.

Средние скорости долинных ледников различны: ледники Альп движутся со скоростью 0,2 - 0,4 м/сут, Тянь-Шаня - 0,4 - 0,5 м/сут, Памира - 0,6 - 0,8 м/сут, Гималаев - 2,0 - 3,5 м/сут.

Скорости движения ледников меняется и в вертикальном направлении. Она уменьшается от поверхности к его дну.

За счет расслоенности льда отдельные слои скользят друг по другу с разной скоростью. Скорость движения одного и того же ледника не остается постоянной, а изменяется в разное время суток.

Так как движение ледника неравномерно в поперечном сечении, он растрескивается перпендикулярно линиям наибольшего натяжения (A1 B1 и C1 D1, рис. 12.9), образуются трещины, загибающиеся к его краям. Таким образом создается система разнонаправленных трещин в теле ледника.

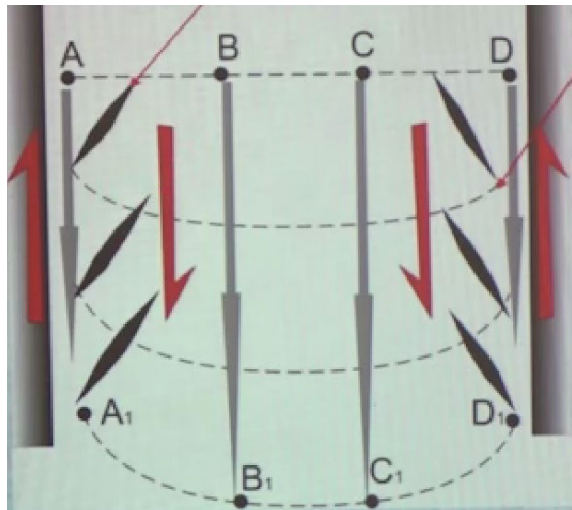


Рис. 12.9. Образование трещин в леднике

### **Движение покровных ледников**

Область питания располагается в центре, здесь происходит увеличение мощности ледяного покрова. В результате нижние слои льда приобретают пластичность и движутся по радиусам к периферии.

Движение льда определяется преимущественно силой растекания и происходит от центральной части к периферии.

Максимальная скорость течения даже в краевых частях покрова едва превышает 1 - 1,5 м/год.

### 12.9. Геологическая деятельность ледников

В ходе движения ледники выполняют огромную эрозионную, транспортирующую и аккумуляционную работу. В результате коренным образом изменяется рельеф территорий, испытавших оледенение.

#### Ледниковая эрозия (экзарация, ледниковое выпахивание)

Комплекс процессов на контакте ледника и ложа, который ведет к разрушению и сносу горных пород ложа, снижению, углублению и расчленению его поверхности.

Ледниковая эрозия прежде всего связана с двумя механизмами:

- Отщеплением, или выламыванием, обломков (плакинг)
- Истиранием пород ложа (абразия)

*Плакинг* состоит в том, что скользящий по ложу лед в отдельные моменты примерзает к нему, вырывает и увлекает за собой куски породы.

*Абразия* сводится к стачиванию ложа с помощью обломков прочных пород, включенных в подошву ледника.

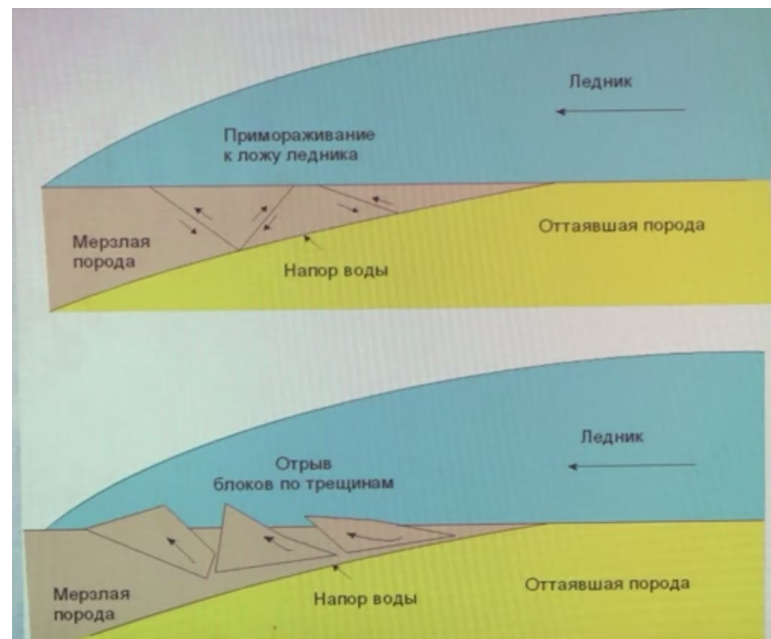


Рис. 12.10. Механизм вырывания ледником блоков породы

Ледниковой эрозии активно содействует морозное выветривание - разрушение горных пород в результате периодического замораживания-оттаивания воды в трещинах.

На рис 12.10 представлен механизм вырывания ледником блоков породы - будущих валунов – из скального основания.

Впаянные в основание ледника обломки горных пород благодаря огромному давлению льда оставляют на подстилающих горных породах *борозды и царапины* - ледниковые шрамы, которые своей ориентировкой фиксируют направление движения.

Скальные выступы пород сглаживаются и полируются абразивным действием льда, возникают так называемые *бараньи лбы*, обладающие асимметричной формой (рис. 12.11).

Пологий, отполированный и со шрамами «лоб» направлен навстречу движению ледника, а крутой обрывистый склон находится с противоположной стороны.

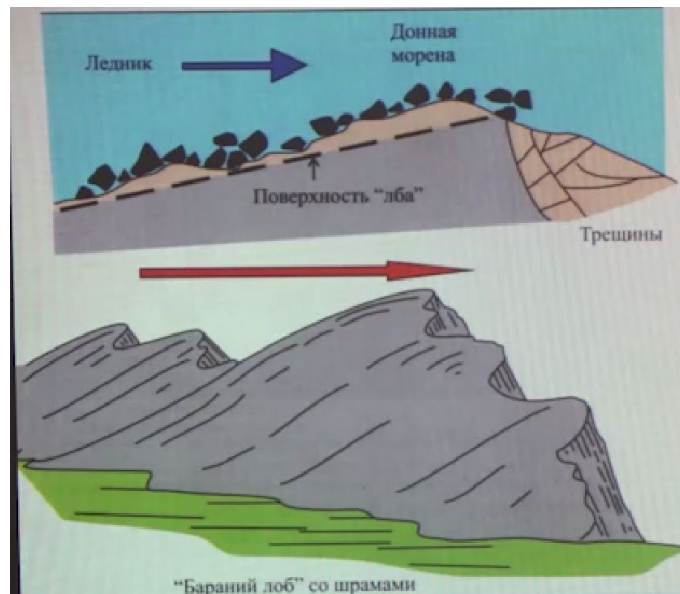


Рис. 12.11. Образование бараньего лба

Бараньи лбы — это продолговатые асимметричные холмы, сложенные прочными, чаще всего магматическими, породами.

Скопления бараньих лбов значительных размеров образуют формы рельефа, называемые курчавыми скалами. Многие острова Онежского озера представляют собой курчавые скалы.

С экзарацией на равнинах связаны крупные понижения, представляющие собой линейные ложбины и котловины ледникового выпахивания и размыва.

Помимо интенсивной экзарации в развитии таких глубоких котловин участвует и размыв ледниковыми водами.

В горных районах с деятельностью льда и снега связано образование ряда характерных форм, к числу которых относятся *кары или ледниковые цирки, ледниковые долины (троги)*.

*Кары (ледниковые цирки)* - полузамкнутые чашеобразные углубления в верхних частях склонов ледниковых высокогорий.

От нижележащих долин кары отделены *ригелями* – скальными ступенями, имеющими профиль бараньих лбов.

**Ледниковые долины (троги)** - возникают в результате ледниковой переработки V- образных долин горных рек - их расширения, спрямления и неравномерного углубления.

Для них характерен корытообразный поперечный профиль с широким дном и крутыми вогнутыми бортами (рис. 12.12).

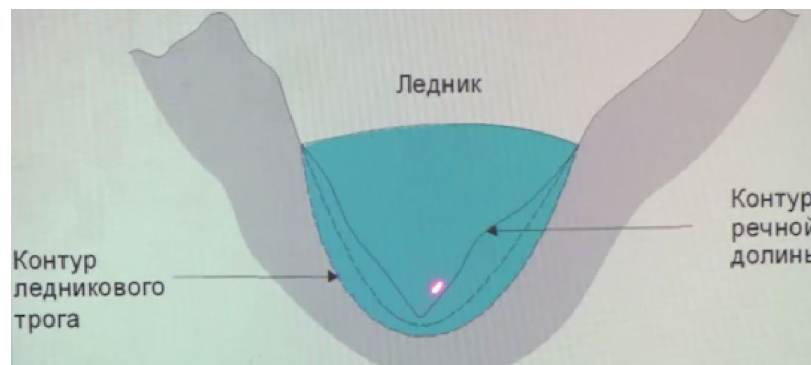


Рис. 12.12. Строение трога

Троговым долинам свойственны неровность дна, наличие многочисленных поперечных скалистых уступов (ригелей), чередующихся с углублениями - *ваннами выпахивания*.

Образованию ванн выпахивания способствует различная сопротивляемость пород, их трещиноватость, изменение мощности льда и т.д.

### **Ледниковая транспортировка и аккумуляция**

- Область питания (фирновый бассейн)
- Область движения (стока, транспортировки обломочного материала)
- Область абляции (таяния и испарения льда, разгрузки перенесенного обломочного материала)

Ледники переносят большое количество разнообразного обломочного материала (от мелких частиц до крупных валунов). Материал состоит преимущественно из продуктов выветривания, возникающих при механическом разрушении (экзарации) горных пород движущимися ледниками.

Весь обломочный материал, попадающий в тело ледника, переносимый и откладываемый им, называется *мореной*.

Одни морены находятся в движении и перемещаются вместе с ледником, другие уже отложились. В соответствии с этим принято разделять ледниковые морены на *движущиеся и отложенные*.

Движущиеся морены разделяют на поверхностные, внутренние и нижние, или данные. В свою очередь, поверхностные морены разделяются на боковые, срединные и покрывающие всю поверхность (рис. 12.13). Срединная морена образуется из двух боковых морен при слиянии ледников.

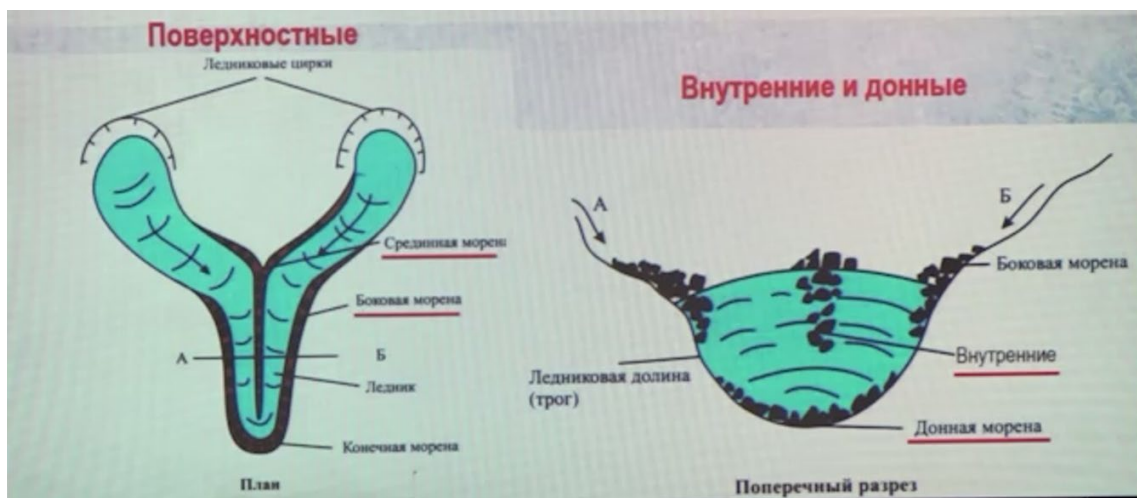


Рис. 12.13. Виды морен

Поверхностные морены, покрывающие всю поверхность ледника (**абляционные**)

При вытаивании льда может образоваться сплошной слой морен, покрывающий поверхность ледника как в результате разваливания гряд срединных морен, так и вытаивания внутренних.



Рис. 12.14. Морены

**Внутренняя морена** образуется в результате постепенного перекрытия обломков новыми порциями снега или выдавливания вверх внутрь ледника обломков из донной морены (рис. 12.14).

**Нижняя, или донная, морена** залегает в придонных слоях как горных, так и покровных ледников. Образуется в результате захвата льдом обломков с ложа в процессе эрозии (рис. 12.14).

### **Отложенные морены**

Обломочный материал, переносимый ледником, начинает откладываться уже в процессе движения льда. Интенсивно ледниковая аккумуляция проявляется во время таяния и отступления ледника. В результате на поверхности подледникового ложа остаются морены всех перечисленных типов.

Характерными особенностями отложений ледниковых морен являются:

- неоднородность состава,
- отсутствие сортировки обломочного материала;
- отсутствие слоистости

Среди отложенных морен различают конечные (*краевые*) и *основные*. **Конечная (краевая) морена** отлагается у края ледника, формируется из всех видов движущихся морен - поверхностных, внутренних и донных.

Конечные морены образуются в результате сваливание с края ледника и сгребания обломочного материала, подобное работе бульдозера. Конечные морены образуют гряды, высота которых варьирует от нескольких метров до 100 м и более.

**Основная морена** образуется под ледниками в процессе постепенного отложения материала придонной морены. В основном это происходит в результате донного таяния.

Основная морена образует на значительных площадях почти сплошной покров с равнинно-моренным и холмисто-моренным рельефом.

*Друмлинные поля*, образованные группами друмлинов - низких холмов характерной обтекаемой формы (рис. 12.15).

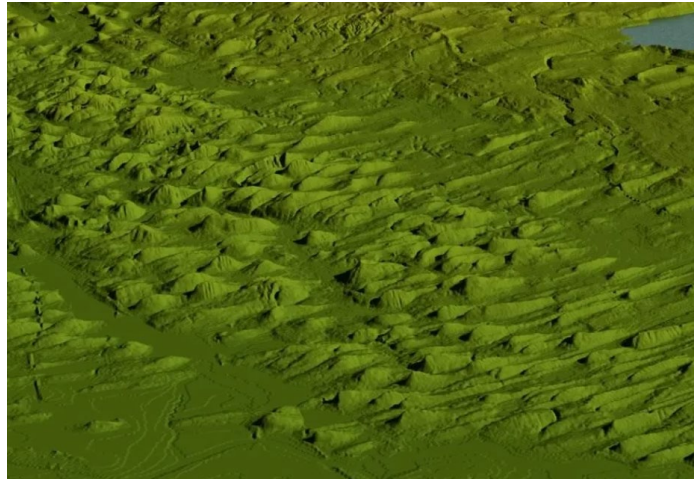


Рис. 12.15. Друмлинные поля

*Друмлины* сравнительно невысокие продолговатые холмы, длинная ось которых совпадает с направлением движения ледника. Обычно имеют следующие размеры: длина 1 - 2 км, ширина 400 - 600 м и высота 15 - 30 м. Друмлины различны по строению.

*Эрратические валуны* - общее название валунов, глыб, главным образом магматических или метаморфических горных пород, переносимых ледником.

#### **12.10. Водно-ледниковые потоки и их отложения**

В геологической деятельности ледников участвует не только лед, но и талая вода, образующаяся при абляции ледников.

Все потоки талой воды - *надледниковые, внутриледниковые и подледниковые* - при своем движении размывают морены, захватывают моренный материал (глинистые частицы, песок, мелкие обломки), переносят его и откладывают.

Все отложения, возникшие в результате аккумулятивной деятельности водно-ледниковых потоков, называются *флювиогляциальными* (лат. Fluvius - река, glacialis - ледяной).

Они образуют характерные формы рельефа (рис. 12.16). Среди них выделяются *зандры, озы и камы*. Перигляциальная область покровного ледника: 150 км, располагающаяся вокруг окраин ледниковых покровов.

*Зандровые равнины* (дат. sandur - песок) образуются в результате деятельности талых вод ледников. Это отложения водно-ледниковых потоков, образующие пологоволнистые равнины, расположенные непосредственно за внешним краем конечных морен и сложенные слоистыми песками, гравием и галькой.





Рис. 12.16. Формы рельефа, образованные водно-ледниковыми потоками

*Озы, или эскеры* — это узкие длинные гряды, или валы, вытянутые в направлении движения ледника.

Длина гряд изменяется от нескольких десятков и сотен метров до десятков и даже сотен километров, высота от 3 - 5 до 50 м и более.

На рис. 12.17 представлена схема образования эскеров. Талая вода ледника по трещинам проникает внутрь. Кроме того, вода тает в подножии ледника. Подледниковые потоки — это подледниковые реки, которые выносят обломочный материал. После таяния ледника русло подледниковой реки остается.

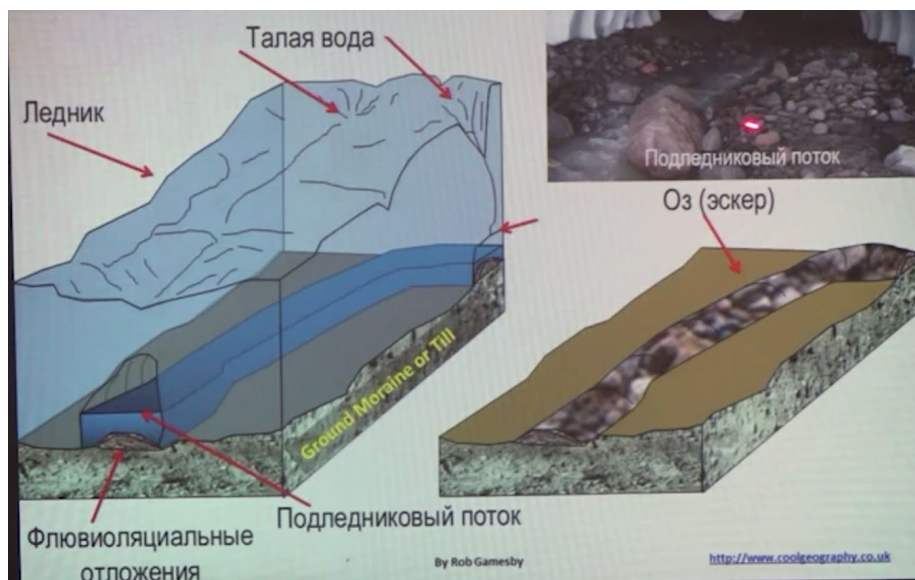


Рис. 12.17. Схема образования эскеров

---

*Камы* - холмы изометричной формы высотой 10-20 м, редко больше. Сложенные чередованием слоев песка, глин, редко с отдельными гальками и валунами.

Образовывались в озерных котловинах на поверхности ледника и после его таяния оказались, как и озы, спроектированными на поверхность коренных пород.

## Лекция 13. Вечная мерзлота

### 13.1. Зона вечной мерзлоты. Основные понятия

#### Основные понятия

(Учебник Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев «Общее мерзлотоведение», 1967, стр. 6).

«Мерзлыми породами, грунтами, почвами называются породы, грунты, почвы, имеющие отрицательную или нулевую температуру, в которых хотя бы часть воды перешла в кристаллическое состояние».

Существование мерзлых пород и воды в виде льда связано с наличием так называемой криосферы (А. Б. Добровольский, В. И. Вернадский, П. И. Колосков), или оболочки Земли, включающей части атмосферы, гидросферы и литосферы с отрицательными температурами.

По длительности существования мерзлого состояния среди многолетнемерзлых пород (ММП) выделяют три вида:

- 1) Кратковременномерзлые породы (часы, сутки),
- 2) Сезонномерзлые породы (месяцы),
- 3) Многолетнемерзлые породы (годы, сотни и тысячи лет) (Сумгин и др., 1940)

Образование ММП происходит в арктических районах с отрицательным среднегодовым балансом температур на поверхности в условиях холодного климата. ММП формируются в течении длительного времени, составляющего сотни и тысячи лет.

Промерзание может развиваться двумя путями:

- Промерзание толщ ранее отложенных осадков (морских, континентальных, скальных пород и пр.)
- Промерзание осадков одновременно с их накоплением. Происходит только в континентальных условиях

Залегание толщ ММП сложное. Верхняя поверхность ММП залегает на различных глубинах ниже дневной поверхности вследствие процессов сезонного или многолетнего протаивания.

Приповерхностный слой периодического промерзания и оттаивания носит название *деятельного слоя (сезонноталого)*.

Мощность деятельного слоя меняется от нескольких сантиметров до нескольких метров. При залегании двух и более слоев многолетнемерзлых пород друг над другом, разделенных тальми прослоями, употребляют термины *слоистые или многослойные мерзлые толщи*.

### 13.2. Географическое распространение ранение и мощность ММП

Многолетнемерзлые породы (ММП) - горные породы, геологические осадки и отложения, техногенные и антропогенные грунты, пребывающие в мерзлом состоянии не менее 3-х лет.

Распространение в Северном полушарии: Евразия, Северная Америка, о. Гренландия, острова Северного Ледовитого океана.

Распространение в Южном полушарии: Антарктида

Мощность ММП достигает 1000м, кровля толщ ММП может выходить на дневную поверхность или залегать на глубине менее 1м до 100м и более. Более 60 % территории России находится в зоне ММП (рис. 13.1).



Рис. 13.1. Распространение многолетнемерзлых пород на территории России

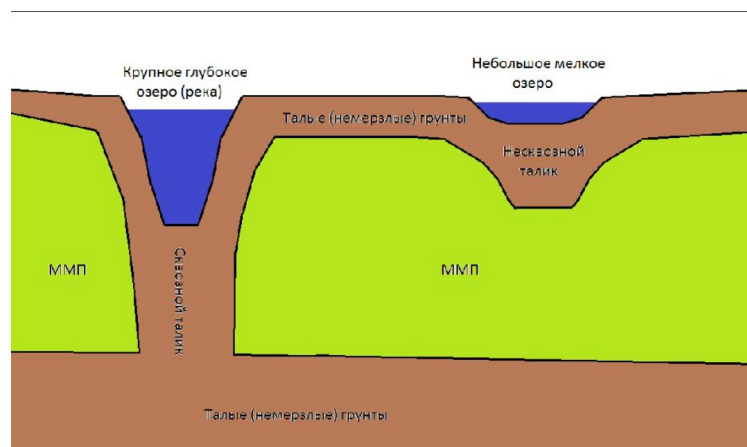


Рис. 13.2. Талик

*Талик* - участок развития талых грунтов в мерзлом массиве, распространяющийся вглубь от поверхности промерзания (рис. 13.2).

Талики образуются под озерами, реками, под ежегодно навешиваемыми в одном и том же месте сугробами. Талики делятся на: *сквозные и несквозные*.

### 13.3. Подземные льды

Лед является составной частью мерзлой горной породы. Количество льда в породе во многом определяет её свойства и выражается через *льдистость*.

*Льдистость породы* - отношение общего содержания подземного льда в мёрзлой породе к общему объёму породы (в % или долях единицы). По льдистости мёрзлые породы подразделяются на:

- слабольдистые (< 25%),
- льдистые (от 25 до 50%)
- сильнольдистые (> 50%)

Льдистость зависит от состава, происхождения, режима и способов промерзания пород, степени их водонасыщения перед промерзанием и т.д. Мёрзлым породам свойственно неравномерное льдонасыщение.

В ММП выделяется несколько генетических типов подземных льдов:

- конституционные,
- инъекционные,
- погребенные,
- пещерные,
- жильные,
- повторно-жильные

**Конституционные льды** представляют основную массу подземных льдов и развиты как в области многолетнемерзлых пород, так и в породах сезонноталого слоя.

Они подразделяются на:

- лед-цемент
- сегрегационный лед

*Лед-цемент* образуется при промерзании увлажненной горной породы. Располагается между зёрнами её минерального скелета.

*Сегрегационный* (лат «сегрегаре» - отделять), или *миграционный*, лед, представленный в виде шпиров (рис. 13.3) (прослой льда от нескольких миллиметров до

0,5 м), небольших гнезд, линзообразных прослоев и т.д. Такой лед образуется при замерзании воды, мигрирующей к фронту промерзания.

**Инъекционные льды** образуются в результате внедрения в мерзлую породу воды из таликов или напорных подмерзлотных подземных вод. Мощность залежей такого льда достигает местами десятков метров, а длина до 100 м и более (рис. 13.3).

**Погребенные льды** возникают на поверхности и засыпаются впоследствии осадками. Наиболее крупные сплошные массивы подземного льда (ледниковый лед) распространены в приледниковых областях современного оледенения, где они погребены под моренными отложениями.

**Пещерные льды** образуются в различных подземных полостях и пещерах и имеют различные форму и строение.

#### **Жильные и повторно-жильные льды**

Жильные льды образуются при промерзании трещиноватых горных пород. Для формирования жильных льдов необходимы следующие три условия:

- наличие трещин, нарушающих монолитность горных пород;
- наличие воды, заполняющей трещины;
- наличие отрицательной температуры, вызывающей замерзание воды

Повторно жильные льды возникают в верхней части ММП пород при многократном повторении процесса льдообразования в трещинах, захватывающих как деятельный слой, так и мерзлые породы.



Шлир



Инъекционный лед



Пещерный лед



Жильный лед

Рис. 13.3. Генетические типы подземных льдов

### **13.4. Подземные воды зоны многолетней мерзлоты**

Подземные воды криолитозоны по отношению к ММП можно разделяются на несколько типов:

- надмерзлотные,
- межмерзлотные,
- воды сквозных таликовых
- подмерзлотные

**Надмерзлотные воды** залегают над ММП, которые служат для них водоупором. По условиям залегания и режиму надмерзлотные воды подразделяют на несколько видов:

- 1) Сезоннопромерзающие воды распространены повсеместно и приурочены к деятельному слою
- 2) Сезоннополупромерзающие воды встречаются на участках покрытия водоносного талика деятельным слоем, сложенным хорошо проницаемыми породами
- 3) Сезоннонепромерзающие воды связаны с несквозными таликами

**Межмерзлотные воды** — это воды, находящиеся в жидком и твердом (лед) состояниях в слоях, ограниченных сверху и снизу толщами ММП.

**Воды сквозных таликовых зон** - гравитационные воды, связывающие надмерзлотные воды с межмерзлотными, надмерзлотные с подмерзлотными и т.д.

**Подмерзлотные воды** — это воды, залегающие ниже подошвы ММП. В большинстве случаев подмерзлотные воды являются напорными. Они подразделяются на:

- контактирующие - залегающие непосредственно под зоной ММП;
- неконтактирующие - отделенные от подошвы ММП водоупорными породами (в этом случае они обладают напором);
- глубинные - отделенные от мерзлой толщи сотнями метров

### **13.5. Мерзлотно-геологические (криогенные) процессы и связанные с ними формы рельефа**

*Морозное (криогенное) выветривание* — это наиболее распространенный процесс в криолитозоне и зоне сезонного промерзания пород.

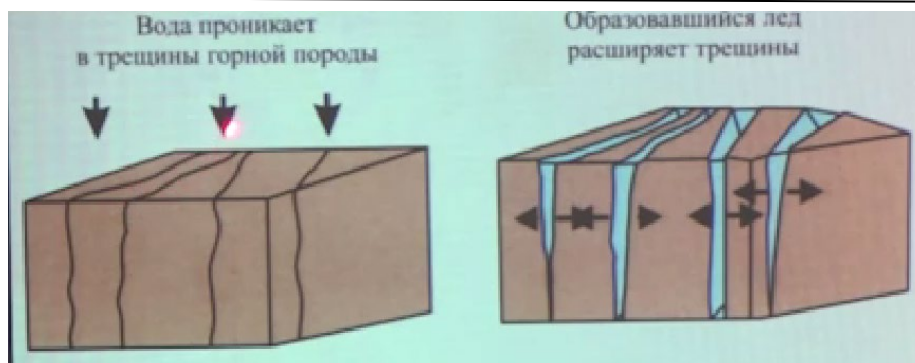


Рис. 13.4. Морозное выветривание

Его механизм связан с фазовыми превращениями воды в породе при многократном промерзания-протаивания (рис. 13.4). Вода, попав в трещины, при замерзании увеличивает свой объем на 10 %, раздвигая трещины и разрушая породу

В результате морозного выветривания отложения приобретают высокую пылеватость.

Морозное выветривание дисперсных (рыхлых, сыпучих обломочных и глинистых) отложений приводит к формированию горизонта «покровных суглинков» мощностью 3-4 м.

Процессы многократного промерзания и оттаивания ММП приводят к формированию специфических форм микро- и мезорельефа рельефа в криолитозоне.

Мерзлотные формы рельефа можно разбить по физическим процессам, которые участвовали в их образовании, на несколько групп:

- морозобойное растрескивание и связанные с ним формы рельефа, формирование полигональных структур;
- термокарст и связанные формы рельефа;
- процессы морозного пучения, образование наледей и связанные формы рельефа;
- склоновые процессы и связанные формы рельефа
- деградации мерзлых толщ (термоабразия, термоденудация, термоэрозия)

#### **Морозобойное растрескивание и формирование полигональных структур**

Широко распространено в криолитозоне, связано с возникновением напряжений в породе при охлаждении и сжатии разбивается системами перпендикулярных трещин на полигоны. Размеры полигонов - от первых десятков сантиметров до 20 - 30 м (рис. 13.5).



Глубина проникновения трещин в мерзлую породу зависит от среднегодовой температуры, а размеры полигональной решетки в плане зависят от амплитуды колебаний температуры.

Чем больше амплитуда колебаний температуры, тем меньше расстояние между трещинами и мельче полигоны.

В однородных по составу массивах горных пород образуются прямоугольные сети трещин, а в неоднородных сложной конфигурации с пятью и большим числом сторон.

Образование морозобойных трещин также приводит к возникновению *полигонально-жильных структур (ПЖС)* различных типов. Наиболее важные из них - *повторно-жильные льды (ПЖЛ)* (рис. 13.5).

ПЖЛ делят на эпигенетические (А), образующиеся после формирования мерзлых пород и сингенетические (Б), растущие одновременно с накоплением отложений.

На рис. 13.5 представлены стадии постепенного расширения ледяной жилы (сверху) и стадии роста жилы вверх по мере накопления отложений (снизу).

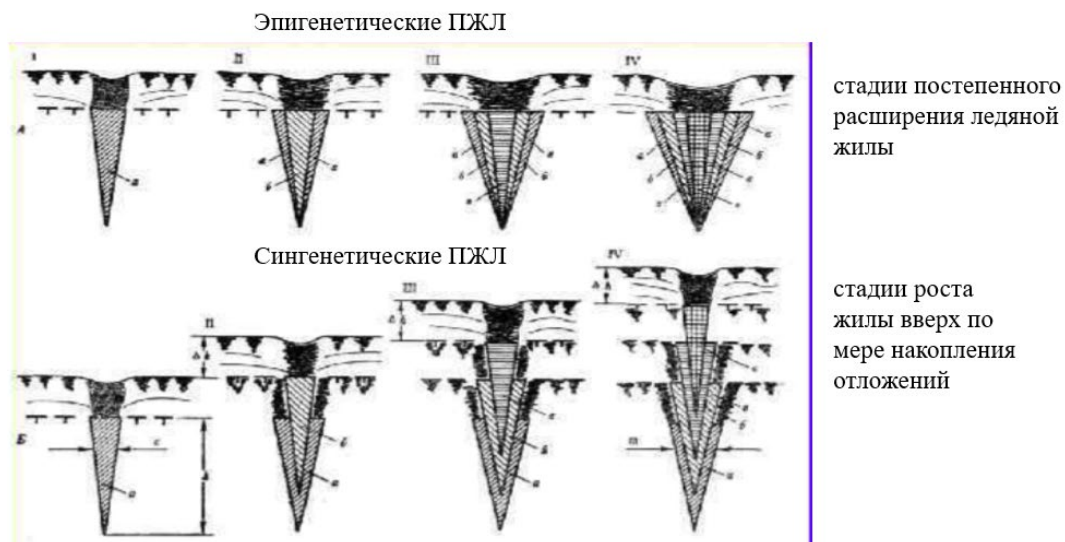


Рис. 13.5. Схема эпигенетического и сингенетического роста ПЖЛ

При вытаивании ледяных жил освободившееся пространство заполняется различным грунтом, т.е. вторичными образованиями, называемыми *псевдоморфозами по повторно-жильным льдам*.

Таяние крупных повторно-жильных ледяных клиньев приводит к возникновению котловин протаивания, между которыми возвышаются конусовидные бугры – *байджерахи* — это те породы, которые раньше располагались между ледяными клиньями. Высота байджерахов достигает 5-8 м (рис. 13.6).

Структурные формы грунта, связанные с морозной сортировкой - *пятна-медальоны, каменные полосы, каменные полигоны (каменные кольца, многоугольники)*.

*Выпучивание крупных обломков пород* происходит в результате образования под нижней поверхностью крупных обломков линз льда.

Плотные крупные обломки обладают большей теплопроводностью по отношению к вмещающим рыхлым грунта.

При промерзании они охлаждаются быстрее. Под ними возникают линзы льда. Эти линзы льда выжимают обломки вверх. При протаивании полость под крупным обломком заполняется пльвунном и не дает обломку опуститься вниз.

Наряду и одновременно с сортировкой материала по вертикали происходит сортировка и в горизонтальном направлении. В этом процессе основная роль приписывается так называемым *ледяным иглам, или ледяным стебелькам*.

После морозной ночи днем ледяные стебельки несколько изгибаются в сторону Солнца или тают с солнечной стороны, сохраняясь на теневой стороне. Лишившись с одной стороны подпорок, поднятый стебельковым льдом обломок опрокидывается и падает уже не на прежнее место, а несколько дальше от центра пятна или кольца.



Морозобойное растрескивание и формирование полигональных структур



Повторно-жильные льды (ПЖЛ)



Байджерахи

Рис. 13.6. Морозобойное растрескивание и формирование полигональных структур

## Термокарст и связанные формы рельефа

*Термокарст* - процесс вытаивания подземных льдов, сопровождающийся проседанием поверхности Земли.

В результате возникают различные отрицательные формы рельефа. Необходимые условия развития термокарста:

- наличие подземных льдов или высокая льдистость рыхлых пород;
- глубина сезонного или многолетнего протаивания должна превышать глубину залегания подземных льдов

Отрицательные термокарстовые формы рельефа разнообразны: *небольшие блюдца протаивания, западины, малые по площади и глубине воронки и котловины.*

При протаивании горных пород большой льдистости возникают крупные округлые пологосклонные и плоскодонные котловины - *аласы* - глубиной от 8-12 до 20-30 м (рис. 13.6).

При отсутствии стока воды в понижениях аласы преобразуются в *бессточные термокарстовые озера* (рис. 13.7).

Вода в озерах сама аккумулирует тепло и способствует дальнейшему протаиванию мерзлого грунта вплоть до образования подозерных несквозных таликов.

Часто процесс термокарстового вытаивания идет по системе морозобойных трещин.



Аласы



Термокарстовые озера

Рис. 13.7. Термокарст и связанные формы рельефа

## Процессы морозного пучения, образование наледей и связанные формы рельефа

При промерзании и последующем оттаивании грунт испытывает изменения объема. Процесс увеличения объема грунта при промерзании вследствие образования в нем льда называется *морозным пучением* (рис. 13.8).



Рис. 13.8. Морозное пучение

Процесс уменьшения объема промерзшего грунта при таянии за счет перехода льда в воду называется *усадкой протаивания*.

*Пучение* - процесс, происходящий в промерзающих грунтах, обусловленный увеличением объема замерзающей влаги и льдонакоплением вследствие миграции воды к фронту промерзания (рис. 13.9).



Рис. 13.9. Виды пучения

В результате промерзания и оттаивания горных пород происходит поднятие их поверхности (выпучивание), связанное с увеличением объема при льдообразовании. Возникают бугры пучения.

*Миграционные (сегрегационные) бугры пучения* образуются в условиях открытых систем при ведущей роли миграции влаги к фронту промерзания.

Наиболее часто возникают в поле развития торфяников. Торф содержит большое количество влаги, в связи с чем теплопроводность мерзлого торфа выше теплопроводности талого, и он сильнее охлаждается зимой, чем нагревается летом.

Находящаяся в суглинисто-супесчаных отложениях влага мигрирует к фронту промерзания и скапливается у выгнутой вверх мерзлой толщи. Скопившаяся влага зимой замерзает, образуя линзовидные прослои миграционного (сегрегационного) льда, что вызывает локальное вспучивание поверхности грунта под торфяным слоем.

Торфяные бугры пучения бывают одно- и многолетними. Многолетние миграционные бугры пучения достигают обычно высоты 2,0 м, реже 4 м и более.

### **Многолетние инъекционные бугры пучения, или булгуньяхи (пинго)**

Образуются в условиях промерзания закрытых систем. Наиболее часто при промерзании несквозных таликов под обмелевшими или осушенными термокарстовыми озерами и котловинами (*аласами*).

Стадии образования (рис. 13.10):

1. начальная - летнее протаивание
2. Промерзание воды и грунта на дне и образование закрытой системы
3. Нарастание давления в системе при промерзании и выжимание талого и мерзлого грунта вверх в слабом месте с образованием булгуньяха

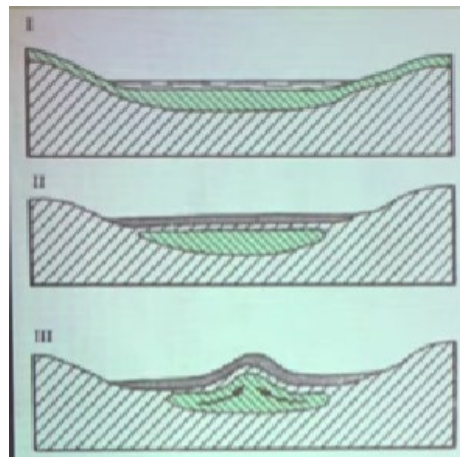


Рис. 13.10. Стадии образования булгуньяхов

В дальнейшем внутри булгуньяха вместо талика образуется ледяная линза. Булгуньяхи достигают диаметра до 200 м, а высоты 30-60 м.

*Гидролакколиты* (подземные наледы) формируются при вторжении напорных подземных вод в талый грунт. В дальнейшем во время промерзания возникает ледяное ядро мощностью до 10 м.

*Наледи* - ледяные тела, формирующиеся в результате многократного изливания подземных, речных или озерных вод на поверхность земли или льда и их послойного замерзания.

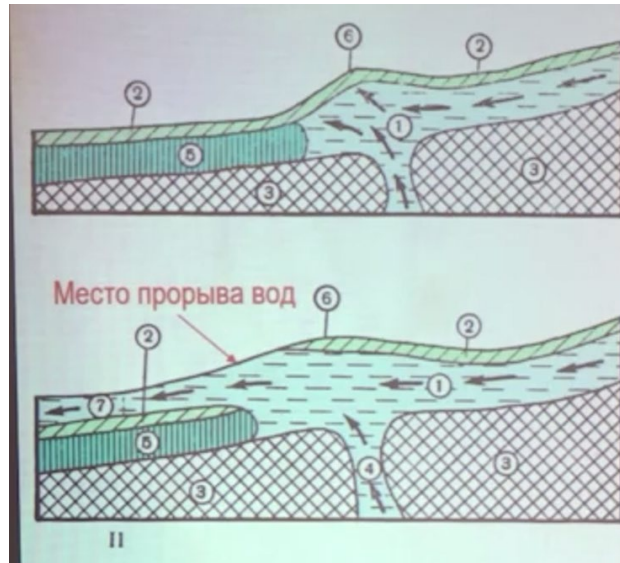


Рис. 13.11. Схема образования речных наледей

Схема образования речных наледей: I - начальная стадия образования наледи; II - вторая стадия образования наледи. Цифры в кружке: 1, 4 - вода; 2 - слой льда; 3 - многолетнемерзлая порода; 5 - вода, промерзшая до дна; 6 - наледный бугор; 7 - вода, образующая после замерзания наледь (из книги Б. Н. Достовалова и В. А. Кудрявцева).

Существуют *наледы речные*, возникающие в результате прорыва воды на поверхность намерзшего льда.

*Наземные наледы* подземных вод, возникающие в результате их прорыва и излияния на поверхность уже замерзшего слоя. Подземные наледы, образующиеся между многолетнемерзлой толщей и промерзшей частью сезонноталого слоя, не прорываются на поверхность, а приподнимают кровлю, образуя бугор пучения с ледяным ядром (*гидролакколиты*) (рис. 13.11).

### **Склоновые процессы и связанные формы рельефа**

В условиях сезонного оттаивания покровных образований гравитационные и водно-гравитационные процессы на склонах приводят к развитию *солифлюкций*, *курумов*, *оползней*.

*Солифлюкцией* (от лат. «солум» - почвы, «флюксус» - течение) называется медленное вязкопластичное течение увлажненных рыхлых отложений, происходящее летом над кровлей многолетнемерзлых пород.



Солифлюкционная терраса



Солифлюкционные оползни-оплывы  
(сплывы) - быстрая солифлюкция

Рис. 13.12. Склоновые процессы и связанные формы рельефа

Развитие солифлюкции определяется следующими факторами:

1. наличием супесчано-суглинистых пылеватых отложений, часто с включениями обломочного материала;
2. высокой влажностью отложений, приближающейся к пределу текучести или превышающей его;
3. наличием уклонов, обеспечивающих течение увлажненных пород обычно от 2 - 3 до 20 -25°)

Различают *медленную солифлюкцию* со скоростями, не превышающими нескольких см в год, развивающуюся на пологих склонах, и *быструю* со скоростями от нескольких см до десятков м в сутки, проявляющуюся локально на более крутых (не менее 10-15°) склонах (рис. 13.12).

*Курумы* (каменные моря, поля, реки или потоки) - скопления щебня и каменных остроугольных глыб диаметром.

От обвалов и осыпей отличаются наличием межглыбовых полостей, не заполненных мелкозёмом (обломочным материалом менее 1 мм). Курумы - результат физического выветривания, как температурного, так и морозного.

Новый материал поступает преимущественно снизу за счет обломков, которые поднимаются на поверхность благодаря криогенному пучению и вымораживанию.

Курумы очень разнообразны по форме. Бывают линейные и площадные: каменные моря, россыпи, поля, реки, поток и т.д.

Активные курумы постоянно находятся в движении на крутых (15-35°) и слабонаклонных (5-15°) склонах. Движение обломков происходит главным образом за счет промерзания - оттаивания одновременно в двух направлениях: вниз по уклону и перпендикулярно к поверхности склона.

Кроме промерзания-оттаивания в движение курумов вносит вклад солифлюкция. Мелкозём вымывается из верхнего слоя курума, скапливается под ним, насыщается водой, становится пластичным и способствует скольжению по нему грубообломочного материала.

В южных районах курумы перестают двигаться, т.к. на них уже не действует морозное пучение. Неподвижные, «спящие» курумы заполняются рыхлыми отложениями и покрываются растительностью.

### **Процессы деградации мерзлых толщ (термоабразия, термоденудация, термоэрозия)**

*Термоабразией* называется процесс разрушения мерзлых берегов морей, озер и водохранилищ под действием волн.

*Термоденудация* - разрушение мерзлых толщ под действием тепла воздуха, прямой солнечной радиации и дождей.

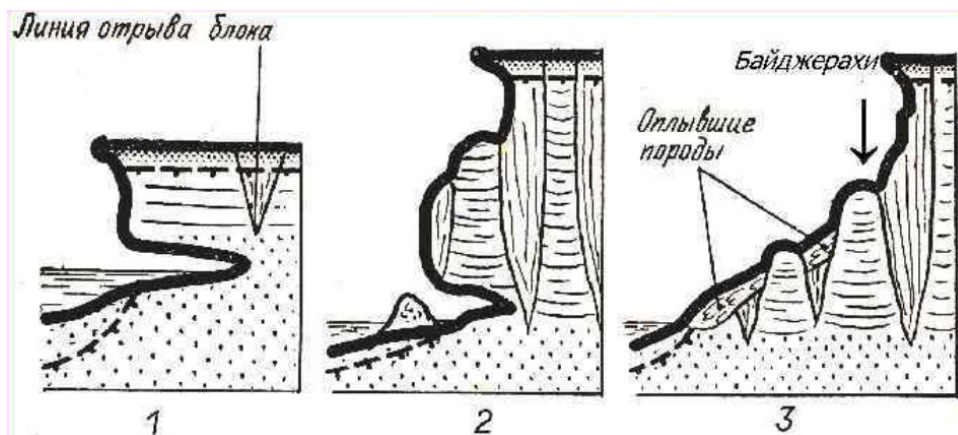


Рис. 13.13. Термоабразионные берега с нишами (1,2) и без ниш (3), когда в основании берега скапливаются вытаивающие и оплывающие породы



### *Термоабразионные берега с нишами*

Современная волноприбойная ниша, сформированная в основании берегового обрыва в мерзлых супесчаных отложениях (рис. 13.13).

*Термоденудация* - разрушение мерзлых толщ под действием тепла воздуха, прямой солнечной радиации и дождей.

Байджерахи образовавшиеся при вытаивании ПЖЛ на берегу океана, - результат термоденудации и термоабразии.

*Термоэрозия* - сочетание теплового воздействия и механического размыва мерзлых льдистых пород водами временных водотоков с образованием оврагов, рытвин, промоин.

### **13.6. Хозяйственная деятельность в криолитозоне**

Традиционно к основным видам хозяйственной деятельности в условиях многолетней мерзлоты относят оленеводство, пушной промысел, рыболовство.

Современное хозяйственное освоение территории предполагает строительство жилых домов и промышленных зданий, прокладку дорог и трубопроводов, добычу полезных ископаемых.

Многолетняя мерзлота создаёт множество проблем. Соблюдение всех технологий строительства не гарантирует защиту от проблем выпучивание свай, фундаментов, опор мостов, оснований линий электропередач, неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда и т.д

Мерзлота влечет за собой разрушение фундаментов зданий в результате проседания грунта, выталкивания фундамента, морозного пучения, опрокидывания фундамента.

Меры противодействия:

- Строительство домов на сваях
- Укрепление здания металлическим каркасом для предотвращения его полного разрушения

### **13.7. Оледенение в истории Земли**

Современная область распространения многолетнемерзлых пород - наследие былых эпох грандиозных оледенений, неоднократно охватывавших в геологическом прошлом нашу планету.

Пять гляциоэров:

- каапвальская,
- гуронская,

- африканская,
- гондванская,
- антарктическая

Доказательством этого являются древние, сильно уплотненные метаморфизованные морены, называемые *утилитами*, и озерно-ледниковые ленточные глины в отложениях различного возраста.

*Тиллиты* - песчано-глинистая неслоистая масса с включениями валунов различных размеров (рис. 13.14). Наличие тиллитов является доказательством существования в конце PZ единого материка Гондваны.

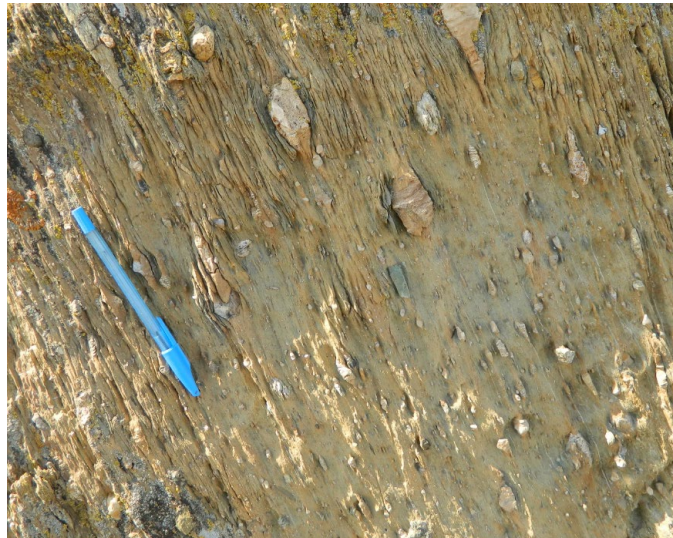


Рис. 13.14. Тиллиты

Продолжительные гляциоэры делятся на множество ледниковых периодов. Последний из ледниковых периодов, продолжающийся до сих пор, называется *антропогеновым*, или *четвертичным*. Начался - 2,6 млн лет назад.

Территория современной России в четвертичное время неоднократно подвергалась крупным покровным оледенениям.

С раннего неоплейстоцена можно выделить не менее 7 оледенений, чередующихся с межледниковьями (снизу вверх):

ранний плейстоцен (774 - 427 тыс. лет):

1. Покровское
2. Донское
3. Окское

средний плейстоцен (427 - 126 тыс. лет):

4. Днепровское

5. Московское

поздний плейстоцен (126 - 11,7 тыс. лет):

6. Калининское

7. Осташковское

Сохранившийся моренный рельеф позволяет устанавливать границы распространения древних покровных оледенений.

**Окское (ранний плейстоцен) оледенение** (между мучкапским и лихвинским межледниковьями)

Во время окского оледенения материковые льды продвигались с севера до р. Оки, низовий Припяти, южнее вдоль р. Днепра. После оледенения на Днепре сформировалась возвышенность.

Моренный рельеф окской ледниковой эпохи до нашего времени почти не сохранился. Сначала был размыт водами днепровского (среднеплейстоценового) ледника, а затем он был перекрыт его донной мореной.

**Днепровское (средний плейстоцен) оледенение** (между лихвинским и одинцовским межледниковьями)

Максимальное из оледенений Русской равнины, покрывавшее большую её часть. Льды растекались от двух центров: главного, занимавшего Скандинавию и Финляндию, и дополнительного, охватывавшего Полярный Урал и Новую Землю.

Ледники спускались на юг двумя гигантскими языками - донским, двигавшимся по Окско-Донской равнине до устья р. Медведица и днепровским, продвигавшимся по Приднепровской низменности до Днепропетровска.

**Московское (средний плейстоцен) оледенение** (между одинцовским и микулинским межледниковьями)

Во время Московского оледенения ледники спускались отдельными потоками из центров оледенения - Фенноскандии, Новой Земли, Полярного Урала по долинам рек Неман, Днепр, Угра.

Мощность льда 3-4 км. Южная граница распространения оледенения протягивается от Бреста на западе по линии Калуга - Москва - Владимир до Урала.

**Калининское (поздний плейстоцен) оледенение** (ранневалдайское) (между микулинским и ленинградским межледниковьями)

Предпоследнее антропогеновое оледенение Русской равнины, во время которого ледники доходили до района современного г. Калинина.

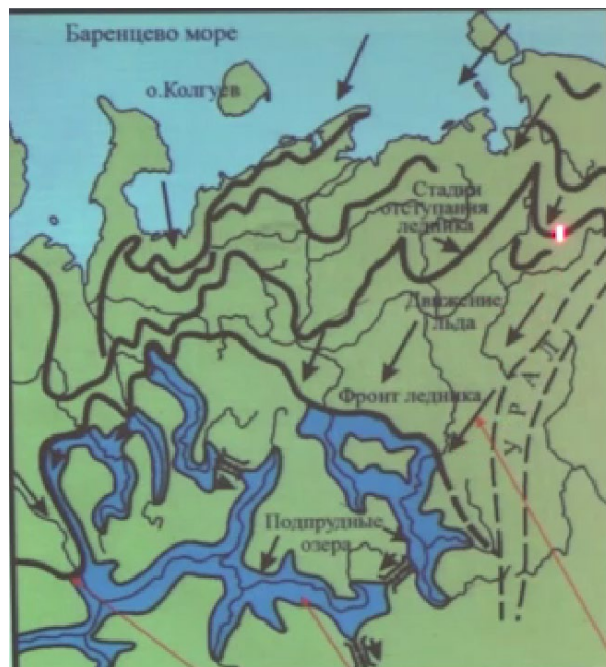
Многие рассматривают калининское оледенение как часть единственного и более длительного позднелейстоценового валдайского оледенения.

**Осташковское (поздний плейстоцен) оледенение** (поздневалдайское) (между ленинградским и современным межледниковьями)

Последнее оледенение Русской равнины, окончившееся около 11,7 тыс. лет тому назад. Край покровного ледника доходил до современной Валдайской возвышенности.

Многие рассматривают осташковское оледенение как часть единственного, по их мнению, и более длительного позднелейстоценового валдайского оледенения.

Эпоха последнего Валдайского оледенения представлена на рис 13.15. Конечно-моренные пояса (гряды - черные линии), направление движения льда (стрелки) и ледниковые подпрудные озера (синие) европейской части России в эпоху последнего (валдайского) оледенения. Пунктир – каналы сброса талых вод (спиллвеи) (по Х. Арсланову, А. Лаврову и Л. Потапенко)



13.15. Эпоха последнего Валдайского оледенения

## Причины оледенений

### 1. Внешние

- a) Астрономические, ослабляющие солнечную радиацию (изменение наклона оси вращения Земли к эклиптике; прецессии оси; эксцентриситет орбиты). Циклы Миланковича: 20,40,100 тыс. лет.
- b) Изменение состава атмосферы (изменением содержания CO<sub>2</sub> и различных аэрозолей в воздухе)

- 
- с) Изменение состояния океана (особенно термическое состояние глубоких уровней океанских вод)

## 2. Эндогенные

- а) Изменение магматической активности Земли (Н.М.Чумаков)
- б) Перемещение литосферных плит, изменяющее положение материков

## **Лекция 14. Геологическая деятельность ветра (эоловые процессы)**

### **14.1. Необходимые условия развития эоловых процессов**

*Ветер* — это движение воздушных масс, струй и потоков в приземном слое, в основном параллельно земной поверхности.

Геологические процессы, связанные с деятельностью ветра, называются *эоловыми*, по имени греческого бога ветра Эола.

Геологическая деятельность ветра интенсивнее там, где нет растительности и горные породы непосредственно соприкасаются с атмосферой:

- Пустыни и полупустыни
- Высокие горные хребты и плато
- Прибрежные зоны

Необходимые условия развития эоловых процессов:

- Наличие песчано-пылеватого материала
- Открытые пространства
- Сильный ветер
- Сухой (аридный) климат

Ведущие факторы:

Природные:

- Сила и направление ветра
- Структура ветрового потока (турбулентность)
- Ветровой режим

Антропогенные факторы формирования эоловых процессов:

- Уничтожение растительности
- Осушение земель
- Применение не защищающих почвы агротехнических приемов земледелия
- Перевыпас скота, уничтожение травяного покрова

Освоение целинных и залежных земель в 1954 -1965 гг. происходило в Казахстане, Поволжье, на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке, в Крыму. Цель - быстрое увеличение производства зерна за счёт введения в хозяйственный оборот новых целинных земель.

### **Ветровая эрозия почвы**

Распашка целины привела к повсеместной ветровой эрозии почвы, массовой гибели животных и растений. Были уничтожены десятки миллионов гектаров различных природных зон, территории пастбищ и сенокосов.

## 14.2. Геологическая деятельность ветра

Геологическая деятельность ветра состоит из процессов:

1. *Дефляции* (лат. «deflatio» - сдувание) - процесс выдувания и развевания ветром частиц рыхлых горных пород (ветровая денудация).
2. *Корразии* (лат. corrado - скоблить, скрести) - процесс обтачивания, истирания, шлифования и высверливания горных пород и их обломков при помощи переносимого ветром песка (ветровая эрозия).
3. *Переноса* (транспортировки) рыхлых пород
4. *Аккумуляции* (отложения, накопления)

Все стороны деятельности ветра тесно связаны друг с другом, проявляются одновременно и, по существу, представляют собой единый сложный процесс.

**Дефляция** (по Борису Александровичу Федоровичу, 1940) подразделяется на *площадную и локальную*.

*Площадная дефляция* наблюдается чаще всего на равнинах, значительных по размеру площадях и поверхностях, сложенных речными, морскими, водно-ледниковыми отложениями и в скальных породах.

*Локальная дефляция* проявляется на крутых склонах, по бортам разломов и трещин, а также в щелях и бороздах (бороздовая дефляция), в отдельных понижениях рельефа.

Площадная дефляция приводит к равномерному выдуванию рыхлых частиц с обширных площадей. Общее понижение поверхности за счёт такой дефляции может достигать 3 см в год.

В результате площадной дефляции поверхность постепенно очищается от песчаного и мелкозернистого материала. Остаются только грубые обломки – каменистый и щебенистый материал. Таким образом формируются каменистые пустыни – *гамады*.

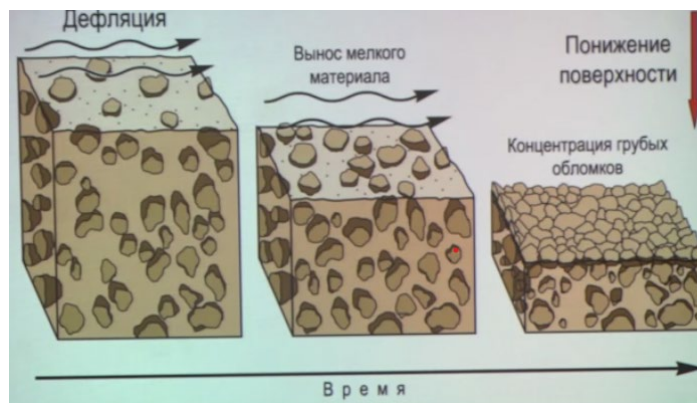


Рис. 14.1. Площадная дефляция

С площадной дефляцией связано выдувание распаханной плодородной почвы. В пределах черноземной полосы периодически возникают черные бури. Пахотный слой в некоторых районах сдувается ветром на глубину до 10-12 см.

**Локальная дефляция** определяется вихревой структурой воздушного потока и характером рельефа.

На крутых склонах струи воздуха проникают во все трещины и щели твердых горных пород и выдувают из них рыхлые продукты выветривания.

*Дефляции (выдуванию)* подвергаются мелкие частицы пелитового, алевроитового и песчаного размера. Это приводит к образованию открытых, зияющих трещин и скал с причудливой формой (башни, колонны, обелиски и т.д.).

При разработке ветром трещин горизонтального направления появляются так называемые «качающиеся скалы» (рис. 14.2).



Рис. 14.2. Качающиеся скала, Саяны

В крутых обрывах, сложенных породами различной прочности, проявляется избирательный характер процессов выветривания и деятельности ветра. Образуется чередование *выступов (карнизов)*, соответствующих слоям прочных пород.

Ярданги (борозды выдувания) – система узких прямолинейных параллельных друг другу борозд и гряд. Пример: Метеоритный кратер Аороунга, Чад – борозды вытянуты вдоль господствующего направления ветра.

С локальной дефляцией связано происхождение некоторых крупных глубоких бессточных котловин в пустынях Средней Азии, Аравии и Северной Африки.

Дно некоторых котловин местами опущено на многие десятки и даже первые сотни метров ниже уровня Мирового океана.

В жаркие безветренные дни над днищами котловин из-за разницы в нагреве поверхности возникают мощные *турбулентные потоки восходящего воздуха (штормоподобные смерчи)* (рис. 14.3).



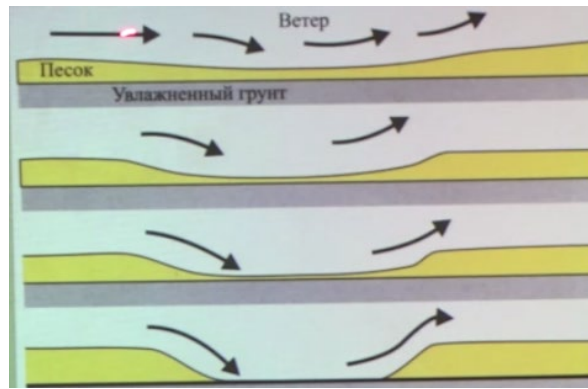


Рис. 14.3. Турбулентные потоки восходящего воздуха

Восходящие потоки и ветер в течение лета могут вынести весь рыхлый материал. Ежегодное повторение процесса приводит к углублению *дефляционных впадин, или котловин выдувания*. Дефляционная впадина Каттара (Египет): ширина - 135 км, днище на 133 м ниже уровня моря. Находится в Ливийской пустыне.

В качестве особого вида локальной дефляции выделяют *бороздовую дефлекцию*. В трещинах, узких щелях или бороздах сила ветра больше, и рыхлый материал выдувается оттуда в первую очередь.

**Корразия** (лат. corrado - скоблить, скрести) – механическая обработка горных пород песчаными частицами, переносимыми ветром, выражающаяся в обтачивании, истирании, шлифовании, соскабливании, высверливании и т.п (рис. 14.4).



Рис. 14.4. Корразия

Корразия определяется скоростью ветра, массой переносимых частиц и длительностью процесса. Корразия - обтачивание горных пород за счет перемещения песчинок «прыжками» - *сальтацией* (рис. 14.5).



Рис. 14.5. Схема развития корразии пород (по Н.В. Короновскому, 2011)

Переносимый ветром песчаный материал движется над самой поверхностью земли (0,5 - 2 м). Обтачивание происходит в нижней части выступов пород.

В результате формируются *столбы* и «каменные истуканы» с тонкой «шейкой» в основании и расширением вверху (рис. 14.6).



Рис. 14.6. Каменные грибы

*Вентифакты, драйкантеры, или золотые многогранники* – отшлифованные корразией обломки горных пород. За счет песчаных частичек они обладают продольной текстурой. Процесс образования драйкантеров представлено на рис. 14.7.

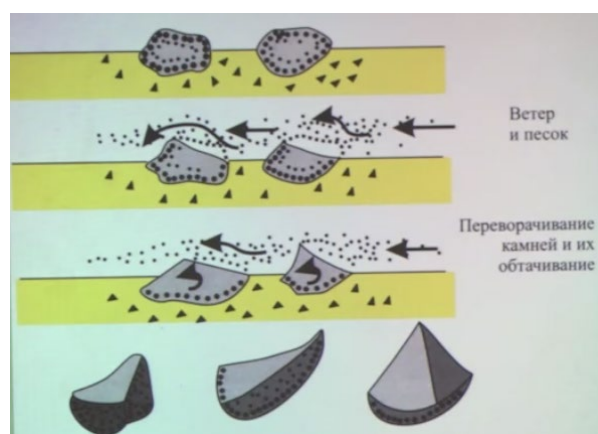


Рис. 14.7. Образование драйкантеров (вентифактов), обточенных ветром камней в пустыне

Совместное действие дефляции и корразии (ветровой эрозии) приводит к появлению экзотических форм рельефа. Пример: национальный парк Арок, США, штат Юта.

*Бастионные и столбообразные формы* - результат ветровой эрозии. Пример: г. Южная Демерджи, Крым. **Выветривание форм рельефа не создает.**

### 14.3. Транспортировка материала

Существует прямая связь между скоростью ветра и переносом развеваемого материала. Экспериментально установлены соотношения между скоростями ветра и размером переносимых частиц (Таблица 14.1 по Леонтьеву, Рычагову, 1979).

Таблица 14.1. Транспортировка материала

Скорость ветра, м/с	Максимальные размеры движущихся песчинок, мм
4,5-6,7	0,25
6,7-8,4	0,5
9,8-11,4	1,0
11,4-13,0	1,5

Штормовые ветры ( $> 20,8$  м/с) и ураганы способны поднимать песок на высоту в сотни метров и перекачивают гальку размером до 5 - 7 см.

#### Способы перемещения развеваемого материала:

- *Волочение* - медленное перекачивание песчинок, схоже с движением водных потоков
- *Сальтация* (итал. «сальто» - прыжок) - перемещение песчинок прыжками. Происходит при довольно сильном ветре, вызывает цепную реакцию
- *Перенос* по воздуху с потоком ветра во взвешенном состоянии

*Ветровой (эоловый) разнос.* Дальность переноса: пыль - 2500 - 3500 км, песок - несколько километров. Объем переносимого материала очень значителен.

В 1953 г. пыльная буря из Ирака принесла на территорию среднеазиатских республик лессовидную пыль весом - 100 000 тонн.

### 14.4. Эоловая аккумуляция

При уменьшении скорости ветра и в других благоприятных условиях происходит отложение переносимого материала (*аккумуляция*).

Образуются *ветровые (эоловые) отложения*. Среди эоловых отложений выделяются два основных генетических типа - *эоловые пески* и *эоловые лёссы*.

#### **Характерные признаки эоловых песков:**

- Цвет преимущественно желто-коричневый за счет пустынного загара
- В составе песков преобладают зерна кварца и других твердых минералов
- Хорошая окатанность частиц, поверхность которых отполирована и блестящая
- Хорошая сортировка по размеру зерен (0.1 - 0.25 мм, реже - 0.5 мм) и удельному весу
- Совершенно отсутствуют пылеватые частицы
- Косая разнонаправленная слоистость
- Мощность отложений - десятки метров

**Лёсс** - своеобразный генетический тип континентальных отложений. Землистая светло-желтая, палево-желтая или серовато-желтая неслоистая, местами неясно слоистая горная порода, состоящая из частиц кварца и полевых шпатов размером от 0,05 до 0,005 мм (60-80%) с примесью глинистого и песчаного материала (рис. 14.8)

Для леса характерны:

- высокая пористость (42-50%);
- наличие системы коротких вертикальных каналцев (остатки растений, засыпаемых пылью);
- сильная карбонатность до 30% (присутствие известковых стяжений, называемых журавчиками);
- вертикальная отдельность и способность держать отвесные стенки в естественных обнажениях и искусственных выемках;
- покровный характер;
- значительные просадки при увлажнении



Рис. 14.8. Лесс

Типичные лёссы известны в Китае, Средней Азии, США и в других местах. Мощности от нескольких метров до десятков метров, реже до 100-150 м.

Вопрос о происхождении лёсса не получил общепринятого решения. Гипотезы: эоловая, пролювиальная, аллювиальная, делювиальная, почвенно-элювиальная и др.

**Эоловая гипотеза происхождения лессов.** Согласно этой гипотезы лесс - осадок атмосферной пыли.

**Водная гипотеза происхождения лёссов.** Объясняет происхождение лёсса смывом, при помощи дождевых струек, продуктов выветривания различных коренных пород, а также переноса и накопления лёссовых отложений водно-ледниковыми потоками, и отложением продуктов смыва на склонах и у подножия возвышенностей.

**Почвенно-элювиальная гипотеза.** Процесс накопления компонентов лесса может происходить любым путём, а формирование свойств происходит вследствие выветривания и почвообразования.

### **Формы эолового песчаного рельефа**

Образование песчаных форм рельефа зависит: от особенностей первичного рельефа поверхности, от количества песка, от наличия или отсутствия растительности, от характера ветрового режима (устойчивости и силы ветра) и т. д.

Основная масса эолового материала накапливается в пустынях, на морских побережьях, в низовьях речных долин и т.д. в виде разнообразных барханов, песчаных гряд и дюн.

### **Пустынные формы эолового рельефа**

Барханы - асимметричные серповидные холмы сыпучего песка в пустынях с пологим наветренным и крутым подветренным склоном, навешанные ветром и незакрепленные растительностью. На рис. 14.9 представлены стадии и механизм образования бархана.

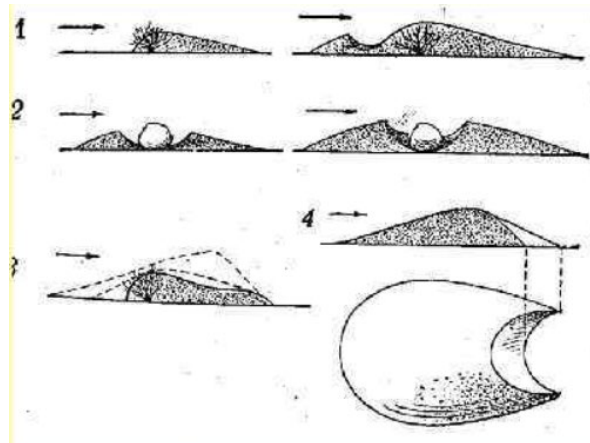


Рис. 14.9. Стадии и механизм образования бархана вблизи 1. куста растения, 2. камня, 3. дерева. Типичный бархан (4)

Барханы имеют в плане полулунную форму, их «рога» ориентированы в направлении господствующих ветров.

Наветренный склон является пологим ( $5 - 14^\circ$ ), подветренный - крутым ( $30 - 33^\circ$ ), что связано со сдуванием песчаных частиц вверх по его отлогому склону и их осypанием за гребнем бархана. В размерах барханы варьируют от 3 до 15 м и до 80 м в высоту.

*Барханы и барханные гряды* - движущиеся формы эолового рельефа. Скорость перемещения барханов может достигать нескольких метров в месяц. Типы барханов представлены на рис. 14.10:

А - простые формы:

- 1,2 - щитовидные;
- 3,4 - серповидные;
- 5,6 - продольные;
- 7-10 - гряды;
- 11-13 - цепи;
- 14-15 - клиновидные;
- 16-18 - ячеистые и пирамидальные

Б - комплексные формы:

- 19-21 - грядовые с ребрами и гребнями;
- 22-23 - комплексные цепи;
- 24-25 - коленчатые и скрещенные;
- 26-27 - вздутия и пирамиды

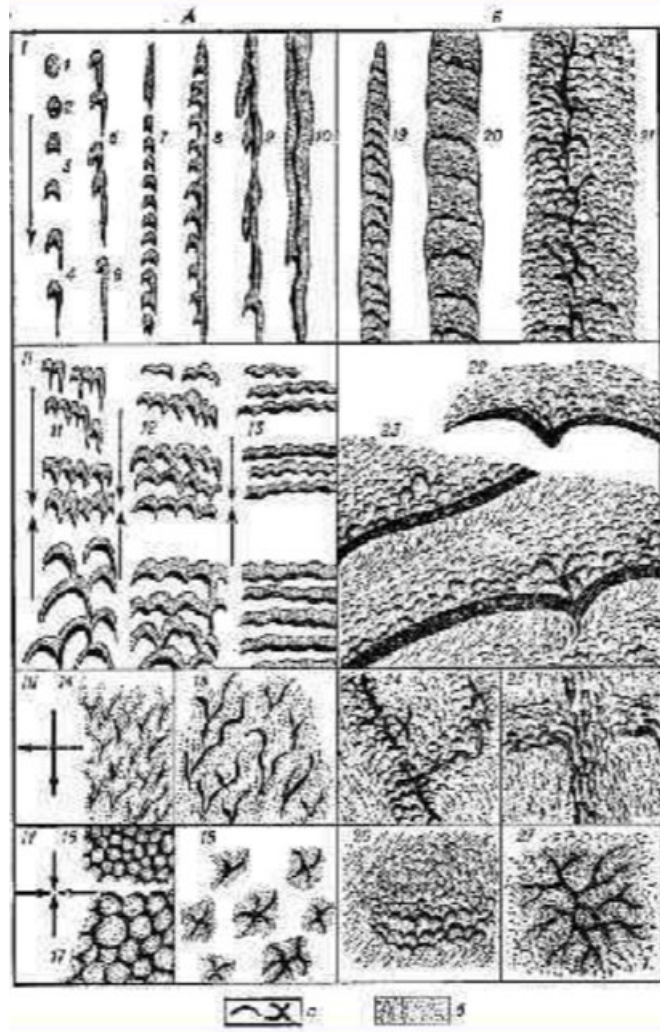


Рис. 14.10. Типы барханов

На рис. 14.11 представлена схема развития основных форм рельефа оголенных песков (по Б.А. Федоровичу):

1 - барханная лепешка («щитовая дюна»), 2 - эмбриональный бархан, 3 - молодой бархан, 4 - полулунный бархан, 5 - парный бархан, 6 - барханная цепь, 7 - крупная комплексная барханная цепь, 8 - групповой бархан, переходящий в продольную ветру барханную грядку, 9 - барханная продольная грядку с диагональными ребрами, 10 - крупная продольная грядку с комплексными диагональными ребрами.

*Ячеистые барханные формы* - мелкие, барханы движутся быстрее крупных и, нагоняя их, образуют полисинтетические барханы.

*Пирамидальные песчаные формы* - встречаются в районах Средней и Центральной Азии и Африки, имеют небольшое площадное развитие. Формирование обусловлено интерференцией воздушных масс, связанной с отражением ветров от горных преград.

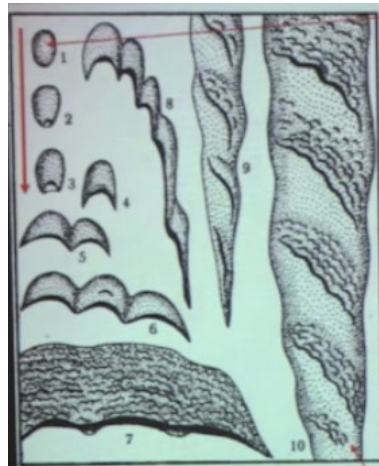


Рис. 14.11. Схема развития основных форм рельефа оголенных песков (по Б.А. Федоровичу)

### **Внепустынные формы эолового рельефа**

Эоловый материал накапливается на морских побережьях, в низовьях речных долин и т.д. в виде разнообразных песчаных гряд и дюн.

*Дюны* - внепустынные эоловые формы песчаных накоплений с выпуклой формой крутых склонов.

*Пример: Чарские пески.* Пустыня в Забайкальском крае, находится в сорока километрах от ледников Кодара. Размеры пустыни примерно 10 на 5 км, высота барханов - до 30 м.

Якутский феномен - *тукуланы* (эвенк. «пески»). Наибольшее развитие получили в бассейне Вилюя и его притоках.

### **14.5. Типы пустынь**

*Пустыня* - природная зона с жарким или холодным (постоянно или сезонно) и засушливым климатом, где за год выпадает не более 200-250 мм осадков, а испаряемость превышает этот показатель в 10-20 раз.

Пустынный тип ландшафта, как правило, характеризуется равнинной поверхностью, разреженным растительным покровом и специфической фауной К категории типичных пустынь относится 23 % суши.

Наиболее обширные пустыни образуют два широтных пояса:

1. В северном полушарии это пустыни Северной Америки, Северной Африки, Аравийского полуострова, Ирана, Средней и Центральной Азии;



2. В южном полушарии - пустыни Южной Америки (Атакама), пустыни Калахари и Намиб в Африке, в Австралии (Симпсона)

Климатические особенности и особенности проявления дефляции и аккумуляции определяют различные типы пустынь:

#### **I. Дефляционные:**

1. Каменистые пустыни, или гамады (Африка [Сахара, Калахари], Монголия, Китай)

#### **II. Аккумулятивные:**

2. Песчаные пустыни, или кумы, Средняя Азия, Каракум, Кызылкум, или эрги, Африка, Сахара
3. Глинистые пустыни, или такыры, как правило на месте высохших озёр, Арал, Уюни (Боливия)
4. Глинисто-солончаковые пустыни, или шоры (соры) - в местах преобладания глинистых пустынь, Арал, Китай
5. Лессовые пустыни, или адыры, Китай

**Каменистые пустыни - гамады** (хамады, гаммады) (с арабского - щебневая пустыня)

Относительно возвышенные плато, покрытые тонким плащом щебня и глыб, среди которых возвышаются скалистые останцы. Рыхлых, сыпучих отложений практически нет, уносятся дефляцией. До 70% Сахары и Калахари.

Обломки пород покрыты черным налетом - тончайшей железисто-марганцовой корочкой, называемой *пустынный загар*, или *лак пустыни*. Такая корочка является результатом выпаривания влаги из обломков горных пород под влиянием солнечных лучей и бактерий.

#### **Песчаные пустыни - кумы, эрги**

Песчаные пустыни имеют наибольшее распространение. Часть их образуется в результате выветривания коренных пород и последующего ветрового переноса.

Основные массивы пустынных песков являются продуктом эоловой переработки на месте песчаных аллювиальных, озерных и морских отложений. В песчаных пустынях хорошо выражен сложный комплекс форм эолового рельефа.

В Средней Азии хорошо известны обширные песчаные пустыни Каракумы, Кызылкумы. В Сахаре песчаные пустыни (эрги) распространены на площади более 1 млн. км<sup>2</sup>.

Еще один пример - Ливийская пустыня или Большой Восточный Эрг (~ 2 млн км<sup>2</sup>), находящаяся в северо-восточной части Сахары. Север пустыни - низменный,

покрыт дюнными песками, образующими песчаные гряды длиной до 650 км и высотой до 300 м.

На северо - востоке глубокие дефляционные впадины (Каттара - 133 м ниже уровня моря, Мельгир - 26 м, Сива, Бахария, оазис Эль-Файюм - 43 м, Боделе).

Территория Ливийской пустыни слабо расчленена сухими или временными руслами (*вади*).

**Глинистые пустыни (такыры)** расположены по краям или внутри песчаных пустынь. Формируются в пониженных участках рельефа.

Представляют собой ровные пространства, сложенные с поверхности глинистыми осадками. Главная роль их образования принадлежит стоку поверхностных вод.

Пример: Глинистая пустыня «Долина смерти» в США с развитыми процессами дефляции. В долине 10 июля 1913 года зафиксирована самая высокая температура воздуха в Западном полушарии - +56,7 °С.

**Глинисто-солончаковые пустыни, или шоры (соры)** отличаются от глинистых тем, что их поверхность покрыта корочкой соли 1- 2 мм, под которой образуется пухлый солончак, состоящий из смеси пыли и солей.

Пример: давно высохшее Сарыкамышское озеро, сары Урало-Эмбенской области.

**Лессовые пустыни, или адыры** образуются на окраинах песчаных пустынь за счет аккумуляции самых мелких пылевидных частиц, переносимых ветром. Граничат с горами (Тянь-Шань, Гиссаро-Алай, Копетдаг) или переходят в степи.

Песчаные формы рельефа – это движущиеся формы. Под действием направленных сильных ветров пустыни перемещаются по воздуху и по земле. Пески засыпают оазисы и несут огромную разрушающую силу. Кроме того, непустынные формы тоже являются движущимися – например, дюны, засыпающие леса. Существуют различные способы укрепления песков.

*Механические защиты (на срок до 2 -3 лет):*

- Устилочные
- Переносные
- Стоячие
- Скрытые
- Комбинированные

*Химические препараты:*

- Битумы
- Асфальт
- Цемент

- Клеи

Но все эти способы довольно неэффективны и обладают высокой стоимостью, большими трудовыми затратами, а также являются недолговечными.

Закрепление песков на долгий период возможно только с помощью корневых систем растений - *биологическая защита*:

- Посадка деревьев, кустарников (облесение песков)
- Посадка высокостебельчатых трав
- Особое мероприятие - шелюгование песков (стабилизация поверхности песков посадкой ивы шелюги)

*Шелюгование песков* - стабилизация поверхности песков посадкой ивы шелюги. Шелюга (ива остролистная, или краснотал, или красная верба) Кустарник высотой до 6 м, или дерево 10-12 м.

## Лекция 15. Озера и болота, их геологическая роль

### 15.1. Гидросфера

*Гидросфера [hydrosphere]* - одна из верхних оболочек Земли, входящая частично в иные оболочки (литосферу, атмосферу и пр.) и включающая в себя воды Мирового океана, поверхностные воды суши (воды рек, озер и болот), воды атмосферы и воды подземные. На рис. 15.1 приведена карта распространения озер и болот на территории России.



Рис. 15.1. Озера и болота на территории России

### 15.2. Геологическая деятельность озер

*Озеро* - замкнутое углубление суши, естественный водоём, заполненный в пределах озёрной чаши (озёрного ложа) водой и не имеющий непосредственного соединения с морем (океаном).

Число озёр в мире достигает 304 миллионов, включая мелкие. Озера занимают площадь около 2,7 млн. км<sup>2</sup> или около 1,8% земной поверхности.

По своей величине озера весьма разнообразны - от небольших, площадь зеркала которых менее 1 км<sup>2</sup> до огромных водоемов, измеряемых тысячами и десятками тысяч км<sup>2</sup>. Различна и глубина озер - от 1620 м (Байкал) до 0,8 м (Эльтон). В таблице 15.1 приведены крупнейшие озера мира.

Таблица 15.1. Крупнейшие озера мира

Название озер	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>
Каспийское море (Азия – Европа), соленое	371
Верхнее (США-Канада)	82,1
Виктория *Кения, Танзания, Уганда)	69,4
Гурон (США)	59,6

Мичиган (США)	57,8
Аральское море (Казахстан-Узбекистан), соленое	36,5*
Танганьика (ДРК, Бурунди, Танзания, Замбия)	32,9
Байкал (Россия)	31,5
Большое Медвежье (Канада)	31,3
Ньяса (Малави, Танзания, Мозамбик)	29

**Происхождение озерных котловин** весьма разнообразно. По генетическим признакам выделяют следующие типы озерных котловин (рис. 15.2.):

- Тектонические
- Ледниковые
- Вулканические
- Пойменные и дельтовые
- Карстовые, термокарстовые, просадочные
- Озера, возникшие в результате обвалов (плотинные)

**Тектонические озерные котловины** возникают в результате тектонических движений земной коры. В большинстве случаев представляют собой опущенные по разломам участки земной коры - *грабены (рифты)* или крупные прогибы.

К таким озерам относятся Байкал, Телецкое, Женевское, Севан, озера Восточно-Африканской рифтовой системы (Виктория, Танганьика, Ньяса и др.).

#### **Ледниковые озерные котловины**

К этой группе относятся озера, котловины которых созданы как выпахивающей, так и аккумулятивной деятельностью ледников. Линейные ложбины и котловины ледникового выпахивания развиты в областях материковых покровных оледенений четвертичного времени.

Много озерных котловин образуется в результате неравномерного накопления морен и подпруживания конечноморенными грядами водных потоков. Озера ледникового происхождения (каровые и др.) развиты и в горных районах.

**Вулканические озерные котловины** представляют собой кратеры потухших вулканов или подпруженные лавовым потоком долины. Пример: Вулкан Катмай (Аляска).

*Маар* - плоскодонный кратер взрыва с жерлом без конуса, окружённый невысоким валом из рыхлых продуктов извержения.

**Пойменные и дельтовые озерные котловины** представляют собой отшнурованные от основного русла реки старицы или отдельные рукава (протоки) реки в дельтовых равнинах, потерявшие связь с морем.

### **Карстовые, термокарстовые и просядочные озерные котловины**

Карстовые озера представляют собой заполненные водой котловины на поверхности растворимых пород (карбонатных, сульфатных и др.), возникающие в результате провалов горных пород над подземными карстовыми пустотами. Пример: Плитвицкие карстовые озера (Хорватия).

*Периодически исчезающие карстовые озера:* Вытегорский район Вологодской области (Шимозеро, Долгозеро, Грязозеро, Канозеро, Ундозеро и др.).

*Шимозеро* - озеро в Вытегорском районе Вологодской области, в восточной части Вепсской возвышенности. Площадь поверхности - 7,9 км<sup>2</sup>. Относится к периодически исчезающим карстовым озёрам. Сток происходит через карстовую воронку (Чёрная яма).

*Термокарстовые озерные котловины* развиты в пределах распространения многолетнемерзлых пород. Образуются при вытаявании льда в верхней части многолетнемерзлой зоны, и последующего провала и проседания пород над образовавшимися пустотами.

Сначала возникают крупные округлые пологосклонные и плоскодонные котловины - *аласы* - глубиной от 8-12 до 20-30 м (Аласы в Якутии). Затем при заполнении понижений водой образуются *термокарстовые озера* (Бессточные термокарстовые озера Якутии). Вода в озерах аккумулирует тепло, и сама способствует дальнейшему протаиванию мерзлого грунта.

На юге Западной Сибири развиты *просядочные озерные котловины*, образованные в результате суффозии - механического выноса мелких частиц породы.

### **Озера, возникшие в результате обвалов (плотинные)**

В горных районах происходят крупные обвалы, приводящие местами к полному перегораживанию (запруде) речных долин. В результате за такими естественными плотинами в долинах рек создаются озера.

Озера, возникшие путем запруживания долин обвальными образованиями, называют *плотинными озерами*.

Пример: Сарезское озеро на р. Мургаб (Памир). Образовалось 6 (18) февраля 1911, после землетрясения р. Мургаб была запружена обвалом, похоронившего кишлак Усой Наполнившаяся водой котловина в том же году затопила кишлак Сарез.

Усойский сейсмообвал – естественная плотина высотой 567 м. р. Мургаб ниже плотины Усойского сейсмообвала.

К плотинным относятся водохранилища, созданные искусственно. Например, Чиркейское водохранилище (Дагестан). Арочная бетонная плотина имеет высоту 232,5 м, длину по гребню 338 м, толщину от 6 до 30 м. Образует Чиркейское водохранилище площадью 42,4 км<sup>2</sup>. Полной емкостью 2,78 км<sup>3</sup>.

К плотинным относятся искусственные водохранилища и ставки Крыма. Новоульяновское водохранилище имеет длину ~ 1 км, ширину ~ 200 м, глубину ~ 20 м.



Рис. 15.2. Озерные котловины

### Происхождение водной массы озер

Не менее важным условием образования озер является накопление водной массы. Водные массы большинства озер обязаны своим происхождением обычным поверхностным водам - рекам и атмосферным осадкам, заполняющим углубления рельефа. В ряде озер значительную роль играет подземное питание (за счет подземных вод).

Существуют *реликтовые озера* (остаточные) от прежних морских водоемов, которые были когда-то соединены с Мировым океаном, а затем отчленены от него.

Каспийское и Аральское озера-моря в хвалынский век (- 20 тыс. лет назад) были соединены проливом с Азовским по долине Маныча, а через Тургайский пролив с Ледовитым морем на севере.

Еще более молодыми реликтовыми озерами являются Ладожское и Онежское, входившие в состав послеледникового Иольдиевого моря покрывавшего СЗ Русской равнины 11700-10700 лет назад.

**Гидрологический режим озер** (прибыль и убыль воды) различен и в большинстве случаев тесным образом связан с климатическими особенностями района их расположения.

- Озера по гидрологическому режиму подразделяются:
- Бессточные озера
- Сточные (проточные) озера
- Озера с перемежающимся стоком (периодически проточные)

**Бессточные озера** распространены в области аридного (сухого), семиаридного (засушливого) климата и в областях многолетней мерзлоты (рис. 15.3).

Они питаются реками, временными потоками или атмосферными осадками. Не имеют стока, расходуют воду только на испарение (Каспийское, Аральское, Балхаш, Иссык-Куль и др.). Аральское море – бывшее бессточное озеро на границе Казахстана и Узбекистана.

Другой пример - Бессточное реликтовое озеро Чад. До 1960-х годов площадь озера Чад колебалась в пределах от 10 до 26 тысяч км<sup>2</sup>, но затем началось резкое сокращение размеров и к середине 2000-х площадь озера уменьшилась до 1350 км<sup>2</sup>.

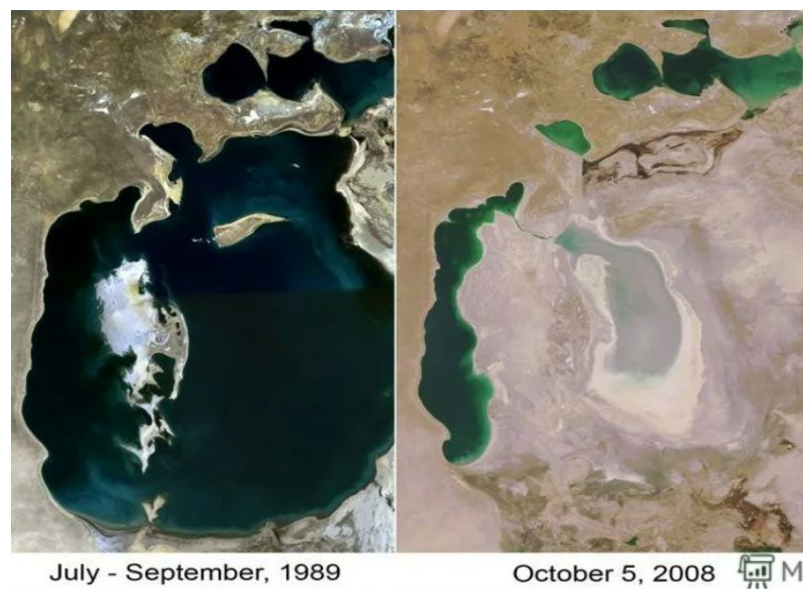


Рис. 15. 3. Аральское море – бывшее бессточное озеро на границе Казахстана и Узбекистана

**Сточные (проточные) озера** - озера с интенсивным водообменом, когда один из их притоков по водоносности сравним с рекой, вытекающей из озера.

К сточным озёрам относится большинство озёр районов влажного и умеренного климата.

В Ладожское озеро впадают - 40 рек, вытекает река Нева. В Онежское озеро впадают ~ 50 рек, вытекает река Свирь. Байкал – крупнейшее проточное озеро Земли.

**Озера с перемежающимся стоком (периодически проточные)** занимают промежуточное положение между бессточными и сточными озерами.



Дают сток периодически во время наибольшего притока вод в озеро, в межень вытекающие из них речки пересыхают. Озеро Белое - уникальный природный объект на территории Рязанской области. Такие озера чаще встречаются в лесостепной, степной, полупустынной зонах.

У некоторых озер существует только подземный сток. Подземный сток особенно заметен у карстовых озер. Вода из них нередко уходит в подземные полости, и озера даже временно осушаются.

Долгоозеро, Вытегорский район - пример карстового озера (на западе Вологодской области).

### **15.3. Химический состав озерных вод**

#### **Соленость и солевой состав озерных вод**

*Соленость* - содержание солей в воде, выражается в «‰» (промилле). *Соленость в промилле* — это количество твёрдых веществ в граммах, растворённое в 1 кг воды

По степени солености озерные воды делятся на:

- пресные (или пресноводные) с солёностью менее 1%,
- солоноватые с солёностью от 1 до 23,7%,
- солёные с солёностью 23,7-47%,
- соляные (рассолы) с солёностью > 47 % до 550%

Химический состав озерных вод формируется в зависимости от водного баланса и климатических особенностей местности. Нередко происходит смена одного типа вод другим.

Например, морские воды реликтовых проточных озер во влажных климатических зонах (Ладожское и др.) могут постепенно вытесняться и почти полностью замениться пресными поверхностными водами атмосферного происхождения.

В бессточных озерах в условиях сухого и жаркого климата протекают интенсивные процессы испарения. Часто наблюдается засоление, повышение концентрации раствора.

Степень солености и состав растворенных солей в озерах зависят от многих других факторов: солевого состава воды рек, впадающих в озеро, геологического строения, характера почвенного и растительного покрова и т.д.

Среди соленых озер (> 23,7%), по составу растворенных веществ и степени минерализации выделяются следующие типы:

1. *Содовые, или карбонатные, озера* (ряд озер Кулундинской степи (юг Западной Сибири), некоторые озера Якутии и Бурят-Монголии и др., много в Африке, Азии, есть в Европе и Северной Америке)

2. *Горько-соленые, или сульфатные, озера* (осаждающие главным образом мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), имеются в Алтайском крае, в Крыму, на Кавказе (Баталпашинские озёра), в пустынях Средней Азии и т.д.)
3. *Соленые или хлоридные озера* (относятся к числу самых обычных - их много в Крыму, в Кулундинской степи, в Поволжье и других местах)

### **Содовые, или карбонатные, озера**

Характеризуются высокой концентрацией карбонатных солей, обычно карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), что приводит к их щелочности. Кроме того, многие содовые озера также содержат высокие концентрации хлорида натрия ( $\text{NaCl}$ ) и других растворенных солей, что делает их также солеными или гиперсолеными озерами.

Примеры:

- Ван (Турция) – содовое озеро, 22-67 %
- Озеро Шала в Восточноафриканской рифтовой долине

**Горько-соленые, или сульфатные, озера** бывают двух типов: сульфатно-натриевыми и сульфатно-магниевыми (хлор-магниевыми).

Из воды озер сульфатно-натриевого типа летом при насыщении в твердую фазу могут выпадать преимущественно эпсомит ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) и галит, а зимой - мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) и эпсомит. В сульфатно-магниевых озерах в солевом составе существенное значение приобретает  $\text{MgCl}_2$

Летом в твердую фазу выпадают преимущественно галит и астраханит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), зимой - эпсомит и мирабилит. Много горько-соленых озер расположено в дельте Волги.

**Соленые или хлоридные озера (хлорид натрия  $\text{NaCl}$ )** относятся к числу самых обычных, много в Крыму, в Алтайском крае (Кулундинские степи), в Поволжье и других местах .

Аральское море - 116-211 ‰, Баскунчак (Астраханская область) - 300 ‰, Эльтон (Волгоградская область) - 200 -500 ‰, Большое Солёное озеро (США) - 137-300 ‰, Мёртвое море (Иордания, Израиль) - 300-350 ‰ и др.

### **Перемещение воды в озерах**



Рис. 15.4. Перемещение воды в озерах

Движение водных масс в озерах проявляется в виде волн, течений, турбулентного перемешивания воды и сгонно-нагонных явлений, вызываемых деятельностью ветра. Возникновение течений в озерах в результате сгонно-нагонных ветровых процессов (рис. 15.4)

На рис. 15.5 представлено конвективное перемешивание вод, связанное с различиями в их плотности. *Термоклин* – слой резкого изменения температуры воды в водной массе озера.

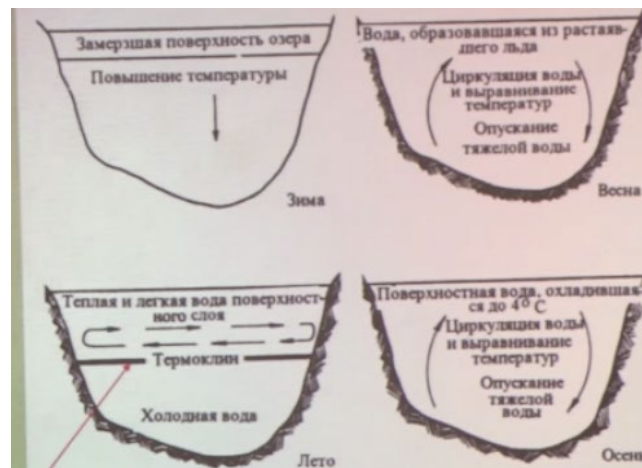


Рис. 15.5. Конвективное перемешивание вод, связанного с различиями в их плотности

**Волны** - периодические колебания поверхности озера, обусловленные возвратно-колебательными или круговыми движениями воды в вертикальной плоскости.

Поступательного движения при этом почти нет. Видимое движение волн — это только изменение формы, оно не сопровождается перемещением самих водных масс.

В зависимости от причин, вызывающих движение воды в озере, различаются волны ветровые и барические (*сейши*).

*Ветровые волны* являются преобладающими на поверхности озер. Они всегда существуют в открытом озере и могут иметь самые разнообразные размеры. Подходя к берегу, на мелководье волны захватывают всю толщу воды. Вместо круговой формы в открытом озере приобретают эллипсоидальную (рис. 15.6).

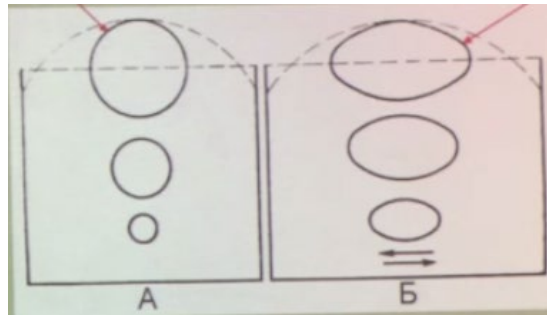


Рис. 15.6. А – орбита волны в открытом море, Б – орбита волны на мелководье

*Деформация* волны на мелководье происходит из-за трения о дно. Вода у дна движется медленнее, чем на гребне. Колебательные движения воды сменяются поступательным (рис. 15.7).

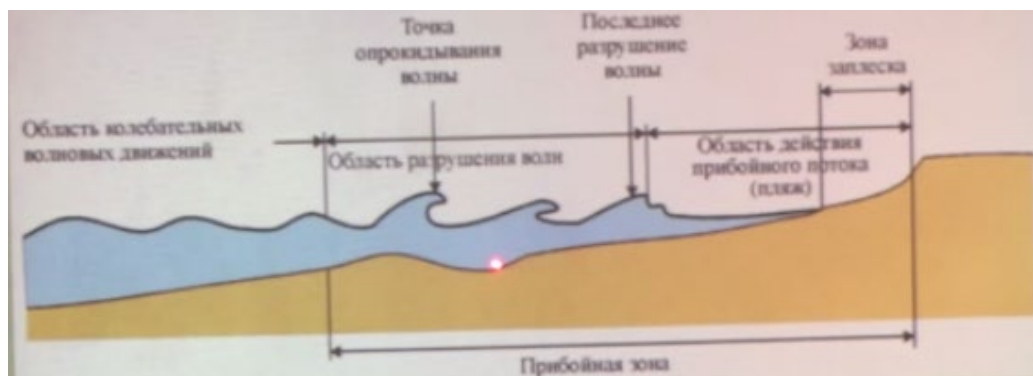


Рис. 15.7. Движение волны

На мелководье скорость и длина волны уменьшаются. Высота и крутизна возрастают. Волна опрокидывается на берег и образует прибой.

**Сейши** - стоячие волны. Обычно наблюдаются в ограниченных водоёмах (морях, заливах, проливах, озёрах).

Сейши возникают в озерах при интерференции волн, отраженных от берегов водоёма. Причина - чаще всего быстрое изменение атмосферного давления (барические волны). Реже - иные причины (резкое поступление паводковых вод, сильные дожди и проч.)

Однажды вызванная деформация уровня воды приводит к постепенно затухающим колебаниям ней. Высота таких волн незначительна - обычно несколько десятков сантиметров, редко до 1-2 м.

Сейши - стоячие волны, изображены на рис. 15.8. Стоячая волна (красная) является суммой двух распространяющихся в противоположных направлениях волн (зелёная и синяя).

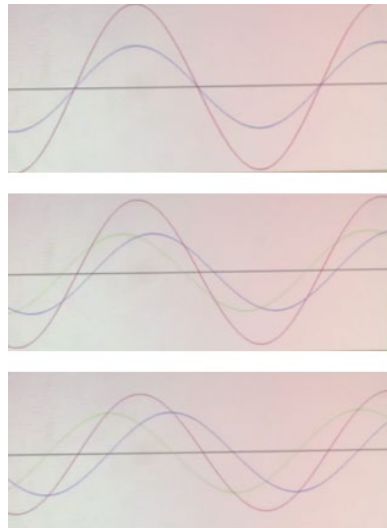


Рис. 15.8. Сейши

#### **15.4. Геологическая деятельность озер**

Геологическая деятельность озер сводится к:

- Разрушению береговых уступов и прибрежных частей дна водоема (абразии)
- Разносу и сортировке обломочного и растворенного материала внутри водоема
- Накоплению (аккумуляции) перенесенного материала

##### **Разрушительная деятельность озер (абразия)**

При значительной силе ветра в крупных озерных водоемах возникают высокие волны, которые действуют разрушительным образом на берега.

*Абразия* - (от пат. abrasio-соскабливание, сбивание), разрушение волнами и прибоем берегов морей, озёр и крупных водохранилищ.

Различают *три вида абразии*:

- механическую,
- химическую
- термическую

*Механическая абразия* - разрушение пород, слагающих берега, под действием ударов волн и прибоя и бомбардировки обломочным материалом, переносимым волнами и прибоем.

*Химическая абразия* - разрушение пород берега в результате их растворения водой.

*Термическая абразия* - разрушение берегов, сложенных мерзлыми породами или льдом, в результате действия более теплой воды на лёд, содержащийся в мерзлой породе.

**Механическая абразия** - основной вид абразионной работы озера, который всегда присутствует при химической и термической абразии.

Волны имеют наибольшее значение в разрушительной работе озера - чем крупнее водоем, тем выше волны и интенсивнее разрушение берегов. Волны бьют в береговые обрывы озера, постепенно срезают их.

Абразия берегов озер и водохранилищ зависит от состава горных пород их слагающих. Часто абразия вызывает образование оползней, обвалов, что способствует дальнейшему срезанию берега.

Наибольшие разрушения происходят во время штормов. Пример: при штормах в отдельных местах песчаный берег Рыбинского водохранилища отступал за неделю на 5-8 м.

### **Переносная и аккумулятивная деятельность озер**

Обломочный материал, поступивший в озеро от разрушения берегов или принесенный реками и ручьями, дождевыми потоками, подвергается в озере сортировке по крупности и разносится волнами и течениями по водоему.

Сила волнений и глубина взмучивания осадков волнами в прибрежной зоне озер зависит от площади и объема водного бассейна. Чем больше площадь и объем озерного водоема, тем больше сила волнений и разрушение берегов, тем больше зона взмучивания, сортировка и разнос обломочного материала.

Затем обломочный материал выпадает на дно, смешивается с органическим и хемогенным веществом, образующимся в самом озере.

### **Осадки озер**

В озерах образуются осадки всех генетических типов: обломочные (терригенные), органические и хемогенные. Для озерных осадков характерен тонкий материал с преобладанием илов, обилием органических (главным образом фитогенных) и хемогенных отложений.

Озерные отложения часто имеют хорошо выраженную тонкую (1-10 мм) параллельную слоистость, что обусловлено спокойными условиями осадконакопления.

В ряде случаев слои отражают сезонные изменения состава осадков. В ледниковых озерах весной и летом в период таяния льдов и снега в озера приносится и осаждаются более обильный и грубый песчано-алевритовый материал, а зимой - преимущественно глинистое вещество, образующее более тонкий, миллиметровый слой.

*Ленточные глины (варвы)* – отложения озёрно-ледникового происхождения.

**Обломочные (терригенные) отложения** играют существенную роль в озерах проточного типа, в дельтовых озерах, а также в больших озерах, где велика абразионная работа. Обломочный материал в озерах хорошо сортируется.

Грубообломочные осадки (галька, песок) отлагаются вблизи устья реки или ручья, образуя подводную дельту, а также у крутых размываемых берегов в виде узких прибрежных полос.

Алевритовая и глинистая муть разносится по всей территории озера и образует на дне тонкоотмученные хорошо слоистые терригенные илы.

В озерах с большим количеством впадающих рек и ручьев терригенных осадков накапливается очень много.

В оз. Балхаш, в устье р. Или, стекающей с хр. Заилийский Алатау, формируется песчаная дельта. За период наблюдений с 1903 по 1929 г. эта дельта продвинулась в озеро на 20 км.

Балхаш - бессточное полупресноводное озеро в Балхаш-Алакольской котловине на юго-востоке Казахстана.

### **Органогенные отложения**

Относительно спокойные гидродинамические условия в озерах и небольшие глубины благоприятствуют развитию органического мира. Живые организмы представлены в основном высшими (осоки, тростники, камыши и др.) и низшими (сине-зеленые и диатомовые водоросли) растениями.

Из животных организмов, имеющих значение для процессов осадконакопления, наиболее важны *двусторчатые моллюски и гастроподы (брюхоногие или улитки)*.

Наиболее широко органогенные осадки развиваются в пресных и солоноватых озерах областей с влажным климатом (гумидных). К ним относятся сапропели, диатомиты и известняки-ракушечники.

*Сапропель* (от греч. «сапрос» - гнилой, «пелес» - ил) - образуется в результате разложения в анаэробных условиях (без доступа воздуха) остатков мельчайших растительных и животных организмов. Преимущественно - сине-зеленые водоросли. Важную роль в этом процессе играют бактерии.

По мере накопления сапропелевые осадки уплотняются, обезвоживаются и превращаются в разновидность бурого угля, называемую сапропелитом.

В пресноводных озерах встречаются илистые осадки, состоящие из скоплений кремнёвых панцирей диатомовых водорослей.

*Диатомовые водоросли* – группа одноклеточных (реже колониальных) обычно планктонных организмов морских и пресноводных.

Отличаются наличием у клеток своеобразного «панциря», состоящего из диоксида кремния. Создают кремнёвые илы.

Впоследствии они преобразуются в горные породы, называемые *диатомитами и диатомовыми трепелами*.

*Диатомит* - порода, более чем на 50% состоящая из обломков панцирей диатомовых водорослей, скрепленных цементом в виде глобул (шариков) опала, а также тончайшего ила и глинистых минералов. Пористость выше 50%, липнет к языку, легкий, пачкает руки.

Слабо сцементированная порода, светло-серого или желтоватого цвета. Структура биоморфная, визуальна пелитоморфная. Текстура микропористая тонкослоистая или массивная.

Сравнительно редко встречаются *известняки-ракушечники*. Состоят преимущественно из раковин гастропод и двустворок. Обычно известняки-ракушечники образуют маломощные прослои и линзы в озерных отложениях.

**Хемотропные осадки** разнообразны и встречаются в различных типах озер. Преимущественным развитием хемотропные осадки пользуются в озерах областей аридного климата, чаще всего бессточных. Усиленное испарение приводит к перенасыщению растворов и химическому осаждению (садке) солей.

В *содовых озёрах* происходит осаждение карбоната натрия. Садка соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) обычно происходит зимой при понижении температуры воды и при определенной концентрации раствора.

В Кулундинской степи развиты несколько групп содовых озер, в некоторых мощность толщи карбоната натрия достигает 8 - 10 м

В *сульфатных озерах* откладываются различные соли: мирабилит (глауберова соль)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , эпсомит  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , астраханит  $\text{Na}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

В крупных соленых *хлоридных озерах* (Баскунчак, Эльтон, Индер и др.) происходит осаждение солей, среди которых преобладает хлористый натрий  $\text{NaCl}$  (галит).

В областях с влажным климатом, с речными водами в озеро поступает большое количество коллоидных веществ. Преимущественно это гидроксиды железа, алюминия, иногда марганца, которые осаждаются на дно и образуют довольно значительные скопления оксидов железа.

Бурый железняк (лимонит), формула минерального агрегата  $\text{FeOOH} \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ . Иногда образует на дне озера сплошной слой. Химический состав:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 86 89 %,



## Н<sub>2</sub>O - 10-14 %

Обычно представлен мелкими округлыми конкрециями, имеющими концентрическое скорлуповатое строение. Такие образования называют *озерными оолитовыми, или бобовыми железными рудами*.

Месторождения:

- Западная Сибирь,
- Крым,
- Томская, Липецкая, Тульская обл.,
- На Таманском п-ов,
- Башкирия

### **15.5. Болота и их геологическая роль**

*Болота* - участки земной поверхности с избыточным увлажнением верхних горизонтов горных пород и развитием влаголюбивой болотной растительности, в которых происходит процесс образования торфа. Общая площадь современных болот на Земле превышает 2 млн км<sup>2</sup>.

Болота встречаются в областях с влажным климатом и высоким стоянием грунтовых вод, создающим благоприятные условия для жизни растений.

Одна из крупнейших заболоченных территорий на Земле - Пантанал (от порт. *rantano* - «болотистая низина, влажная низменность»). Это обширная заболоченная тектоническая впадина в Бразилии. Общая площадь составляет приблизительно 150-195 тыс. км<sup>2</sup>.

Более 70% болот земного шара находятся на территории России. Наибольшее количество сосредоточено в северных и северо-западных районах, где заболоченность достигает 30 - 40%.

*Васюганские болота* расположены в Западной Сибири, в междуречье Оби и Иртыша, на территории Васюганской равнины. Площадь болот 53 тыс. км<sup>2</sup>. Протяжённость с запада на восток - 573 км, с севера на юг - 320 км.

### **Типы и эволюция болот**

По местоположению, особенностям питания и растительности выделяют *низинные, верховые, переходные и болота приморских низин*.

**Низинные болота (эвтрофные)** располагаются в понижениях рельефа, часто занимая заболоченные котловины бывших озёр.

Встречаются во всех природных зонах от тундры до пустынь и на разных высотах от побережий до высокогорий.

В питании низинных болот главную роль играют грунтовые воды, обогащенные растворенными минеральными компонентами. Это способствует развитию богатой

растительности (эвтрофной). Это зеленые мхи, тростники, осоки, а также древесно-кустарниковая растительность (береза, ольха).

Эвтрофы (др.-греч. - «хорошо» и др.-греч. трофп - «питание») - растения, обитающие на плодородных почвах с высоким содержанием гумуса и элементов минерального питания.

Низинные болота часто образуются на месте озерных водоемов, постепенно зарастающих и заболачивающихся. В мелководной части озера с плоским дном и пологими берегами поселяется влаголюбивая растительность, закономерно сменяющаяся по глубине.

Наиболее мелководной является осока, на глубине 1 - 2 м живет тростник, на глубине 2 - 3 м - камыш, а на глубине 4 - 5 м - подводные рдесты и водяные лилии.

Отмирающая растительность падает на дно водоема, накапливается и подвергается слабому разложению вследствие недостатка в воде кислорода. По мере обмеления озера растительность захватывает новые пространства, прибрежные растения продвигаются ближе к центру водоема, сохраняя ту же последовательность. Все виды растительности образуют торф соответственного состава (рис. 15.9).

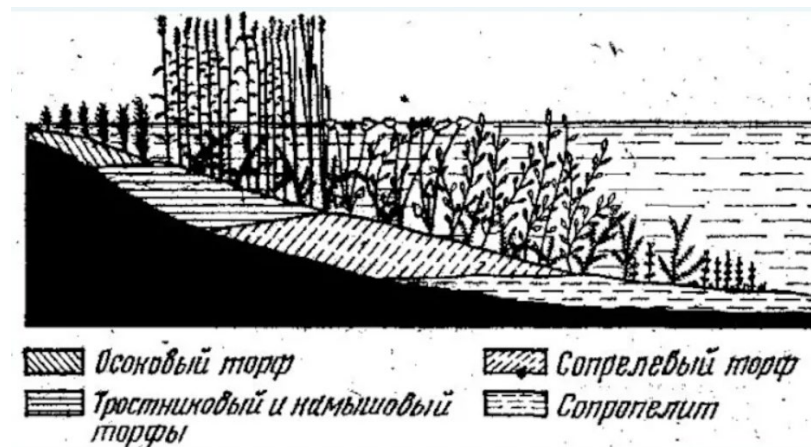


Рис. 15.9. Схема зарастания озера и образования торфа

В озерах с крутыми берегами в местах, защищенных от ветра и волнений, с берега на поверхность воды нарастает ковер из мхов и некоторых цветковых растений с мощными корневищами.

Образуется *сплавина* - плавающий на воде «ковёр» растительности. Сплавина разрастается, от её нижней поверхности отрываются куски торфа.

На дне накапливается мощный слой полужидкого ила. Постепенно водоём заполняется, а с поверхности его покрывает сплошной слой сплывины, в котором просвечивают «окна» - участки, где сплавина очень тонка (*зыбун*) (рис. 15.10).



Рис. 15.10. Образование торфа

**Верховые болота (олиготрофные)** приурочены к слабовогнутым участкам водоразделов, пологим склонам возвышенностей, речным террасам. Основную роль в их питании играют атмосферные осадки, поскольку грунтовые воды обычно залегают здесь глубоко.

Атмосферная влага бедна минеральными солями, поэтому в таких болотах развивается малотребовательная к содержанию питательных веществ растительность (олиготрофная), среди которой преобладает важнейший торфообразователь *сфагновый мох*.

*Олиготрофы* - группа растений и микроорганизмов, обитающих на почвах (или в водоёмах) с низким содержанием питательных веществ.

**Болота переходного (мезотрофного) типа** имеют смешанное питание - атмосферными осадками и подземными водами. Обычно располагаются широкой полосой по окраинам верховых болот. Развита сфагново-осоковая мезотрофная растительность на бедном минеральном субстрате.

**Болота приморских низин** располагаются на низменных морских побережьях во влажных субтропиках и тропиках. Питание их главным образом атмосферное. Приморские болота занимают обширные пространства и во время приливов периодически заливаются водой.

Кроме того, существуют так называемые **лесные болота** с преобладанием древесных растений, корневая система которых приспособлена к длительному существованию под водой. Пример: мангровые заросли тропиков.

Мангровые болота распространены в Южной Азии, Африке, Австралии, на островах Тихого океана, в Новой Гвинее, в дельтах рек Ганга, Брахмапутры, Нигера и других местах тропиков и влажных субтропиков.

### 15.6. Отложения болот

В болотах терригенные осадки практически отсутствуют. Накапливаются органогенные и в значительно меньшей степени хемогенные осадки.

*Хемогенные осадки* образуются в болотах в очень небольшом количестве. Связаны с приносом соответствующих компонентов подземными водами.

В низинных болотах, питающихся жесткими грунтовыми водами с большим количеством карбонатов кальция, образуются линзы известняков (болотная известь) и мергелей.

Из растворенных железистых соединений в восстановительной среде формируются болотные железные руды сидеритового состава, а в окислительной - бурые железняки.

### **Органогенные отложения**

*Торф* образуется из остатков различной болотной растительности, мхов, трав, кустарников и деревьев. Важнейшую роль играет клетчатка растений, состоящая из углерода, водорода, кислорода и азота.

В болотах вследствие накопления значительных толщ органических остатков доступ воздуха ограничен. Преобразования органической массы происходят при ограниченном доступе или без доступа кислорода.

В верхних частях бассейнов при ограниченном доступе воздуха растительный материал частично преобразуется в перегной, или гумус (лат. humus «земля, почва»).

В нижних частях бассейнов при полном отсутствии кислорода и в среде деятельности анаэробных бактерий перегнивающая растительная масса преобразуется в торф.

Медленный процесс гниения, происходящий без доступа воздуха и ведущий к образованию торфа, называют гумификацией.

В ходе него происходит постепенное возрастание в породе содержания углерода до 60 %.

Торф – это легкая, пористая порода от бурого до черного цвета, состоящая из легко различимых частично разложившихся растительных остатков, перемешанных с глиной и песком.

Структура обычно биодетритовая (биокластовая), волокнистая. Текстура пористая. В зависимости от преобладающего состава растений различают моховой, травяной и древесный виды торфа.

Торф - исходный продукт, из которого в результате дальнейших преобразований при увеличении температуры и давления (диагенез и метаморфизм) образуется большинство углей.

**Ископаемые угли** - все угли торфяного происхождения принято называть гумусовыми (рис. 15.11).



Рис. 15.11. Образование угля

При увеличении давления и повышения температуры из торфа постепенно удаляются летучие компоненты (метан, водород, кислород) и возрастает

Одновременно происходит перестройка микроструктур на молекулярном уровне.

Процесс изменения носит название «углефикация органических веществ». Меняются технологические качества углей, увеличивается их теплотворная способность.

Ископаемые угли различают по степени углефикации органического вещества. Элементарный состав древесины, торфа и углей приведен на рис.15.12.

**Бурый уголь** - твёрдый ископаемый уголь, наиболее молодой из ископаемых углей.

Образуется из торфа при температуре 70-100° С, содержит 60-75 % углерода, имеет бурый до черного цвет, матовый блеск. Текстура однородная или слоистая. Структура аморфная

Включает фрагменты растений, очень мелкие, различимые лишь под микроскопом, но иногда и невооруженным глазом. Дает на бисквите *бурую черту*.

**Каменный уголь** - плотная и хрупкая порода черного цвета с матовым или жирным блеском. Пачкает руки. Содержит 75-92 % углерода

Каменные угли образуются из бурых в результате дальнейшей углефикации при температуре 100-230° С. Структура аморфная. Текстура полосчатая, слоистая, обусловленная многократным чередованием блестящих и матовых разновидностей. Иногда однородная, массивная. *Цвет черты черный*.

**Антрацит** - плотная и твердая порода. Не пачкает руки, не царапается ногтем. Состоит из органического вещества высшей степени углефикации, в котором тонко рассеяны графитовые частицы.

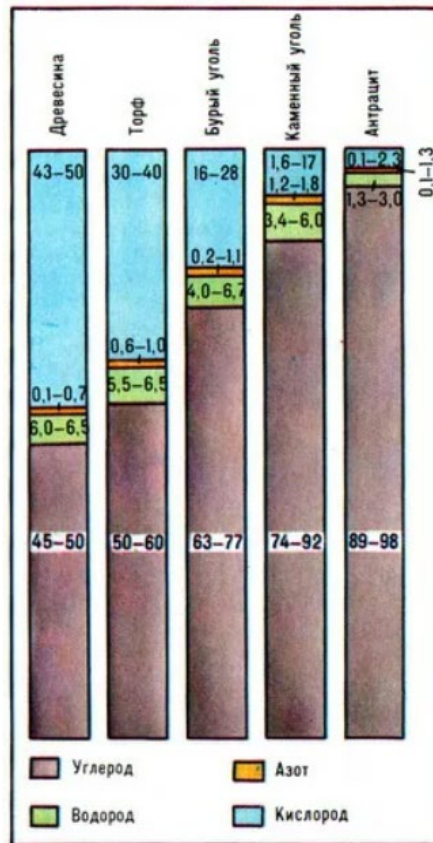


Рис. 15.12. Элементарный состав древесины, торфа и углей

Структура аморфная. Блеск яркий металлический, излом неровный, часто раковистый. Содержит 92 - 98% углерода. Лучший сорт каменного угля, отличающийся чёрным цветом, большой теплотворной способностью.

Антрацит образуется при 250-300° С, может рассматриваться как переходная стадия между каменным углем и графитом. *Цвет черты черный.*

В геологической истории заметное углеобразование стало возможным со второй половины девонского времени (420-359 млн лет назад), когда появилась хорошо развитая растительность, тёплый, мягкий и влажный климат, споровые растения - плауновые, хвощевидные, папоротники и голосеменные растения.

Периоды наиболее интенсивного угленакопления:

- каменноугольный,
- пермский,
- юрский,
- палеогеновый



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ  
МГУ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

*teach-in*  
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ