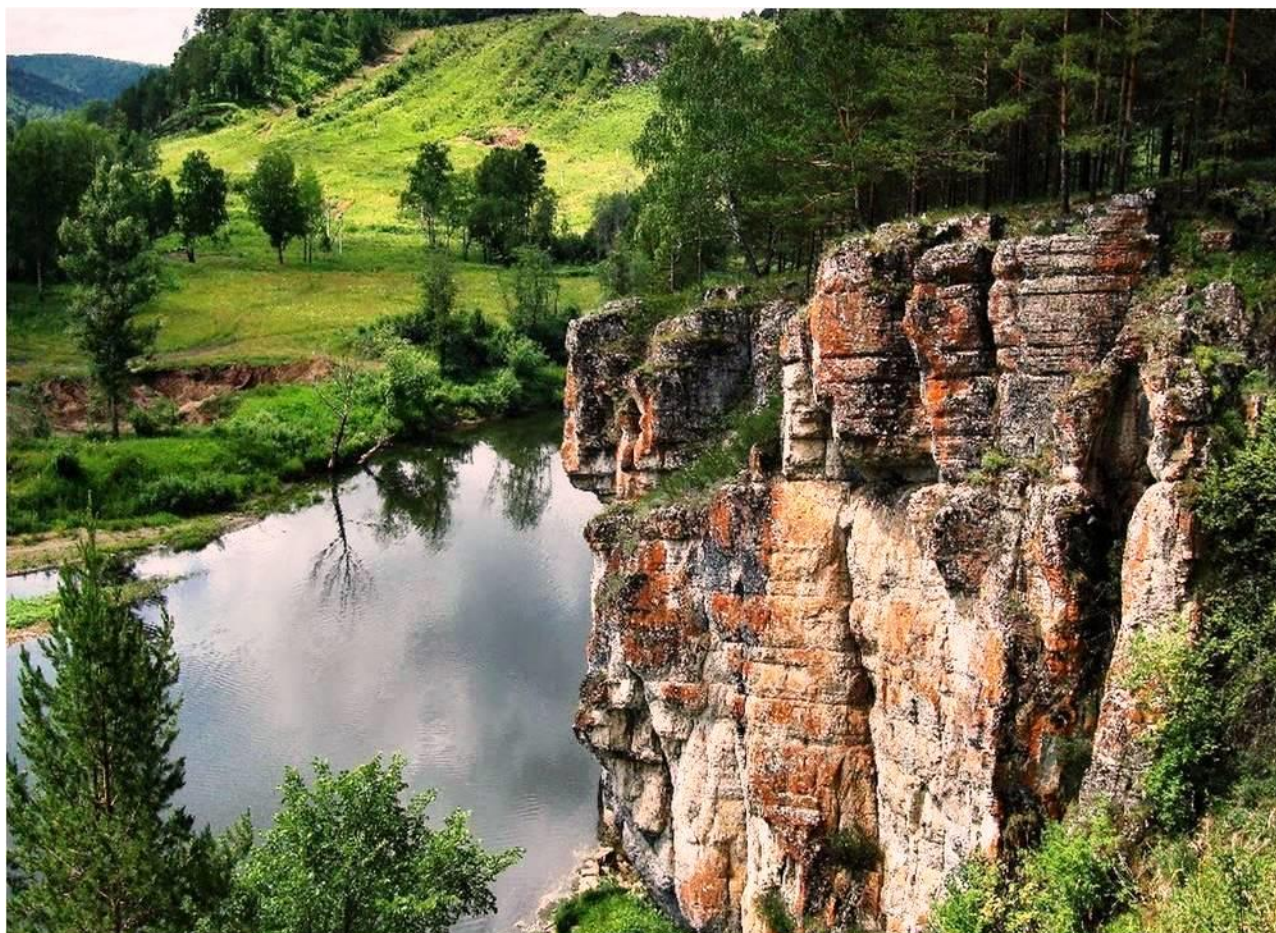


**Р.Ф. АБДРАХМАНОВ, Э.Т. ХАЙДАРШИНА, Л.Р. ЗАГИТОВА**



**ГЕОЛОГИЯ**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Р.Ф. Абдрахманов, Э.Т. Хайдаршина, Л.Р. Загитова

Рекомендовано научно-методическим советом ФГБОУ ВО Башкирский  
ГАУ в качестве учебного пособия для бакалавров по направлениям подготовки  
08.03.01 Строительство, 20.03.02 Природообустройство и водопользование и  
21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

Уфа  
Башкирский ГАУ  
2022

УДК 556(07)  
ББК 26.3(я7)  
А13

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (протокол № 9 от 18.05.2022 г.)

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета  
природопользования и строительства ФГБОУ Башкирский ГАУ  
(протокол № 6 от 14 февраля 2022 г.)

Рецензенты:

С.К. Мустафин – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры  
геологии, гидрометеорологии и геоэкологии  
ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет

Р.А. Миндибаев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
кафедры кадастра недвижимости и геодезии  
ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет

**Абдрахманов Р.Ф.**

А13 **Геология:** учебное пособие / Р.Ф. Абдрахманов, Э.Т. Хайдаршина, Л.Р.  
Загитова - Уфа: Башкирский ГАУ, 2022. – 182 с.

**ISBN 978-5-7456-0808-7**

В настоящем учебном пособии изложены характеристики минералов и горных пород; условия развития геологических процессов и явлений (абразионных, эрозионных, карстовых, оползневых, обвальных, селевых, мерзлотных, сейсмических и т.д.), протекающих в недрах и на земной поверхности, а также возникающих в связи со строительством зданий и сооружений; методы определения гидрогеологических параметров; методы гидрогеологических и инженерно-геологических исследований и оценка результатов при строительстве и природообустройстве.

Для бакалавров по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, 20.03.02 Природообустройство и водопользование и 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование.

© Абдрахманов Р.Ф., Хайдаршина Э.Т., Загитова Л.Р., 2022  
© Башкирский ГАУ, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>стр.</i>
<b>РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ</b>	8
<b>1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ</b>	8
<i>1.1 Форма, размеры и строение Земли.</i>	8
<i>1.2 Физические свойства и тепловой режим Земли.</i>	10
<i>1.3 Распространение химических элементов в земной коре.</i>	11
<b>2. ПОНЯТИЕ О МИНЕРАЛАХ</b>	12
<i>2.1 Общие сведения о минералах.</i>	12
<i>2.2 Образование минералов и их свойства.</i>	13
<i>2.3 Классификация минералов.</i>	21
<b>3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ</b>	31
<i>3.1 Классификация горных пород</i>	31
<i>3.2 Магматические горные породы</i>	32
<i>3.3 Осадочные горные породы</i>	37
<i>3.4 Метаморфические горные породы</i>	41
<b>4. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИЕЙ ЗЕМЛИ</b>	47
<i>4.1 Общие понятия геологических процессов.</i>	47
<i>4.2 Тектонические дислокации горных пород.</i>	48
<i>4.3 Сейсмические явления.</i>	52
<i>4.4 Магматизм, вулканизм, метаморфизм.</i>	55
<i>4.5 Вековые движения земной коры.</i>	56
<i>4.6 Новейшие тектонические движения земной коры.</i>	59
<b>5. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. ВЫВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД</b>	60
<i>5.1 Типы выветривания и их зональность.</i>	60
<i>5.2 Элювий и почвы.</i>	62
<b>6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА</b>	63

<i>6.1 Общие понятия.</i>	63
<i>6.2 Дефляция, коррозия и перенос, аккумуляция.</i>	63
<b>7. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕКУЧИХ ВОД</b>	65
<i>7.1 Понятие о текучих водах.</i>	65
<i>7.2 Работа рек.</i>	66
<b>8. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (РАБОТА) ЛЕДНИКОВ И ЛЬДА</b>	70
<i>8.1 Понятие о ледниках и оледенении.</i>	70
<i>8.2 Ледниковые отложения и их свойства.</i>	70
<i>8.3 Сезонная и многолетняя мерзлота.</i>	73
<i>8.4 Влияние мерзлоты на строительство.</i>	74
<b>9. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ</b>	76
<i>9.1 Деятельность моря.</i>	76
<i>9.2 Морские отношения.</i>	78
<b>10. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВОДЫ В ЗАМКНУТЫХ ВОДОЕМАХ</b>	80
<i>10.1 Понятие о замкнутых водоемах.</i>	80
<i>10.2 Озерные и болотные отложения.</i>	81
<i>10.3 Переработка берегов водохранилищ.</i>	83
<b>РАЗДЕЛ 2. ГИДРОГЕОЛОГИЯ</b>	85
<b>11. ГИДРОСФЕРА</b>	87
<i>11.1 Гидросфера и кругооборот воды в природе.</i>	87
<i>11.2 Виды воды в горных породах.</i>	88
<i>11.3 Свойства горных пород по отношению к воде.</i>	89
<i>11.4 Понятие о зоне аэрации и насыщения.</i>	92
<b>12. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД</b>	93
<i>12.1 Происхождение подземных вод.</i>	93
<i>12.2 Законы фильтрации подземных вод.</i>	93
<i>12.3 Определение направления и скорости движения подземных вод.</i>	96

<i>12.4 Основные гидрогеологические параметры.</i>	97
<b>13. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД</b>	107
<i>13.1 Физические свойства подземных вод.</i>	107
<i>13.2 Реакция воды.</i>	108
<i>13.3 Общая минерализация воды.</i>	108
<i>13.4 Химический состав воды.</i>	109
<i>13.5 Формы выражения химического состава воды.</i>	109
<i>13.6 Оценка пригодности воды для различных целей.</i>	112
<i>13.7 Оценка агрессивности свойств подземных вод.</i>	112
<i>13.8 Формирование химического состава подземных вод.</i>	114
<i>13.9 Зональность подземных вод.</i>	118
<i>13.10 Минеральные воды.</i>	123
<b>14. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД</b>	15
<i>14.1 Карстовые процессы.</i>	125
<i>14.2 Трещиноватость пород.</i>	130
<i>14.3 Суффозия.</i>	136
<b>15. ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД</b>	138
<i>15.1 Оценка запасов подземных вод.</i>	138
<i>15.2 Режим подземных вод.</i>	139
<b>РАЗДЕЛ 3. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ</b>	142
<b>16. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД</b>	142
<i>16.1 Понятие об инженерно-геологических свойствах пород.</i>	142
<i>16.2 Методы изучения инженерно-геологических свойств горных пород.</i>	142
<i>16.3 Основные инженерно-геологические свойства горных пород.</i>	143
<b>17. ЭРОЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ</b>	145
<i>17.1 Определение эрозии.</i>	145
<i>17.2 Виды эрозионных процессов.</i>	145
<i>17.3 Формирование речной долины.</i>	147

<i>17.4 Элементы речной долины.</i>	149
<i>17.5 Продольный профиль реки.</i>	153
<i>17.6 Эрозия и строительство.</i>	154
<b>18. ОПОЛЗНИ</b>	155
<i>18.1 Определение оползня.</i>	155
<i>18.2 Классификации оползней.</i>	157
<i>18.3 Виды оползневых процессов.</i>	158
<i>18.4 Причины возникновения оползней.</i>	159
<i>18.5 Стадии процесса развития оползня.</i>	160
<i>18.6 Последствия оползней.</i>	163
<b>19. ОБВАЛЫ</b>	168
<i>19.1 Определение обвала.</i>	168
<i>19.2 Виды обвалов.</i>	169
<i>19.3 Последствия обвалов.</i>	170
<i>19.4 Борьба с обвалами.</i>	172
<b>20. СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ</b>	175
<i>20.1 Определение селевого потока.</i>	175
<i>20.2 Характеристики селей.</i>	175
<i>20.3 Условия возникновения селей.</i>	176
<i>20.4 Классификация селей.</i>	177
<i>20.5 Защита от селей.</i>	178
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b>	181

## РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

*План:*

*1.1 Форма, размеры и строение Земли.*

*1.2 Физические свойства и тепловой режим Земли.*

*1.3 Распространение химических элементов в земной коре.*

*1.1 Форма, размеры и строение Земли.*

Земля является одним из бесчисленных небесных тел, рассеянные в безграничном пространстве Вселенной. Солнечная система, к которой принадлежит Земля, представляет собой сравнительно небольшой участок Вселенной, примыкающий к огромному по своим размерам и массе центральному телу системы – Солнцу. Вокруг него по определенным орбитам вращается множество гораздо мелких тел. В зависимости от их физического состояния, размеров и массы среди них различаются относительно однородные тела – планеты с их спутниками и малые тела, к которым относятся астероиды, кометы, метеориты, космическая пыль и газы.

Планеты (от греческого – блуждающие) вращаются вокруг Солнца по орбитам, близким к круговым и лежащим почти в одной плоскости. В солнечной системе девять планет (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон).

Меркурий, Венера, Земля, Марс – планеты земной группы. Расстояние от Земли до Солнца – 149,5 млн. км.

Земля имеет форму шара сплюснутая с полюсов близкая к эллипсоиду вращения. Большая ось эллипсоида составляет 12756 км и малая 12714 км (разница 42 км).



Земной шар имеет следующие размеры: длина меридиана – 40009 км, длина экватора – 40076 км, площадь поверхности – 510 млн. км<sup>2</sup>, объем 1080000 км<sup>3</sup>.

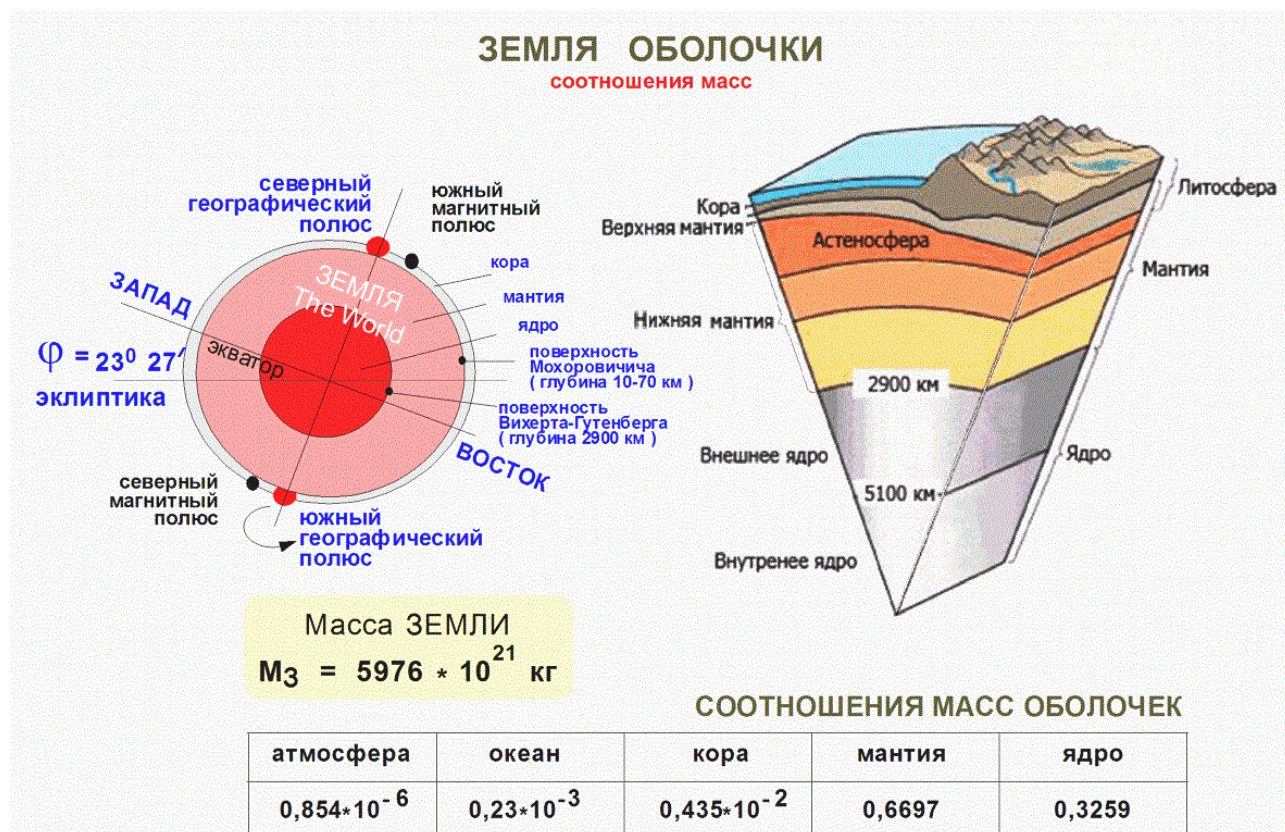


Рисунок 1 – Строение Земли

Геофизические исследования позволили установить неоднородность строения Земли. В настоящее время принято считать, что Земля состоит из ряда геосфер. В их число входит атмосфера, гидросфера, литосфера и биосфера – сфера жизни. Литосфера или земная кора имеет мощность до 20-50 км под океанами и 50-80 км под материками.

Земная кора включает три концентрические зоны:

1. осадочная;
2. гранитная;
3. базальтовая.

Первая сложена осадочными породами с плотностью до 2,5 г/см<sup>3</sup>, которые покрывают поверхность материков прерывистым слоем средней мощности 1,5 км.

Гранитная зона сложена кислыми магматическими породами с плотностью 2,6-2,7 г/см<sup>3</sup> мощностью от 10-50 на материках до 0 под океанами.

Базальтовая зона сложена основными и ультраосновными магматическими породами плотностью 2,8-2,9 г/см<sup>3</sup> мощностью до 30 км. Местами на океаническом дне они выходят на поверхность.

Под земной корой залегает мантия мощностью 2900 км, сложенная ультраосновными магматическими породами плотностью пород 4-6 г/см<sup>3</sup>.

Центральную часть земли составляет ядро радиусом – 3500 км, плотностью вещества 6-11 г/см<sup>3</sup>. Состоит из железа и никеля.

Непосредственному изучению подвергнута только земная кора мощностью 7-10 км. На Кольском полуострове пробуривается скважина глубиной 13 км при проектной глубине 15 км. Бурение этой скважины значительно изменило наши представления о строении земной коры.

Возраст Земли, как планеты, определяют примерно в 4,55 + 0,05 млрд. лет. Близок к нему и возраст лунных пород – до 3,0 ... 4,9 млрд. лет. Человечество существует около 2 млн. лет, цивилизация – несколько тысячелетий.

### ***1.2 Физические свойства и тепловой режим Земли.***

Тепловой режим Земли определяется влиянием двух источников тепла – внешнего, в виде солнечной энергии, и внутреннего, в виде, главным образом, процессов радиоактивного распада элементов.

По особенностям теплового режима в земной коре выделяются три основные зоны:

I – зона сезонных колебаний (мощность 12-15 м) или зона зимнего (сезонного) промерзания. Если в этой зоне находятся глинистые породы, то промерзание сопровождается увеличением их объема – пучением.

II – зона постоянной температуры – здесь сохраняется постоянная 5-6°, равная среднегодовой температуре на поверхности земли.

III – зона с возрастающей температурой. Интенсивность этого повышения характеризуется понятием о геотермической ступени, показывающая, на сколько метров надо спуститься вглубь, чтобы температура повысилась на 1°. Средняя величина геотермической ступени составляет 33 м. По территории Республики Башкортостан она колеблется от 50-60 до 100-110 км. В ядре земли температура равна 3000-5000 °С.

Магнитные свойства. Земля определяется существованием вокруг нее магнитного поля, которое способствует сохранению органической жизни.

### ***1.3 Распространение химических элементов в земной коре.***

В земной коре лишь немногие элементы из таблицы Менделеева имеют широкое распространение – это кислород, кремний, железо, алюминий, магний. Содержание остальных элементов составляет 3%.

#### ***Контрольные вопросы:***

- 1. Форма, размеры и строение Земли.*
- 2. Какие три концентрические зоны включает земная кора?*
- 3. Физические свойства и тепловой режим Земли.*
- 4. Какие химические элементы распространены в земной коре?*

## 2. ПОНЯТИЕ О МИНЕРАЛАХ

*План:*

*2.1 Общие сведения о минералах.*

*2.2 Образование минералов и их свойства.*

*2.3 Классификация минералов.*

*2.1 Общие сведения о минералах.*

Минералы – это природные химические соединения, возникшие при различных химических и физико-химических процессах, протекающих в земной коре. Они являются составными частями горных пород. В настоящее время известно более 3000 минералов. Из них в образовании горных пород принимают участие около 25, называемых породообразующими.

Минералы бывают газообразными (пар водяной, углекислота, сероводород); жидкими (вода, ртуть); основное количество минералов – твердые (лед, кварц и т.д.). Почти все твердые минералы имеют кристаллическое строение, которое характеризуется закономерным расположением атомов, ионов и молекул в узлах пространственной кристаллической решетки. Внешние некие кристаллы имеют форму различных многогранников и характеризуются симметрией.

Аморфные минералы характеризуются беспорядочным расположением ионов и атомов. Коллоидные минералы состоят из дисперсных частиц диаметром  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  мм. Эти минералы обладают большой поверхностной энергией и способны адсорбировать на своей поверхности молекулы воды, катионы и анионы. Эта сорбция обычно рассматривается как поглощение, в связи, с чем некие ионы носят наименование поглощённых. Поглощённые ионы способны к обмену с ионами растворов, окружающих частиц. Это послужило основанием для их наименования обменными. Процессы обмена лучше всего изучены в отношении положительно заряженных ионов, в том числе катионов

(катионный обмен). Емкость поглощения катионов измеряется в миллиграмм – эквивалентах на 100 г частиц.

## ***2.2 Образование минералов и их свойства.***

Образование минералов происходит в земной коре, в водной сфере, на поверхности земли и в атмосфере. Минералы формируются под воздействием самых разнообразных процессов, протекающих в толще земной коры и на ее поверхности. По источнику энергии, за счет которой они происходили, их можно разделить на две главные генетические группы:

1) **Эндогенные** («изнутри рожденные»), образующиеся внутри земной коры, при высоких давлениях и высокой температуре, из магмы или при ее воздействии на окружающие породы.

Магма представляет собой сложный природный высокотемпературный, насыщенный газами силикатный расплав, возникающий в виде отдельных очагов в глубоких зонах Земли при изменении физико-химической обстановки (давления, температуры и т. п.). Магма, излившаяся на поверхность, называется лавой.

2) **Экзогенные** («извне рожденные»), образующиеся при процессах, протекающих на поверхности Земли за счет внешних факторов, при низких температурах и давлениях, в условиях взаимодействия физических и химических агентов – атмосферы, гидросферы и биосферы.

Минеральные массы как эндогенного, так и экзогенного происхождения при изменившихся внешних условиях претерпевают разнообразные изменения.

Различают следующие типы генезиса минералов:

1. **Магматический.** Минералы образуются из магмы при медленном ее остывании и кристаллизации на больших глубинах в земной коре или при излиянии и застывании ее на поверхности. Таким путем образуются главнейшие породообразующие минералы – силикаты, кварц, а также многие рудные минералы.

**2. Метаморфический.** Минералы образуются в результате воздействия на твердые горные породы таких факторов, как высокая температура, высокое давление, газы и пары воды. Различают минералы контактного метаморфизма, т. е. минералы, образующиеся при изменении горных пород в зоне непосредственного контакта с магмой; в первой стадии процесса эти минералы оказываются результатом исключительно теплового воздействия. По мере застывания магмы из нее начинают выделяться газообразные компоненты – соединения различных металлов, которые в свою очередь образуют в контактных зонах ряд минералов; часто они имеют большое практическое значение. Примером могут служить ценнейшие месторождения железных руд, преимущественно магнитного железняка, на Урале.

При взаимодействии газовых компонентов с горными породами наблюдается явление метасоматоза – т. е. процесс замещения одних минералов и горных пород другими.

**3. Гидротермальный.** Минералы образуются из восходящих горячих водных растворов, которые возникают в результате сжижения паров воды и газов, выделяющихся из магмы при ее остывании и кристаллизации в глубине. Горячие водные растворы при проникновении в трещины земной коры оказываются в условиях более пониженной температуры и давления, вследствие чего из них выпадают минералы. Так образовались в земной коре многие гидротермальные жилы, сложенные обычно кварцем, кальцитом, флюоритом.

**4. Пневматолитовый.** Минералы образуются на глубине при последних стадиях кристаллизации магмы, когда из нее выделяются пары воды, частью диссоциированные на ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , и газы  $HF$ ,  $HO$ ,  $H_2S$  и летучие соединения  $B$ ,  $P$ ,  $S$  и  $C$ , поднимающиеся по трещинам в земной коре. В этом случае при участии газообразных компонентов образуются некоторые типичные минералы (оловянный камень).

К явлениям пневматолитового минералообразования можно также отнести образование минералов из летучих соединений некоторых вулканов –

самородная сера, минералы бора и др., являющиеся не чем иным, как продуктами возгона (сублимации).

**5. Гипергенный.** Минералы образуются вблизи или на поверхности Земли в результате сложных процессов, обусловленных взаимодействием гидросферы, атмосферы, биосферы и литосферы. Здесь можно выделить несколько типов минералообразования:

а) образование минералов при процессах выветривания, когда под влиянием колебаний температуры, воды, воздействия углекислоты, кислорода прежде созданные минералы и горные породы разрушаются и за счет их образуются новые. Примером является образование каолина за счет полевых шпатов и лимонита в зонах окисления других железистых соединений (сульфидов, карбонатов, окислов).

б) образование минералов в морях, озерах и болотах. В морские, озерные водоемы и болота привносится поверхностными водотоками большое количество разнообразных веществ, которые при благоприятных условиях откладываются на дне их. Часто этот процесс протекает при содействии особых бактерий, способных усваивать те или иные вещества и концентрировать их в своем теле. Примером подобного минералообразования являются некоторые месторождения озерных и болотных железных руд (лимонита), а также месторождения бурого железняка в приустьевых частях моря, где происходит коагуляция железистых взвесей при соприкосновении пресной речной воды с соленой морской.

В морских водоемах образуются, кроме того, марганцевые руды, кальцит, фосфорит и другие минералы.

в) образование минералов в лагунах (отчлененных от моря заливах) и соленых озерах. Здесь путем химического осаждения образуются гипс, поваренная соль, калийные соли, глауберова соль. Примерами являются залив Каспийского моря – Кара-Богаз-Гол, где происходит образование глауберовой соли, и озер Эльтон и Баскунчак, в которых осаждается каменная соль.

Минералы в зависимости от происхождения, химического состава и природных условий различаются по:

1) морфологическим особенностям, характеризующую форму выделения минералов (изометричные – имеющие близкие размеры во всех направлениях: кубы (галенит, пирит), тетраэдры (сфалерит), октаэдры (магнетит), бипирамиды (цирион), ромбододекаэдры (гранит), ромбоэдры (кальцит); вытянутые – в одном направлении – призматические, столбчатые, игольчатые, волокнистые (турмалин, берилл и др.). Вытянутые в двух направлениях – таблитчатые, листоватые, чешуйчатые (слюды, хлориты).

2) оптическим свойствам: прозрачность, цвет, блеск.

Прозрачность делится на: прозрачные (горный хрусталь, топаз, кварц, галит), полупрозрачные (гипс, сфалерит, киноварь), непрозрачные (пирит, графит).

**Цвет** – это важный диагностический признак. Окраска минералов чрезвычайно разнообразна; встречаются все, различаемые глазом цвета и их оттенки. Известны белые минералы (молочный кварц, каолинит), желтые (сера, янтарь), зеленые (малахит), синие (лазурит), красные (рубин, киноварь), фиолетовые (флюорит, аметист), золотистые (пирит), бурые (лимонит), черные (графит, антрацит) и т. д. с множеством оттенков и сочетаний.

Нередко минералы в мелкораздробленном состоянии имеют иной цвет, чем в куске. Так, например, пирит в куске – золотисто-желтый, в порошке – черный. Для распознавания минералов имеет иногда значение различие в цвете самого минерала и черты, которые он оставляет на белой фарфоровой шероховатой пластинке, для чего достаточно провести по пластинке острым концом минерала. Так, золотисто-желтый пирит оставляет черную черту, бурый лимонит – желтую, черный гематит – красную черту.

**Блеск.** Различают следующие виды блеска минералов: стеклянный (кварц), алмазный, металлический (пирит), металловидный (ильменит), жирный (тальк), восковой (халцедон), шелковистый (селенит), матовый — при практическом отсутствии блеска (каолин).



### 3) Механические свойства.

**Спайность.** Многие минералы обладают способностью легко раскалываться по некоторым, строго ориентированным направлениям, зависящим от особенностей кристаллической решетки. Так, галит (каменная соль) раскалывается вдоль граней куба, слюда расслаивается на тончайшие листочки по направлению, перпендикулярному к единственной двойной оси симметрии ее пластинчатых кристаллов, и т. д. Это свойство минералов именуется спайностью. Обычно различается пять степеней совершенства спайности.

1. Весьма совершенная спайность. Кристалл может делиться на тончайшие листочки (слюда, гипс, графит).

2. Совершенная спайность. При ударе молотком по кристаллу очень трудно получить неровный излом (кальцит).

3. Средняя спайность. На кусках минералов отчетливо наблюдаются как плоскости спайности, так и неровные изломы (полевой шпат, авгит, роговая обманка).

4. Несовершенная спайность. Плоскостей спайности почти не видно, излом кусков неровный (апатит).

5. Весьма несовершенная спайность. Спайность практически не наблюдается, излом обычно раковистый (кварц).





















Наличие или отсутствие спайности всецело зависит от строения кристаллической решетки данного минерала и взаимосвязей между частицами, слагающими эту решетку.

**Твердость.** Под твердостью понимают сопротивление, которое оказывает данное вещество проникновению в него более прочного вещества. Для определения величины этого сопротивления или противодействия предложены различные способы – царапание, статического вдавливания, ударной пробы, шлифования, затухающих колебаний, сверления и др.

Шкал Мооса (минералогическая шкала твердости) — набор эталонных минералов для определения относительной твердости методом царапания. В качестве эталонов приняты 10 минералов, расположенных в

порядке возрастающей твёрдости. Предложена шкала в 1811 году немецким минералогом Фридрихом Моосом. Значения шкалы от 1 до 10 соответствуют 10 достаточно распространённым минералам от талька до алмаза. Этот метод заключается в том, что испытываемый минерал сравнивается с некоторыми эталонными образцами путем царапания: минерал считается более твердым, чем другой, если этот последний царапается первым, т. е. если при проведении острым углом первого минерала по грани второго на втором остается царапина. Ф. Моос предложил список из распространенных минералов, которые расположены в порядке возрастания твердости и составляют шкалу твердости Мооса (таблица 2). Цифры, выражающие твердость в этой шкале, носят лишь относительный характер. В таблице 2 приведена шкала Мооса и соответствующие каждому минералу цифры. Шкала Мооса практически очень удобна и помогает распознавать минералы при макроскопическом исследовании.

Таблица 2 - Твердость минералов

Твёрдость по Моосу	Эталонный минерал	Абсолютная твёрдость	Изображение	Обрабатываемость	Другие минералы с аналогичной твердостью	Аналоги строительных материалов «мягче-тверже»
1	Тальк $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1		Царапается ногтем	Графит	 Мел
2	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3		Царапается ногтем	Галит, хлорит	 Газобетон
3	Кальцит $CaCO_3$	9		Царапается медной монетой	Биотит, золото, серебро	 Кирпич силикатный
4	Флюорит $CaF_2$	21		Царапается ножом, оконным стеклом	Доломит, сфалерит	 Кирпич
5	Апатит $Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$	48		Царапается ножом, оконным стеклом	Гематит, лазурит	 Кирпич
6	Ортоклаз $K(AlSi_3O_8)$	72		Царапается напильником	Опал, рутил	 Стекло
7	Кварц $SiO_2$	100		Поддается обработке алмазом, царапает стекло	Гранат, турмалин	 Напольная плитка
8	Топаз $Al_2SiO_4(OH, F)_2$	200		Поддается обработке алмазом, царапает стекло	Берилл, шпинель, аквамарин	 Керамогранит
9	Корунд $Al_2O_3$	400		Поддается обработке алмазом, царапает стекло	Сапфир, рубин	 $Al_2O_3$
10	Алмаз C	1600		Режет стекло		

**Излом.** Характер излома минерала определяют в тех случаях, когда излом происходит не по плоскостям спайности. Излом бывает раковистым, занозистым, крючковатым, землистым, ровным, зернистым и др.

Многие минералы различаются не только по основным физическим свойствам, но и по вкусу, запаху, ощущению при осязании, температуре плавления, хрупкости, упругости, флюоресценции, а также по магнитным, оптическим, электрическим и радиоактивным свойствам.

### **Хрупкость, ковкость, упругость.**

При механических нагрузках (удар, давление, изгиб, резка и т. д.) образцы минералов могут вести себя неодинаково. Некоторые легко выдерживают ударную нагрузку, не поддаваясь деформации, другие относительно легко гнутся или меняют форму, но плохо раскалываются, третьи деформируются при ударе, но быстро возвращаются к первоначальной форме после снятия нагрузки и т. п.

Если образец минерала ударить молотком или поцарапать, то образующийся в результате микрорасколов порошок, крошки и осколки могут разлетаться в разные стороны или оставаться рядом с местом приложения нагрузки. В первом случае минерал считается *хрупким* (кварц, шпаты, алмаз), во втором - *мягким* (тальк, гипс).

Хрупкие минералы могут обладать высокой твердостью (например, алмаз), но плохо переносят ударные нагрузки, разрушаясь. Хрупкость отрицательно отражается на таком свойстве, как прочность (не следует путать с твердостью), что ограничивает возможности применения некоторых минералов в различных хозяйственных областях.

Если при царапании или ударе порошок не образуется, минерал называется *ковким* (самородная медь, железо).

*Пластичными* считаются минералы, которые можно расплющить ударом, при этом меняется форма образца, но сам он не разрушается на осколки (самородные металлы, хлорит).

Если после снятия нагрузки образец обретает первоначальную форму, то такой минерал считается *упругим* (мусковит, биотит). Если образец легко поддается изгибу, не возвращаясь к первоначальной форме после снятия нагрузки, то такой минерал считается *гибким*.

#### 4) Прочие свойства.

**Удельный вес** – это частное от деления веса на объем. Удельный вес колеблется от значений меньших 1 (газы) до 20-23 (золото, платина, иридий).

Удельный вес минералов обычно колеблется в пределах от 2 до 10, хотя встречаются минералы и с меньшей плотностью, чем 2 (асфальт), и с большей, чем 10 (серебро, золото). Удельный вес наиболее распространенных минералов и горных пород колеблется в пределах от 2,5 до 3,5.

#### **Магнитность.**

Магнитность – это свойство некоторых минералов действовать на магнитную стрелку или притягиваться магнитом. Для определения магнитности используют магнитную стрелку, помещенную на остром штативе, или магнитную подковку, брусок. Очень удобно также пользоваться магнитной иглой или ножом.

При испытании на магнитность возможны три случая:

а) когда минерал в естественном виде («сам по себе») действует на магнитную стрелку,

б) когда минерал становится магнитным лишь после прокаливания в восстановительном пламени паяльной трубки

в) когда минерал ни до, ни после прокаливания в восстановительном пламени магнитности не проявляет. Для прокаливания в восстановительном пламени нужно брать мелкие кусочки величиной 2-3 мм.

#### **Радиоактивность.**

Радиоактивность выражается в способности атомных ядер спонтанно испускать элементарные частицы, меняя свой заряд и массовое число. Многие минералы, содержащие такие элементы как ниобий, тантал, цирконий, редкие земли, уран, торий часто имеют довольно значительную радиоактивность,

легко обнаруживаемую даже бытовыми радиометрами, которая может служить важным диагностическим признаком. Для проверки радиоактивности сначала измеряют и записывают величину фона, затем минерал подносят, возможно, ближе к детектору прибора. Увеличение показаний более чем на 10-15% может служить показателем радиоактивности минерала.

### ***2.3 Классификация минералов.***

Огромное множество минералов (свыше 3 тыс.) естественно распадается на ряд групп. Можно предложить классификацию минералов по признакам единства происхождения (генетическая классификация), географического размещения (географическая классификация), пространственного распределения (геохимическая классификация), структурных особенностей, практического использования и т. п.

Все минералы объединяются в 13 классов:

***Класс 1 – Оксиды и гидроксиды.***

***Класс 2 – Карбонаты.***

***Класс 3 – Сульфаты.***

***Класс 4 – Галоиды.***

***Класс 5 – Силикаты и амоносиликаты.***

***Класс 6 – Самородные химические элементы.***

***Класс 7 – Сульфиды*** (сернистые соединения различных металлов).

***Класс 8 – Титанаты.***

***Класс 9 – Нитраты*** (селитра, натровая селитра).

***Класс 10 – Хроматы, вольфраматы, молибдаты.***

***Класс 11 – Фосфаты*** – апатит, бирюза.

***Класс 12 – Бораты.***

***Класс 13 – Органические вещества.***

### ***Породообразующие минералы.***

Минералы, принимающие участие в строении горных пород, называются породообразующими. Наиболее распространены среди них минералы, содержащие кремниевые кислоты (класс 5 – силикаты), кальцит (класс 2 – карбонаты), кварц (класс 1 – оксиды), гипс (класс 3- сульфаты).

Наиболее распространены в земной коре силикаты до 75%, оксиды – 17%, карбонаты – 1,7 %, сульфаты – 0,4 % и др. Среди силикатных минералов – полевые шпаты. Они составляют 60 % магматических и 30 % метаморфических пород.

Основными породообразующими минералами являются только следующие группы:

***Класс 1 – Оксиды и гидроксиды*** – соединения различных элементов с кислородом, а в гидроксидах присутствует также вода – оксид кремния – кварц  $\text{SiO}_2$ , опал, корунд, гематит (красный железняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), касситерит (оловянный камень), магнетит (магнитный железняк  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), лимонит (бурый железняк).

Соединения металлов с кислородом (оксиды) составляют обширный класс минералов, включающий распространенные и практически важные минеральные виды. Все устойчивые в условиях темной коры оксиды нерастворимы в воде и слабо поддаются выветриванию.

Существуют оксиды простые и сложные (содержат атомы нескольких элементов), безводные и гидроксиды. Кроме этого, по составу класс делят на две большие группы; в первую группу входят оксиды и гидроксиды кремния (кварц, халцедон, опал), во вторую - оксиды и гидроксиды металлов (железа, марганца, хрома, алюминия и др.). Во вторую группу входят такие минералы как корунд (ювелирные разновидности - рубин и сапфир), гематит и др.

Безводные оксиды (кварц, корунд, касситерит, рутил и др.) образуются преимущественно при эндогенных процессах; а водные оксиды - в экзогенных условиях при выветривании горных пород, руд и переотложении продуктов их выветривания.

**Класс 2 – Карбонаты** – кальцит, магнезит, доломит, сидерит, малахит, азурит.

Минералы этого класса - соли угольной кислоты ( $H_2CO_3$ ) широко распространены в земной коре (около 100 видов), что обусловлено высоким содержанием в коре кислорода, углерода и связанных с ними металлов (железо, кальций, марганец, магний).

В классе карбонатов различают безводные (простые и сложные) и водные карбонаты. Сложные безводные карбонаты представляют собой двойные углекислые соли различных металлов, а водные (гидрокарбонаты) содержат в решетке гидроксилы или кристаллизационную воду.

Из общих для всех карбонатов особенностей следует отметить невысокую твердость (кальцит входит в шкалу Мооса на третьей позиции), повышенную растворимость в разбавленных кислотах, обычно хорошую спайность.

Многие карбонаты бесцветны и прозрачны. Исключение составляют гидрокарбонаты меди, окрашенные в яркие синие (азурит) и зеленые (малахит) цвета.

Большинство карбонатов имеет экзогенное происхождение, широко распространены карбонаты гидротермального происхождения при средних и низких температурах приповерхностных условий.

Минералы класса карбонатов имеют широкое практическое применение в металлургии, химической промышленности, оптике, в ювелирном деле, а также в качестве красивого отделочного и декоративного материала.

**Класс 3 – Сульфаты** – барит, целестин, ангидрит, гипс, мирабилит, алунит и др.

Природные сульфаты - соли серной и сернистой кислот - известны для многих металлов (Ca, Ba, Sr, Na, K и др.) весьма многочисленны и пользуются широким распространением. Характеризуются они малой устойчивостью, небольшой твердостью и легкой растворимостью.

Это объясняется крупными размерами комплексного аниона  $[\text{SO}_4]_2$ , который образует устойчивые кристаллохимические структуры с катионами с большими ионными радиусами,

Различаются простые, сложные и водные сульфаты. Они образуются как при эндогенных (барит), так и при экзогенных (большинство сульфатов) процессах. В последнем случае различают сульфаты осадочного происхождения (усыхающие озера, лагуны, заливы и т.п.) как, например, гипс, мирабилит и др., а также гипергенные сульфаты, образующиеся в зоне окисления рудных месторождений цветных металлов.

Большинство сульфатов окрашены в белые цвета или бесцветны (гипс, ангидрит), голубая окраска характерна для целестина, в яркие зеленоватые цвета окрашены минералы, содержащие медь.

Сульфаты добываются для технических целей (гипс, барит), для химической промышленности (мирабилит) и как руды марганца и др.

**Класс 4 – Галоиды** – хлорид натрия - галит (поваренная соль), хлорид калия - сильвин, флюорит.

Класс галоидов включает в себя около 100 минералов, представляющих собой хлориды и фториды металлов - соли соляной и плавиковой кислот.

Наибольшее распространение в природе имеют хлориды калия (сильвин), натрия (галит) и магния (карналлит), которые образуются в результате осаждения из морских вод в жарком и сухом климате. В месторождениях ископаемых солей хлориды образуют мощные залежи каменной и калийной солей в толщах осадочных пород. В жизни человека хлориды превосходят все другие минеральные виды, за исключением воды.

Хлориды гигроскопичны, хорошо растворяются в воде, обладают сильным соленым или горько-соленым вкусом, совершенной спайностью, низкой твердостью и небольшим удельным весом.

В отличие от хлоридов, фториды не образуют в земной коре больших скоплений, встречаются редко, образуются главным образом в гидротермальных и пневматолитовых жилах, т.е. имеют эндогенное



происхождение. Наиболее распространенным минералом фторидов является флюорит ( $\text{CaF}_2$ ), который занимает четвертую позицию в шкале твердости Мооса, служит сырьем для получения фтора.

Хлориды всегда присутствуют в подземных и поверхностных водах и являются основными источниками засоления почв, что существенно снижает их продуктивность.

**Класс 5 – Силикаты и амосиликаты** – оливин, циркон, гранат, топаз, турмалин, берилл, родонит, роговая обманка, тальк, серпентин, каолинит, биотит - слюда, мусковит, полевые шпаты.

Минералы этого класса представляют собой солеобразные природные химические соединения, содержащие  $\text{SiO}_2$ . Основу кристаллохимической структуры силикатов составляет кремнекислородный тетраэдр  $[\text{SiO}_4]_4$ , в центре которого находится ион кремния. Иногда часть атомов (ионов) кремния замещается ионами алюминия, и такие минералы называются алюмосиликатами.

Силикаты - наиболее распространенные природные неорганические соединения: они составляют 75-80% всей земной коры и более 30% всего количества известных минералов. Большинство породообразующих минералов - силикаты; существенно силикатный состав имеют все изверженные и подавляющее большинство осадочных и метаморфических горных пород.

Подавляющее большинство силикатов имеет магматическое или метаморфическое происхождение.

Строение кристаллических решеток силикатов сложно и разнообразно, поэтому класс силикатов делится на несколько подклассов, объединяющих минералы сходного строения и свойств. В их числе 1) островные, 2) кольцевые, 3) цепочечные, 4) слоистые и 5) каркасные силикаты.

1) Островные силикаты. В этот подкласс входят минералы (оливин, гранат, топаз и др.), решетка которых состоит из изолированных кремнекислородных тетраэдром. Благодаря плотной упаковке ионов, минералы

обладают большой твердостью. Физические характеристики минералов зависят от состава и происхождения.

Оливин  $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$  - прозрачен, имеет зеленый или зеленовато-черный цвет, хрупкий, твердость 6-7. Происхождение магматическое, образуется при остывании магмы бедной кремнеземом преимущественно в пегматитовых жилах. Применяется для изготовления огнеупорных кирпичей

Гранат  $(Ca, Al)_2[SiO_4]_3$  образует правильные кристаллы в виде изометричных многогранников. Цвет минерала золотисто-желтый, винно-желтый и буровато-красный, красный. Твердость 6-7, удельный вес 3-4 г/см<sup>3</sup>. Происхождение магматическое, метаморфическое, пегматитовое. Применяется для изготовления различных абразивных материалов. Крупные и интенсивно окрашенные прозрачные кристаллы граната используются в ювелирном деле.

Топаз  $Al_2[SiO_4](OH, F)_2$  - правильные кристаллы, иногда крупные до гигантских (25-30 кг) призматической формы. Цвет в зависимости от примесей желтоватый, розовый, голубоватый, фиолетовый, также бесцветный, водяно-прозрачный. В шкале твердости Мооса занимает 8 позицию. Характерный минерал пегматитов в сочетании с кристаллами горного хрусталя (кварц).

Прозрачные, бесцветные или слабоокрашенные в голубой, розовый или винно-желтый цвета топазы относятся к драгоценным камням второго класса.

2) Кольцевые силикаты. Сравнительно небольшой по числу минералов (турмалин, берилл и др.) подкласс силикатов, состоящих из замкнутых колец кремнекислородных тетраэдров  $[SiO_4]$ . Форма колец и определяет форму соответствующих геометрически правильных кристаллов преимущественно столбчатого или призматического облика. Они характеризуются высокой твердостью, лишены выраженной спайности, прозрачны и часто содержат примеси хромофоров, окрашивающих их в разнообразные красивые цвета, поэтому среди них много ювелирных, поделочных камней.

Турмалин - минерал сложного и переменного химического состава (более 10 элементов). Призматические кристаллы столбчатой, игольчатой формы,

достигающие иногда 1 м в длину. В зависимости от примесей - хромофоров цвет черный, желтый, розовый, зеленый, красный и т.п. Происхождение магматическое, высокотемпературное в пегматитовых и гидротермальных месторождениях.

Розовые, зеленые, синие и прозрачные разновидности турмалина используются в ювелирном деле как полудрагоценный и поделочный камень.

Берилл-  $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{SiO}_6]_3$  образует шестиугольные, столбчатые или призматические кристаллы от нескольких миллиметров до 3-5 м весом до 16 т. Цвет разнообразен и зависит от примесей, что служит для выделения разновидностей берилла: аквамарин - прозрачный голубой или зеленовато-голубой; гелиодор - прозрачный золотистый; изумруд, или смарагд - густо окрашенный травяно-зеленый, прозрачный.

Происхождение магматическое высокотемпературное (пегматитовое, гидротермальное).

Главный источник бериллия, применяемого в рентгеновских трубках, атомной промышленности, а также в керамике. Окрашенные прозрачные разновидности берилла (изумруд, аквамарин, гелиодор) известны как драгоценные камни первого класса.

3) Цепочечные силикаты. Название происходит от строения кристаллической решетки, в которой кремнекислородные тетраэдры расположены в виде одинарных или спаренных цепочек. Подкласс включает в себя большое число минералов, которые делятся на две группы в зависимости от расположения цепочек - пироксены и амфиболы.

Цепочечные силикаты образуют кристаллы, резко вытянутые в одном направлении, т.е. вдоль цепочек. Окраска минералов зависит от присутствия хромофоров (Fe, Mn), большинство окрашено в темные цвета вплоть до черного.

Происхождение и характеристика цепочечных минералов рассмотрим на примере наиболее распространенных представителей пироксенов - авгита и амфиболов - роговой обманки.

Авгит -  $\text{Ca}_4(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_x[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]_4$  призматические кристаллы черного, зеленовато-черного цвета твердостью 5-6.

Происхождение магматическое, породообразующий минерал многих ультраосновных и основных горных пород (пироксенит, перидотит, габбро и др.).

Роговая обманка -  $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{MgFe}+2)_4x[(\text{SiAl})_4\text{O}_{11}(\text{OH})_2]$ , призматические, столбчатые кристаллы зеленовато-бурого, зеленовато-черного цвета твердостью 5,5-6,0. Происхождение магматическое, типичный минерал гранитоидов, габброидов и метаморфических пород.

4) Слоистые силикаты. Подкласс охватывает большое число минералов, в том числе широко распространенные породообразующие минералы. Название подкласса происходит от расположения кремнекислородных тетраэдров в виде плоских слоев, параллельных основанию кристалла, что обуславливает их слоистое, листоватое, пластинчатое строение. Кристаллы прозрачны или полупрозрачны в тонких пластинках, обладают стекляннным блеском и небольшой твердостью (от 1 до 4).

Все слоистые силикаты богаты летучими компонентами -водой, фтором и др. К слоистым силикатам относятся тальк, слюды, хлориты, а также глинистые минералы - каолин, монтмориллонит, гидрослюды и др.

Тальк -  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$  образует листоватые и чешуйчатые агрегаты или таблитчатые кристаллы, легко расщепляющиеся на тонкие пластинки и листочки. Цвет светло-зеленый, иногда белый, а может быть и бесцветным. Твердость 1, т.е. минерал является эталоном самой низкой твердости по шкале Мооса. Образуется при гидротермальной переработке ультраосновных горных пород (пироксениты, перидотиты и др.) или в результате метаморфизма осадочных пород богатых магнием (доломиты).

Применяется в виде порошка в медико-гигиенических целях, в парфюмерии, косметике и др.

Слюды – широко распространенные минералы, на долю которых приходится около 4% массы земной коры. По химическому составу выделяют

магнезиальные (флогопит, биотит) и калиевые (мусковит) слюды. Все слюды имеют магматическое происхождение, образуются в эндогенных условиях в гранитных пегматитах, в ультраосновных и щелочных породах, а также на контакте магнезиальных осадочных пород.

Практическое значение имеют все слюды: мусковит и флогопит в электро- и радиотехнике, приборостроении как диэлектрик, электроизолятор в конденсаторах и радиолампах и др.

5) Каркасные силикаты и алюмосиликаты. Подкласс включает большое число распространенных (преимущественно породообразующих) минералов, построенных из алюмо- и кремнекислородных тетраэдров  $[\text{SiO}_4]$  и  $[\text{AlO}_4]$  и образующих трехмерный каркас. Внутри каркаса располагаются щелочные или щелочно-земельные металлы (Na, K, Ca, Ba и др.). Общими свойствами каркасных минералов являются: светлая окраска, относительно высокая твердость, небольшой удельный вес, изометричная форма кристаллов.

Происхождение минералов преимущественно магматическое, реже пегматитовое и метасоматическое на контакте щелочных гранитов и пегматитов с известняками и доломитами

Каркасные силикаты делятся на две группы: фельдшпатиты (лазурит, нефелин и др.) и полевые шпаты (ортоклаз, плагиоклаз и др.)

Лазурит –  $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{AlSiO}_4]_6(\text{SO}_4, \text{S})_2$  плотные сплошные массы, кристаллы редки. Цвет интенсивный лазурно - или васильково-синий, непрозрачен. Встречается редко.

Происхождение метасоматическое - на контакте щелочных гранитов и пегматитов с известняками или доломитами.

Лазурит - один из самых распространенных поделочных камней, а также сырье для изготовления стойких темно-синих и лазурно-голубых красок.

Ортоклаз -  $(\text{K}, \text{Na}) [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  призматические и таблитчатые кристаллы неправильной формы. Отдельные кристаллы могут достигать 2-3 м и более в поперечнике. Цвет белый, светло-желтый, бледно-розовый до мясо-красного. Бесцветная разновидность - адуляр или ледяной шпат, зеленая - амазонит.

Весьма распространенный минерал. Происхождение магматическое, метаморфическое, метасоматическое.

Главный потребитель ортоклаза - производство фарфора, фаянса, стеклоделие в качестве добавки и производство глазурей и эмалей.

***Контрольные вопросы:***

- 1. Что такое минерал?*
- 2. Назовите основные свойства минералов?*
- 3. Химическая классификация минералов.*
- 4. Происхождение минералов.*
- 5. Что такое сингония?*

### 3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

*План:*

*3.1 Классификация горных пород.*

*3.2 Магматические горные породы.*

*3.3 Осадочные горные породы.*

*3.4 Метаморфические горные породы.*

*3.1 Классификация горных пород.*

Горные породы – это природные образования, слагающие разнообразные геологические тела, из которых построена земная кора (литосфера). Они представляют собой закономерные сочетания или механические смеси различных по составу кристаллических минеральных зерен, наряду с которыми могут присутствовать аморфное вещество и органические остатки. К горным породам относятся встречающиеся в земной коре смеси жидких минеральных веществ (неорганических и органических).

Наука, изучающая горные породы, называется петрографией (петро – скалы, камень, греч.). Петрография изучает минеральный состав пород, их строение, сложения, условия залегания, распространения и происхождение.

По условиям образования все горные породы подразделяются на три группы: 1) магматические породы (95 % от общей массы горных пород); 2) осадочные породы и 3) метаморфические породы (5 % от общей массы горных пород).

Каждая горная порода имеет определенный вещественный состав, обладает специфическим строением и образует в земной коре определенное объемное тело, то есть свою форму залегания (пласт, линза, массив и др.).

Каждая горная порода характеризуется химическим и минеральным составом. Химический состав выражается в процентных соотношениях главных окислов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и др. При одном и том же химическом составе горные породы могут иметь различный минеральный

состав. В связи с этим решающую роль при определении горной породы имеет ее минеральный состав.

По минеральному составу горные породы бывают мономинеральными (от греч. «моно» — один), если они состоят преимущественно из одного минерала (кварцит, известняк, дунит, каменная соль и др.), и полиминеральными (от греч. «поли» — много), если состоят из нескольких минералов (гранит, гнейс, конгломерат и др.). В обоих случаях различают главные породообразующие минералы, составляющие более 5 % объема породы, и второстепенные, или акцессорные, минералы, слагающие менее 5 % ее объема.

Строение горной породы определяется структурой и текстурой.

Под структурой горной породы понимают особенности ее внутреннего строения, связанные со степенью кристалличности, абсолютными и относительными размерами минеральных зерен, формой зерен и их взаимоотношениями.

Текстура — это особенности строения, определяемые характером размещения минеральных зерен в горной породе и их ориентировкой. Все основные особенности горных пород (вещественный состав, строение, форма залегания) определяются их происхождением.

### ***3.2 Магматические горные породы.***

***Магматические горные породы*** образуются путем кристаллизации из магматических расплавов, поэтому их химический состав закономерно связан с минеральным составом, что делает возможным определять и подразделять магматические породы точнее по минеральному составу. Магматические породы также называют изверженными.

***Магма*** (от греч. *магма* – тесто, густая мазь) огненно жидкий, главным образом силикатный расплав, возникающий в верхней мантии или в земной коре, насыщенный растворенными в нем газами. Изливающаяся на поверхность магма, лишенная газов и паров, называется лавой (от итал. *lava* – затопляю). Магма содержит большое количество растворенных газов и паров воды (F, Cl,



CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и др.). На большой глубине магма находится под очень большим всесторонним давлением и обладает высокой температурой.

Магматические породы, образовавшиеся в результате застывания магмы в глубинах земли, называют глубинными или интрузивными, а на поверхности эффузивными или излившимися. Промежуточное положение между ними занимают гипабиссальные или жильные.

Таблица 3 – Схема классификации магматических горных пород

Группы	Форма залегания	Структура	Классификация магматических пород по содержанию SiO <sub>2</sub>					
			кислые (SiO <sub>2</sub> >65 %)		средние (SiO <sub>2</sub> от 52 до 65 %)	основные (SiO <sub>2</sub> от 45 до 52%)	ультра-основные (SiO <sub>2</sub> <45%)	
Эффузивная (излившиеся)	Потоки Покровы	Стекловатая		Пемза, обсидиан				
		Скрыто-кристаллическая	Липарит	Дацит	Трахит	Андезит	Базальт	
Гипабиссальная (срединные)	Штоки Дайки	Порфировая (очковая)	Липаритовый порфирит	Дацитовый порфирит	Трахитовый порфирит	Андезитовый порфирит	Диабаз	
Интрузивная (глубинные)	Лакколиты Лополиты Батолиты	Полно-кристаллическая	Гранит	Гранодиорит	Сиенит	Диорит	Габбро	Дунит, перидотит, пироксенит
Минеральный состав			Кварц, кислые плагиоклазы, биотит, роговая обманка, пироксенит	Средние плагиоклазы, роговая обманка, биотит, пироксены		Основные плагиоклазы, пироксены, роговая обманка, оливин	Пироксены, оливин	

При классификации магматических пород за основу берется содержание кремнекислоты (SiO<sub>2</sub>), с которыми закономерно связано и содержание других главных химических компонентов: глинозема (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), извести (CaO), магнезия (MgO) и др.

Существенными признаками различия магматических пород является их структура и текстура.

Структура определяется степенью кристаллизации, размером, формой, способом срастания минералов, составляющих породу.

Интрузивные магматические породы ввиду медленного застывания магмы имеют полнокристаллическую равномерно-зернистую структуру.

Эффузивные магматические породы в результате быстрого остывания лавы, изливающейся на поверхности, имеют неполнокристаллическую или мелкозернистую структуру.

Жильные магматические породы, образовавшиеся в толще земной коры на небольшой глубине, характеризуются порфировой (порфировидной) структурой, в которой крупные кристаллы окружены скрытокристаллической массой других минералов.

Поднимаясь вверх, магма внедряется в твердые и относительно холодные породы, которым она отдает свое тепло, начинает охлаждаться и кристаллизоваться. Большую роль в процессе кристаллизации играют летучие компоненты: пары воды и газа, способствующие и часто определяющие скорость кристаллизации минералов.

Поднимаясь вверх, магма оказывается в различных термодинамических условиях.

На значительных глубинах при медленном остывании магмы и сохраняющемся большом давлении происходит постепенная, последовательная и полная кристаллизация расплава. Последовательность в кристаллизации магмы связана с существованием минералов с разной температурой плавления. Тугоплавкие минералы кристаллизуются при более высоких температурах, когда другие еще находятся в расплаве.

К тугоплавким относят минералы, содержащие Fe и Mg (железисто-магнезиальные силикаты: оливин, авгит, роговая обманка, биотит и др.). При понижении температуры последовательно кристаллизуются и другие минералы.

Таким образом, на больших глубинах весь силикатный расплав превращается в агрегат тех или иных минералов, образуется полнокристаллическая горная порода. Долго сохраняющиеся условия высоких температур и давления создают благоприятные условия роста для всех минералов, в результате образуются полнокристаллические и

равнокристаллические структуры пород с более или менее одинаковым размером зерен всех минералов.

На средних и небольших глубинах условия кристаллизации магмы менее стабильны и более разнообразны.

Если масса и температура расплава, внедрившегося на средних глубинах, достаточно велики для прогрева вмещающих пород и давление является достаточным для удержания в расплаве летучих компонентов, происходит также полная раскристаллизация расплава и образуется полнокристаллическая порода. При этом центральные части получают равнокристаллическое, а краевые — неравнокристаллическое строение в связи с относительно быстрым охлаждением на контакте с вмещающими породами и частичной потерей летучих компонентов. Летучие компоненты для некоторых минералов являются катализаторами и заметно повышают скорость их роста, тогда при полнокристаллическом строении возникает большая разница в размерах зерен разных минералов, могут возникать порфировидные структуры.

На небольших глубинах температура и давление магмы могут быть недостаточными для ее полной кристаллизации. В таких условиях часть магмы успевает раскристаллизоваться и превратиться в минеральные зерна — вкрапленники, а другая часть затвердевает в виде вулканического стекла — аморфной массы, в которой могут быть зародыши кристаллов — микролиты, хорошо различимые только под микроскопом. В этих условиях образуются неполнокристаллические породы.

Текстура магматических пород объединяет признаки породы, связанные с относительным расположением в ней минералов. Различают массивную, волокнистую и др. структуру.

По текстуре породы делят на компактные и пористые. В компактной породе нельзя заметить невооруженным глазом каверны и поры, в пористой эти пустоты ясно видны.

### **Формы залегания магматических пород.**

Различают: пластообразные интрузивные залежи (силлы), лакколиты, факолиты, лополиты, дайки, жилы, штоки, батолиты, покровы и др.

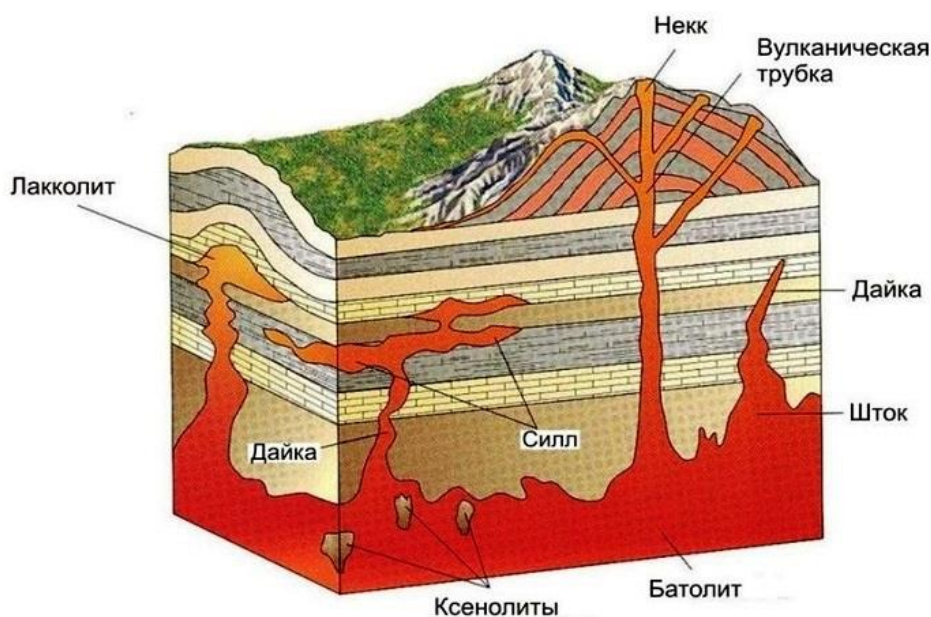


Рисунок 2 - Морфология тел магматических пород

Батолиты представляют собой массивы интрузивных пород, обычно гранитов, гранодиоритов, реже диоритов, имеющие значительные размеры, как по площади, так и по глубине.

При внедрении магмы в ослабленные участки вмещающих пород на сравнительно небольших глубинах образуются: трещинные интрузии, называемые также жилами, или дайками. Мощность их изменяется от нескольких сантиметров до сотен метров, а длина доходит до многих километров; пластовые интрузии, образовавшиеся в результате внедрения магмы между слоями вмещающих пород: лакколиты – караваеобразные тела с плоским основанием.

В поверхностных формах залегания эффузивных пород выделяются: купола, образование которых определяется высокой вязкостью излившейся лавы; покровы и потоки, образовавшиеся в результате твердения жидкой лавы, излившейся соответственно на горизонтальную и наклонную поверхности.

При застывании магмы или лавы появляются трещины, разделяющие массив магматической породы на характерные блоки, называемые

отдельностями. Для интрузивных пород характерны отдельности матрацевидные, параллелепипедальные и пластовые. В эффузивных породах однородного состава отдельности возникают часто в виде вертикальных правильных столбов пяти и шестиугольного сечения. При образовании горизонтальных трещин возникают плитняковые отдельности, при образовании сложной системы трещин — глыбовые и шаровые.

Для базальтов характерна столбчатая отдельность, для диоритов — шаровая, для гранитов, сиенитов в виде параллелепипеда (матрацевидная).

При оценке магматических пород как оснований гидротехнических и др. сооружений необходимо иметь в виду, что они на поверхности земли подвергаются значительным изменениям под влиянием атмосферных факторов.

Для магматических пород для характеристики прочности образцов применяется величина предела прочности.

Для гранитов, кварцевых порфиров, сиенитов она равна 1200-2500 кг/см<sup>2</sup>, диоритов, андезитов равна 1500-3000 кг/см<sup>2</sup>, габбро, диабазов и базальтов — 2500-5000 кг/см<sup>2</sup>.

Но такие составные части гранита, как полевые шпаты способны довольно быстро изменяться у поверхности земли, превращаясь в каоленит. Это приводит к общему разрушению породы. В Финляндии одна из разновидностей гранита называется рапакиви («гнилой камень»).

Для оценки магматических пород как оснований сооружений, данных о составе, структуре и условиях их залегания недостаточно, для этого необходимы еще характеристика их состояния.

### ***3.3 Осадочные горные породы.***

Осадочные горные породы образуются из осадков, выпадающих из воды, воздуха, а также в результате накопления остатков организмов и растений.

Образованию их предшествует разрушение разнообразных ранее существовавших горных пород. В отличие от магматических пород они являются вторичными породами.

***В процессе формирования осадочных горных пород выделяется несколько этапов:***

1. Гипергенез - это этап разрушения первичных пород с образованием осадочного материала механическим или химическим путем.

2. Транспортировка (перенос) продуктов разрушения под действием силы тяжести, водными потоками, ледниками, ветром.

3. Седиментогенез – отложение продуктов разрушения и накопление рыхлого осадка.

4. Диагенез (перерождение) - превращение осадка в твердую осадочную горную породу.

### ***Текстуры осадочных горных пород***

Главной текстурой является слоистость, то есть чередование в разрезе слоев, различных по минеральному составу, крупности зерен, окраске, расположению частиц и т. д.

Различают два основных вида слоистости:

- параллельная - отражающая осадконакопление в спокойной среде,
- косая - отражающая осадконакопление в подвижной среде.

Промежуточной по условиям образования является линзовидная слоистость.

Нижняя поверхность пласта - его подошва, верхняя - кровля. Расстояние между подошвой и кровлей (толщина пласта) - его мощность.

Если накопление осадков и формирование пород происходило в стоячей или медленно перемещающейся воде, то слоистость называется горизонтальной, в иных условиях образуется косая или волнистая слоистость. Нижнюю поверхность слоя, или пласта, называют подошвой, а верхнюю — кровлей. Мощность пласта — это расстояние по нормали между подошвой и кровлей пласта. Она изменяется от долей миллиметра до сотен метров. Местное уменьшение мощности пласта называется пережимом. Уменьшение мощности пласта до полного выпадения его называется выклиниванием. Пласт, выклинивающийся в двух концах на коротком расстоянии, называется линзой.

При описании залегания осадочных пород применяют также термины толща, пачка, свита, обозначающие группу сходных пластов, расположенных один над другим. Если в группе разные пласты чередуются, их называют перемежающимися, или переслаивающимися. Если в свите сравнительно мощных пластов встречается отличающийся от них слой малой мощности, он называется прослойкой (прослоем, или пропластком). Если пласты залегают горизонтально, причем более молодые слои лежат на более древних, то такое залегание называется согласным, или нормальным. В противном случае оно называется несогласным.

### ***Структуры осадочных горных пород***

По условиям образования осадочные породы делятся на:

1. обломочные,
2. глинистые,
3. химические (хемогенные),
4. органические (органогенные или биогенные).

Встречаются породы смешенного происхождения.

Обломочные породы образовались из обломков пород, подвергшихся физическому разрушению; глинистые – в основном из продуктов химического разложения магматических пород; химические – из солей, выпавших в осадок при усыхании водоемов; органогенные – из остатков растительных и животных организмов. По условиям образования глинистые породы занимают промежуточное положение между обломочными и химическими породами.

По условиям формирования осадочные породы делятся на:

- морские;
- континентальные (ледниковые и др.).

Для осадочных пород характерно слоистость залегания, пористость, наличие остатков растительности и живых организмов.

Обломочные породы делятся на:

- несцементированные (раздельнозернистые);
- сцементированные.

Несцементированные характеризуются гранулометрическим составом.

Прочность сцементированных пород зависит от минерального состава цемента и степени заполнения или пор. Наибольшей механической пористостью обладают кремнистые и железистые цементы, а наименьшей – глинистые. Промежуточное положение занимают карбонатные и сульфатные цементы.

Глинистые породы занимают около 60% общего объема осадочных пород. Типичными глинистыми породами являются глины, состоящие из коллоидно-дисперсных глинистых минералов и содержащие не менее 30% частиц размером менее 0,001, называемых глинистыми или пелитами. В состав глинистых пород кроме коллоидно-дисперсных минералов, входит более крупные частицы обломочного происхождения. При значительном количестве этих примесей глинистые породы называются суглинками (10-30% глинистых фракций), супеси (2-10% глинистых фракций). Кроме того, суглинки и супеси делятся на тяжелые, средние, легкие.

Лессовые породы состоят в основном из пылеватых частиц (70-75 %), глинистых частиц от 1-2 до 10-16 %. Содержит включения извести, гипса. Основная масса сложена кварцем, полевым шпатом и слюдами. Характерная особенность лессовых – их макропористость.

Лессовые породы широко развиты в Средней Азии, Украине, Северном Кавказе, Поволжье и др. В Башкирии они развиты в основном в долинах крупных рек – в низовье реки Белой. В России площадь их достигает 3,3 млн. км<sup>2</sup> (14%).

Химические породы образуются в результате выпадения из природных растворов различных солей.

По минеральному составу делятся на пять групп:

- аллитовые (гидраты алюминия) – латериты и боксит;
- кремнистые – кремнистые туфы, диатомиты, опоки;
- фосфоритовые – фосфориты;
- карбонатные – известняки, известковые туфы, доломиты,;



- сульфатные и галогенные – гипс, каменная соль;
- органогенные породы угли, торф, горючие сланцы, нефть.

В карбонатных, сульфатных породах и солях образуются – карст.

Для органических пород особенно для торфа характерна высокая влажность до 1000-2000 % и большая сжимаемость под нагрузкой, что необходимо учитывать при создании гидротехнических сооружений.

Таблица 4 – Классификация гранулометрических элементов некоторых обломочных и глинистых горных пород

Структурные элементы	Группы фракций		Отдельные фракции	
	названия	размеры частиц	названия	размеры частиц
Макро-структуры	Валуны (окатанные) и камни (угловатые)	>20см	Крупные Средние Мелкие	> 80 см 80...40 см 40...20 см
	Бульжник, галька (окатанные) и щебень (угловатый)	20...4 см	Бульжник и крупный щебень Щебень и крупная галька Мелкая галька и мелкий щебень	20...10 см 10...6 см 6...1 см
	Гравий (окатанный) и хряц (угловатый)	40...2 мм	Крупный Средний Мелкий Очень мелкий	40...20 мм 20...10 мм 10...4 мм 4...2 мм
Мезо-структуры	Песок	2...0,05 мм	Грубый Крупный Средний Мелкий Тонкий	2...1 мм 1... 0,5 мм 0,5...0,25 мм 0,25...0,1 мм 0,1...0,05 мм
	Пыль	0,05...0,001 мм	Крупная Мелкая Иловатая	0,05...0,01 мм 0,01...0,005 мм 0,005...0,001 мм
Микро-структуры	Глина	<1 мкм	Собственно глина Коллоидная глина	1...0,25 мкм <0,25 мкм

### 3.4 Метаморфические горные породы.

В течение всей своей геологической жизни, начиная с момента образования, исходные (первичные) горные породы испытывают воздействия

высокой температуры, давления, химически активных веществ, которые приводят к изменениям в их структуре, текстуре, минеральном составе и свойствах. Изменениям, превращениям, преобразованиям, по-гречески «метаморфус», подвергаются магматические, осадочные и собственно метаморфические горные породы. Таким образом, под метаморфизмом понимают структурное, текстурное и минералогическое приспособление исходных горных пород к изменяющимся термодинамическим условиям (воздействие высоких давлений, температур, химически активных веществ) в различные периоды их геологической жизни.

Метаморфические горные породы образуются в земной коре из магматических и осадочных горных пород путем их глубокого изменения и преобразования под влиянием высокой температуры, давления, горячих растворов и газовых компонентов; при этом происходит сложный процесс перекристаллизации минералов и горных пород, замещение одних веществ другими, разрушение старых структур и образование новых и т. п. Сами метаморфические породы также могут быть вновь перекристаллизованы, если они попадают в соответствующие термодинамические условия.

В результате метаморфизации гранитов образовались гнейсы, песчаников – кварциты, известняков – мраморы, аргиллитов – филлитовые сланцы. Из магматических пород образуются ортогнейсы, а осадочных – парагнейсы.

Строительные свойства метаморфических пород отличаются разнообразием. Вертикально плоскости напластования прочностью одна, а в направлении параллельном плоскости сланцеватости другая. При выветривании прочность резко уменьшается.

### ***Структура.***

В процессе перекристаллизации вещества исходной породы в твердом состоянии возникают вторичные, характерные для метаморфических горных пород структуры, называемые бластическими структурами. При полной перекристаллизации исходного вещества метаморфические горные породы приобретают структуру, называемую кристаллобластической.

Имеются метаморфические горные породы, характеризующиеся неполной перекристаллизацией вещества и сохранением следов прежней структуры исходных горных пород. В этом случае для обозначения новой структуры прибавляют слово «бласто» к названию первоначальной структуры: бластогранитовая структура, бластопорфировая структура и т. д.

### ***Текстура.***

***Текстура грунта*** – пространственное расположение слагающих грунт элементов (сланцеватость, полосчатость, трещиноватость, слоистость и др.). Текстура при определении метаморфических горных пород является наиболее важным диагностическим признаком.

Для метаморфических горных пород характерны сланцеватая, полосчатая, очковая, массивная и другие текстуры (в зависимости от характера пространственного расположения составных частей породы).

При сланцеватой текстуре зерна минералов, входящих в состав данной породы, имеют пластинчатую и удлинённую форму и располагаются взаимно параллельно. При полосчатой текстуре наблюдается чередование более или менее тонких параллельных полос различного минералогического состава, отличающихся часто и по цвету.

Очковая текстура отличается наличием «очков» - округлых или несколько удлинённых образований среди остальной мелко- и тонкозернистой массы породы.

Различают несколько видов метаморфизма.

Контактный метаморфизм – на контакте внедрившейся магмы с вмещающими горными породами. Здесь изменение горных пород происходит под влиянием теплового воздействия высокотемпературного (свыше 1000°) расплава магмы, газообразных компонентов магмы (пневматолитовый метаморфизм) и горячих растворов (гидротермальный метаморфизм).

Региональный метаморфизм проявляется на огромных площадях в подвижных зонах земной коры (геосинклиналях) под влиянием высокой температуры и большого давления.

Динамометаморфизм или дислокационный метаморфизм обуславливается односторонним давлением, которое испытывают породы под влиянием тектонических движений.

**Сланцеватая текстура** – это когда горная порода состоит как бы из скрепленных между собой пластинок, где пластинчатые, игольчатые и имеющие другую форму зерна минералов располагаются по параллельным плоскостям. Толщина пластинок может быть разной – толстой, тонкой и поэтому выделяют толстосланцеватую, тонкосланцеватую, слоисто-сланцеватую текстуры. Образец с такой текстурой раскалывается по плоскостям, которые называют плоскостями сланцеватости. Сланцеватая текстура характерна для целой группы регионально-метаморфических грунтов – сланцев. Различают сланцы по минеральному составу – сланцы глинистые, тальковые, талько-хлоритовые и др.

**Плойчатая текстура** является производной от сланцеватой текстуры. В изломе образца горной породы видны складки, плойки – следы медленного деформирования грунтов со сланцеватой текстурой под действием тектонических сил, чаще всего она наблюдается у глинистых и слюдяных сланцев.

**Полосчатая текстура**, когда в образце видны полосы различной окраски. Границы между полосами выражены менее четко, в этом ее отличие от образцов со слоистой текстурой, наличие сланцеватости при этом необязательно. Такую текстуру имеют гнейсы, змеевики, ожелезненные кварциты (джеспилиты), иногда амфиболиты. Как разновидность полосчатой текстуры выделяют очковую текстуру, когда в полосах видны локальные утолщения (линзы, очки), что наблюдается у некоторых гнейсов и узловатых (пятнистых) сланцах.

**Пятнистая текстура** определяется кучным размещением минералов (пятнами, узлами) по общему однородному фону породы, она характерна для узловатых (пятнистых) сланцев, яшм и мраморов.

**Узорчатая текстура** – когда по всему образцу видны узоры из разноцветных пятен, полос, линий, она характерна для яшм и некоторых мраморов.

**Однородная (массивная) текстура** характерна для роговиков, скарнов, 10 кварцитов, мраморов.

**Пористой текстуры** у метаморфических горных пород не бывает, т. к. они образуются при действии значительных по величине напряжений, при которых все поры смыкаются.

Таблица 5 – Основные метаморфические породы

Порода	Окраска	Основной минеральный состав	Диагностические признаки
Гнейс (ортогнейс образуется из магматических пород, парагнейс – из осадочных)	Пестрая полосчатая	Полевой шпат, кварц, слюда (чаще биотит), роговая обманка, пироксенит	Плотная, полосчатая или очковая текстура. Минеральный состав сходен с составом гранита
Кварцит	Желтоватая, бордово-коричневая и др.	Кварц и примеси	Большая твердость (7), жирноватый блеск, иногда раковистый излом
Мрамор кальцитовый или доломитовый	Белая, серая, желтая, оранжевая, желтая, красная и др. Иногда с прожилками другого цвета	Кальцит, доломит к примеси	Кристаллическая структура, реакция с соляной кислотой образца (кальцит) или порошка (доломит)
Слюдяной сланец	Серебристо-серая или темно-серая	Мусковит, серицит, кварц, биотит	Сланцевая плотная текстура обилие слюды
Хлоритовый сланец	Темно-зеленая	Хлорит и примеси (тальк и др.)	Сланцеватая текстура преобладание темно-зеленого цвета
Тальковый сланец	От светло-зеленой до белой	Тальк к примеси (хлорит и др.)	Сланцеватая текстура преобладание чешуйчатого жирного на ощупь талька
Графитовый сланец	Темная, черная	Графит и примеси	Сланцеватая текстура преобладание графита с металловидным блеском

**Контрольные вопросы:**

1. Какие геологические процессы обусловили образование магматических горных пород?
2. Какие классификации магматических пород известны?
3. На какие группы подразделяются магматические породы по содержанию  $\text{SiO}_2$ ?
4. Какие породы называются осадочными?
5. Какие геологические процессы обусловили образование осадочных горных пород?
6. Какие признаки положены в основу классификации осадочных пород?
7. На какие генетические группы делятся осадочные горные породы?
8. Какие геологические процессы обусловили образование метаморфических горных пород?
9. Назовите характерные признаки метаморфических пород.
10. Что такое метаморфизм?
11. Назовите основные разновидности метаморфических пород?

## **4. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИЕЙ ЗЕМЛИ**

*План:*

*4.1 Общие понятия геологических процессов.*

*4.2 Тектонические дислокации горных пород.*

*4.3 Сейсмические явления.*

*4.4 Магматизм, вулканизм, метаморфизм.*

*4.5 Вековые движения земной коры.*

*4.6 Новейшие тектонические движения земной коры.*

*4.1 Общие понятия геологических процессов.*

В недрах и на поверхности Земли вследствие взаимодействия внутренних и внешних, сил непрерывно, протекают геологические процессы. Различают эндогенный (внутренней динамики) и экзогенные (внешней динамики) процессы. Эндогенные обусловлены взаимодействием сил, возникающих внутри Земли, и мало зависящие от внешних влияний, а экзогенные вызываются преимущественно внешними силами, действующими на поверхности Земли.

С эндогенными процессами связаны образование, основных элементов рельефа Земли (материки, горные сооружения и океанические впадины), тектонические дислокации горных пород, магматические и вулканические явления, движения земной коры (в том числе землетрясения), а также метаморфизм горных пород.

Экзогенные процессы выражаются в различных перемещениях водных и воздушных масс, движении воды в атмосфере, на поверхности и в недрах земной коры, изменении состава горных пород, разрушении и переносе продуктов разрушения, образовании осадочных пород и т. д. Эти процессы классифицируют по ведущей роли в них внешних факторов: поверхностных текучих вод, ледников и льда, морского волнения и морских течений, вод

замкнутых водоемов, подземных вод, а также органической жизни, включая деятельность человека.

Органическая жизнь проявляется в оболочке Земли, именуемой биосферой. В нее входят нижняя зона атмосферы, вся гидросфера (Мировой океан) и верхняя часть литосферы. Биосфера окружает Землю сплошной оболочкой. Лишь кратеры действующих вулканов и потоки незастывшей лавы лишены жизни.

Животные и растительные организмы, как было показано выше, принимают активное участие в образовании осадочных органогенных пород, а также в процессах физического и химического выветривания. Однако этим не исчерпана геологическая деятельность организмов.

Каждый организм в течение жизни забирает из окружающей среды те или иные химические элементы и соединения и возвращает их в переработанном виде в ту же среду, которые проходят далее сложный и длительный путь. Так, углерод, извлекаемый растениями из воздуха путем фотосинтеза, образует белковые элементы растений.

Из растений часть углерода поступает в животные организмы, которые при дыхании возвращают его в атмосферу.

Движущей силой этого цикла служит солнечная энергия, за счет которой происходит фотосинтез.

Растения концентрируют некоторые элементы, находящиеся в неорганической природе в рассеянном состоянии. Так, в золе каменных углей накапливаются свинец, цинк, никель, германий и другие элементы, в отдельных видах водорослей – йод и т. п.

#### ***4.2 Тектонические дислокации горных пород.***

Тектоническими дислокациями называются нарушения залегания пород, а также смятия и разрывы пластов этих пород, связанные с эндогенными процессами. Отрасль геологии, изучающая эти явления, а также формы



залегания пород, определяющие структуру земной коры, называется геотектоникой.

Тектонические дислокации горных пород разделяются на две основные группы: складчатые и разрывные.

Складчатые дислокации не нарушают сплошности горных пород, разрывные нарушают. Нередко наблюдаются постепенные переходы одной группы дислокаций в другую. Из числа складчатых дислокаций наиболее проста моноклираль, проявляющаяся в виде наклонного залегания свиты осадочных пород.

Для характеристики положения наклонного пласта в пространстве с помощью специального горного компаса измеряют в местах выхода пласта на поверхность земли элементы залегания ( $\rho$ ): угол падения пласта и азимут линии простирания пласта, то есть следа пересечения пласта горизонтальной плоскостью. Линия простирания перпендикулярна линии падения пласта (или линии наибольшего ската). Угол падения сильнодислоцированных пластов может достигать  $90^\circ$ .

Складкой называется полный перегиб пластов, в котором выделяются антиклиналь и синклираль. В антиклинали перегиб пластов направлен выпуклостью вверх, и синклинали – вниз. В антиклинали в центральной части изгиба пластов, называемой ядром, залегают наиболее древние пласты, а в синклинали — наиболее молодые. Боковые части складки называются крыльями, часть складки, в которой сходятся крылья, — замком.

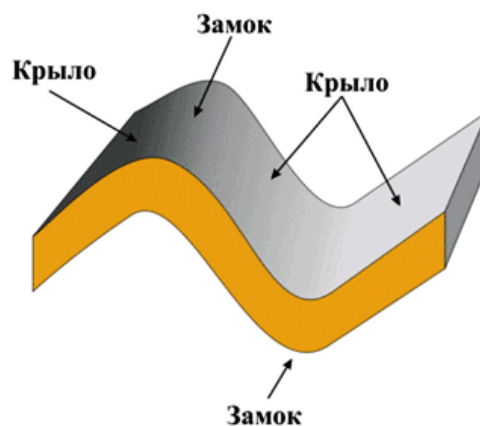


Рисунок 3 - Складки и его составные части

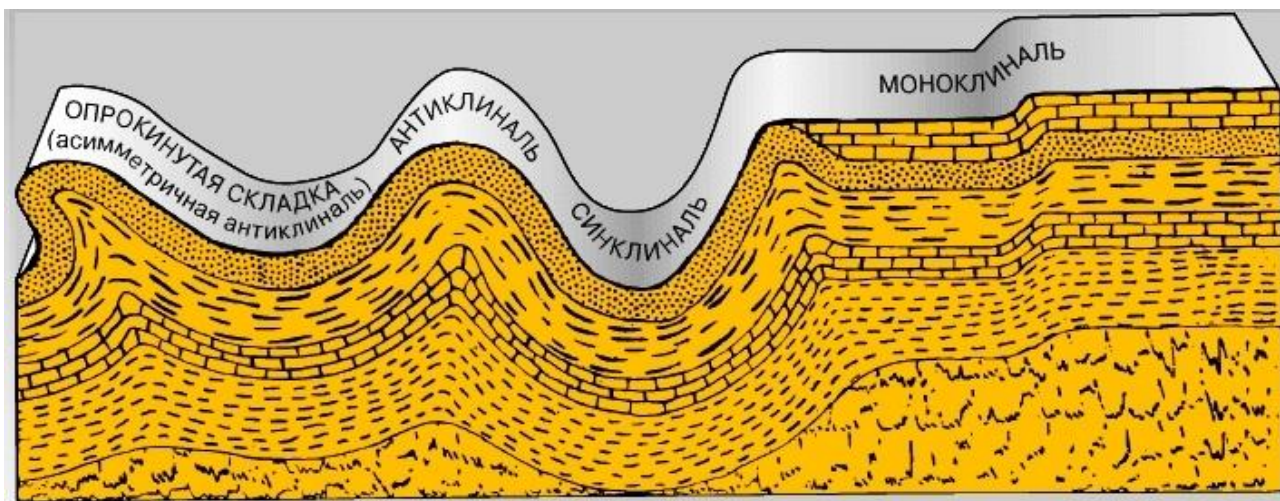


Рисунок 4 - Перегиб пластов

Поверхность, равноудаленная от обоих крыльев и проходящая через перегибы пластов, образующих складку, называется осевой. Линия ее пересечения с поверхностью Земли называется осью складки. Кроме синклиналей и антиклиналей, существуют и другие формы складок.

Основные виды разрывных дислокаций — сброс, сдвиг, надвиг, грабен, горст (рисунок 5).

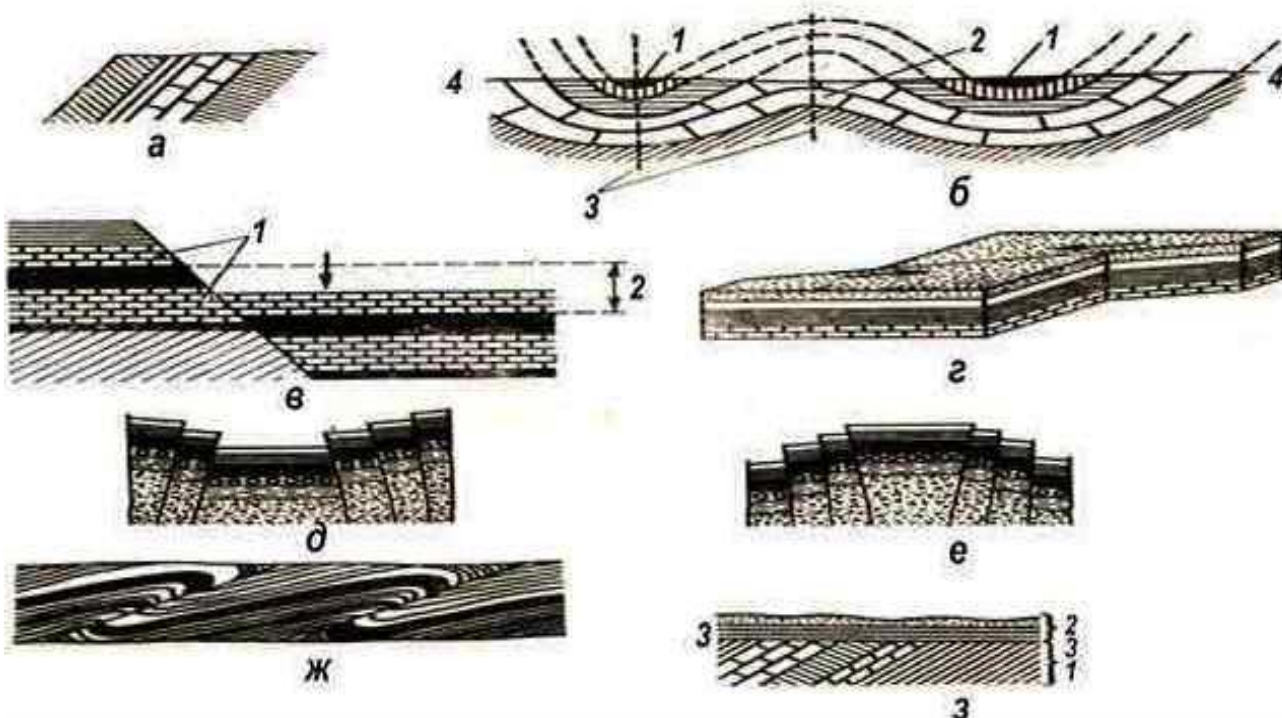


Рисунок 5 - Формы тектонических дислокаций горных пород: а – наклонное (моноκлинальное) залегание пластов; б – складка ( 1– синклиналь; 2 – антиклиналь; 3 – осевая поверхность складок; 4–4 – поверхность земли. Пунктиром показано предполагаемое положение пластов до

разрушения их); в – сброс (1 – плоскость сброса; 2 – амплитуда сброса); г – сдвиг; д – грабен; е – горст; ж – надвиги (вверху – складчатый; внизу – глыбовый); з – несогласное залегание пластов (1 – нижняя дислоцированная свита пластов; 2 – верхняя ненарушенная свита; 3–3 – граница несогласия).

Сбросом называется вертикальное или наклонное смещение одной части свиты относительно другой.

Вертикальное смещение, замеренное между одноименными плоскостями напластования, называется амплитудой сброса. Она изменяется от нескольких сантиметров до сотен метров.

Сдвиг отличается от сброса направлением смещения; оно близко к горизонтальному. Надвиг похож на систему сбросов с очень пологими наклонами плоскостей надвига. В результате более молодые пласты оказываются перекрытыми более древними. Грабеном называется тектоническое опускание, ограниченное системой сбросов, а горстом — такое же поднятие.

На дислоцированных пластах, если они окажутся дном водоема или водотока, могут накопиться пласты более молодых осадочных пород — пример несогласного залегания пластов.

Наличие и характер тектонических дислокаций имеют огромное значение для строительства. Нарушенное залегание пород определяет во многих случаях неоднородность основания и среды для сооружений, что осложняет конструкцию и статические расчеты их, а также производство строительных работ. Наклонное залегание пластов на склонах и на участках искусственных выемок ухудшает условия устойчивости пород и может быть причиной их оползания.

Дислокации часто сопровождаются образованием трещин, уменьшающих прочность и повышающих водопроницаемость пород. Особенно сильно оно проявляется в районах разрывных дислокаций.

Водопроницаемые пласты в синклиналиных складках нередко содержат значительные запасы артезианских вод, используемых для водоснабжения.

### 4.3 Сейсмические явления.

Сейсмическими называются явления, связанные с возникновением и проявлением землетрясений. К этим явлениям относятся внезапные резкие сотрясения земной коры, вызванные геологическими факторами, и упругие волны, передающие эти сотрясения. Сейсмические явления изучает сейсмология.

Таблица 6 - Сейсмическая шкала Рихтера

Сила землетрясения, балл	Название	Признаки
1	Незаметное. Не ощущается.	Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабое	Ощущается только очень чуткими домашними животными и некоторыми людьми в верхних этажах зданий.
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения. Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика.
4	Умеренное	Распознаётся по мелкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стекол, скрипу дверей и стен, откалываются куски штукатурки, дрожание мебели. Внутри здания сотрясение ощущается большинством людей.
5	Довольно сильное	Общее сотрясение зданий, колебания мебели. Трещины в оконных стеклах и штукатурке. В комнатах чувствуются толчки, как от падения тяжелых вещей. Хлопают двери. Лопаются оконные стекла, качаются люстры и мебель, останавливаются настенные часы, качаются тонкие ветки деревьев. Ощущается многими людьми и вне зданий.
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен, лёгкое повреждение зданий. Качается тяжелая мебель, бьется посуда, падают с полок книги, иногда трескается штукатурка. Разрушаются только очень ветхие здания.
7	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимы. Разрушаются плохо построенные и ветхие дома. В крепких зданиях появляются небольшие трещины, осыпается штукатурка. Изменяется уровень воды в колодцах. В реках и озерах мутнеет вода. Иногда наблюдаются оползни и осыпи.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются. Деревья сильно раскачиваются, иногда ломаются. Разваливаются прочные каменные ограды, падают фабричные трубы. Разрушаются многие крепкие здания. На почве появляются трещины.

## Продолжение таблицы 6

9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Появляются значительные трещины в почве.
10	Уничтожающее	Крупные трещины в почве. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек, искривление железнодорожных рельсов. Разрушаются хорошо построенные деревянные дома и мосты, крепкие здания и даже фундаменты. Разрываются водопроводные и канализационные трубы. Повреждаются насыпи, плотины и дамбы. Возникают трещины и изгибы в почве. Из рек и озер выплескивается вода.
11	Катастрофа	Широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома совершенно разрушаются. Разрушаются дороги, плотины, насыпи, мосты.
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные обвалы, оползни, трещины. Возникновение водопадов, подпруд на озерах. Отклонение течения рек. Разрушаются все сооружения. Отдельные предметы подбрасываются при толчках. Преображается вся местность. Изменяются русла рек. Образуются водопады. На поверхности грунта видны земляные волны.

По действующим факторам землетрясения делятся на:

- денудационные;
- вулканические;
- тектонические.

Денудационные землетрясения связаны с провалами горных пород в карстовые пустоты и с горными обвалами.

Вулканические землетрясения связаны с взрывами сжатых газов в жерлах вулканов.

Тектонические землетрясения, связанные с тектоническими дислокациями, являются причиной наибольших, часто катастрофических разрушений. Они зарождаются в земной коре на глубине до 700 км, но в большинстве случаев — в наружных частях земной коры. Место этого зарождения называется гипоцентром землетрясения. Площадь распространения влияния землетрясений находится в прямой зависимости от глубины гипоцентра. Вертикальная проекция гипоцентра на земную поверхность называется эпицентром; в его области преобладают вертикальные сотрясения. Упругие деформации, распространяющиеся во всех направлениях от

гипоцентра, называются глубинными (продольными и поперечными) сейсмическими волнами; их энергия уменьшается по мере удаления от гипоцентра. Кроме глубинных волн, от эпицентра землетрясения по поверхности земли распространяются еще поверхностные волны. Наибольшие разрушения причиняют глубинные продольные волны.

При расположении эпицентра землетрясения в пределах моря возникает моретрясение с образованием огромных разрушительных волн, или цунами.

Сейсмические явления оказывают влияние на гидротехническое строительство в следующих направлениях: проектные нагрузки сооружения дополняются при землетрясении силами, равными произведению массы сооружения на сейсмическое ускорение, недоучет которых может нарушить проектные условия прочности и устойчивости сооружения, если эти дополнительные силы не учтены в проекте согласно требованиям антисейсмического строительства; могут неблагоприятно измениться свойства и состояние пород в основании сооружений. В частности, возможно доуплотнение рыхлого песка, а также ослабление консистенции и механической прочности глинистых пород.

Поэтому сооружения следует располагать на участках с породами, надежными при сейсмических воздействиях. Наиболее надежны ненарушенные скальные и полускальные породы (магматические, метаморфические, осадочные прочносцементированные, крупнообломочные), менее надежны глинистые породы пластичной консистенции, а также водонасыщенные пески; в водохранилищах могут возникнуть стоячие волны, которые вызовут затопление береговых участков и повреждения волнением расположенных на них зданий и сооружений.

Заполнение крупных водохранилищ, в свою очередь, может вызывать в сейсмических районах землетрясения.

Дополнительная разгрузка от водохранилищ способствует разрядке напряжений, накопившихся в земной коре, вызывая «освобождение»

сейсмической энергии. Таким образом, возможны и искусственные землетрясения, вызванные деятельностью человека.

В районах проектируемых сооружений на основе детальных инженерно-геологических исследований проводят микросейсмическое районирование, при котором балльность того или иного участка в зависимости от характера пород и глубины залегания грунтовых вод может быть повышена или понижена на 1...2 балла по сравнению с баллом, характерным для данного района. Поэтому, например, повышение уровня грунтовых вод приводит к необходимости пересматривать сейсмическое районирование. Землетрясения являются одной из причин грандиозных обвалов, перегораживающих речные долины и создающих озера. Территория Республики Башкортостан относится к территориям до 5 класса опасности. По 5 классу опасности здания строятся без применения антисейсмических мероприятий.

#### ***4.4 Магматизм, вулканизм, метаморфизм.***

Совокупность эндогенных процессов, связанных с внедрением поднимающейся магмы в земную кору, называется *интрузивным магматизмом*. В результате интрузивного магматизма образуются в основном батолиты, характеризующиеся следующими признаками: несогласным, секущим контактом с окружающими породами; однородным составом, представленным преимущественно гранитами и гранодиоритами; приуроченностью к центральным частям складчатых зон и вытянутыми очертаниями, параллельными осям горных цепей.

*Вулканизм*, или эффузивный магматизм, — это формы движения магмы, проявляющиеся в образовании и извержениях вулканов. Вулканические извержения представляют собой излияние на поверхность земли расплавленной лавы, остывшей до температуры 900...1200° С.

Вместе с лавой на поверхность выбрасываются газы, водяной пар, пепел и другие твердые продукты извержения. Извержения происходят спокойно либо взрывами. По характеру вулканического аппарата выделяют вулканы

*центрального типа*, в которых извержения происходят через центральные выводные отверстия, и трещинные, изливающие лаву через трещины в земной коре.

Вулкан центрального типа представляет собой конусообразную гору, которая сложена продуктами извержений, со склонами крутизной 30...35°, прорезанными оврагами.

При извержении трещинных вулканов иногда образуются огромные покровы эффузивных пород.

С магматическими процессами тесно связан *метаморфизм*, приводящий к глубоким изменениям горных пород с превращением последних в новые породы. При этом происходят процессы перекристаллизации, замещения, разрушения старых структур и создания новых и т. п.

Различают следующие виды метаморфизма; контактовый, региональный и динамометаморфизм. *Контактовый метаморфизм* пород происходит под влиянием близости внедрившейся магмы. *Региональный метаморфизм* проявляется при глубоком погружении участка земной коры, что вызывает совместное действие нескольких факторов метаморфизма. При *динамометаморфизме* материнская порода раздробляется на смещающиеся блоки неправильной формы и различных размеров, с перекристаллизацией минералов. Во многих случаях динамометаморфизм проявляется в образовании *сланцеватости*, при которой кристаллические минералы располагаются длинными осями в направлении, нормальном давлению.

#### ***4.5 Вековые движения земной коры.***

Изучение геологического строения суши показало чередование морских и континентальных отложений. Это объясняется периодическим высотным изменением территории относительно уровня моря. При опускании суши моря нередко широко развивались по ее поверхности.

Это явление называется *трансгрессией*. Обратное явление – поднятие суши и отступление моря – называется *регрессией*. Трансгрессии и регрессии



вызываются *эпейрогсическими, или колебательными движениями.* Трансгрессии сопровождаются накоплением морских осадков, а регрессии – процессами *денудации*, то есть разрушения и сноса горных пород на суше. Продукты этого разрушения в основном сносятся в море, а небольшая часть их образует континентальные породы в понижениях поверхности континента, Таким образом, периоду регрессии соответствует перерыв в накоплении морских осадков, а, следовательно, и перерыв в геологическом разрезе осадочных морских пород.

Изучение разрезов морских пород пока заложено наличие в земной коре двух основных типов тектонических зон — геосинклиналей и платформ, различных по характеру движений, а следовательно, и по распространению, мощности и составу слагающих горных пород.

**Геосинклинали** – это весьма подвижные зоны удлинённого очертания в плане. На первом этапе развития геосинклиналь представляет собой морской бассейн, в котором при опускании дна накапливаются морские осадки огромной мощности (иногда в десятки километров). На втором этапе геосинклиналь подвергается процессам горообразования: возникают складчатые и разрывные дислокации, магматические, вулканические и сейсмические процессы и происходит общее поднятие рельефа. Одновременно интенсифицируются процессы денудации, в результате которых расчленяется рельеф, принимая горный характер, и геосинклинали преобразуются в горную область. На третьем этапе господствуют процессы денудации при постепенном затухании эндогенных процессов и выравнивания рельефа.

**Платформы** отличаются от геосинклиналей меньшей подвижностью, сравнительно ровной поверхностью и характерным «двухэтажным» геологическим строением.

**Нижний «этаж»** платформы, называемый **фундаментом**, сложен сильнодислоцированными породами большой мощности, верхний, называемый **чехлом**, — горизонтально и согласно залегающими породами умеренной или малой мощности (обычно десятки или сотни метров, реже несколько

километров). Такое строение платформы можно объяснить происхождением ее из геосинклинали, поверхность которой была выровнена на третьем этапе ее развития и подверглась позднее колебательным движениям с трансгрессиями.

Участки платформы, в которых нет чехла и фундамент выходит на поверхность, называются **щитами** (у древней платформы) или **выступами** (у более молодой платформы). Участки со значительной мощностью чехла называют **плитами**.

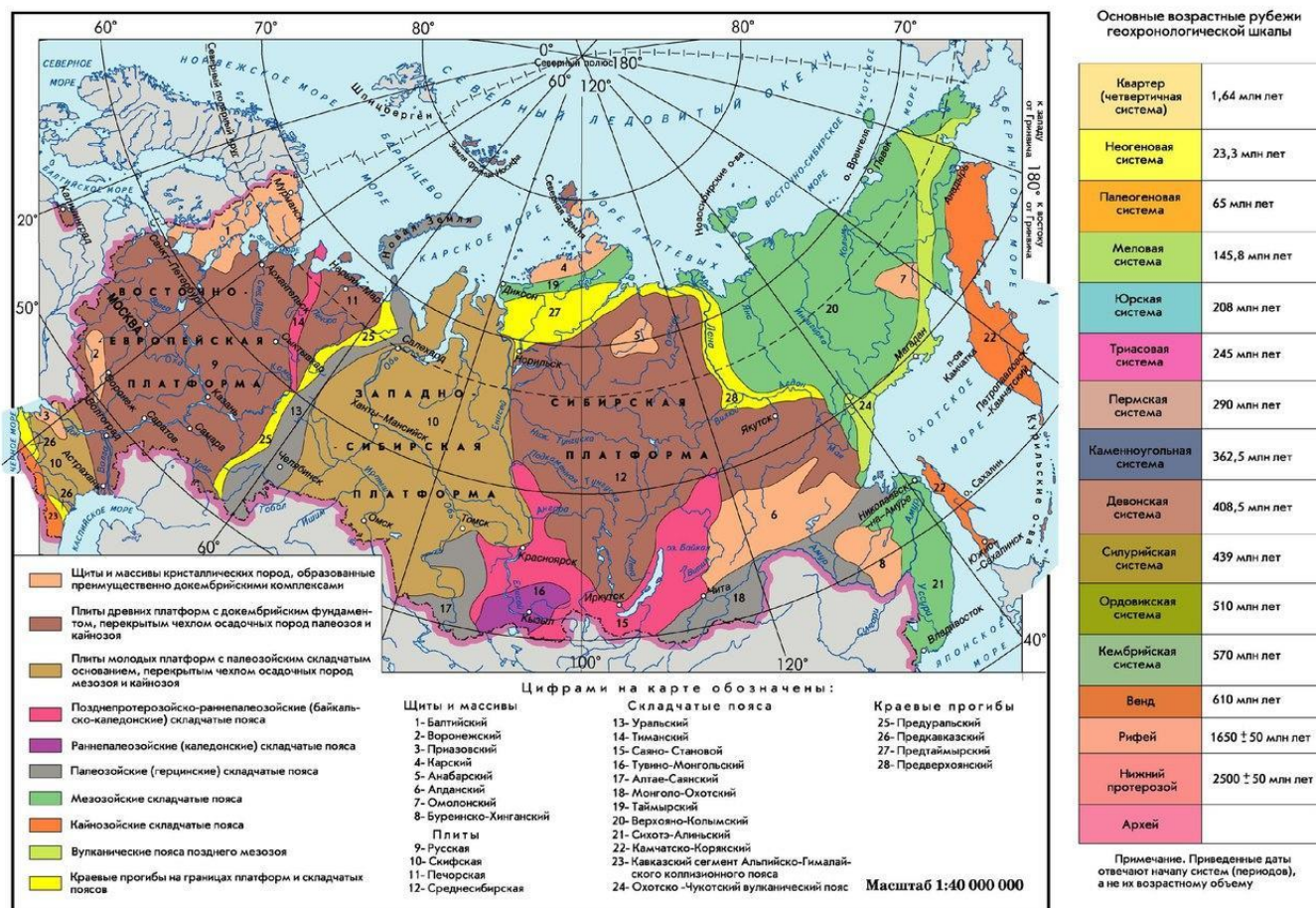


Рисунок 6 - Геотектонические элементы территории России

Платформенными тектоническими зонами второго порядка являются, например, краевые, или предгорные, прогибы. Это линейный неширокий региональный прогиб, отделяющий платформу от горноскладчатой области.

Он имеет асимметричное синклиналиное строение, отражающее постепенное перемещение его в сторону платформы.

К более мелким платформенным тектоническим зонам второго порядка относятся отдельные поднятия и валы, впадины и прогибы. В пределах

горноскладчатых областей платформенным тектоническим зонам второго порядка аналогичны межгорные прогибы, впадины и др.

Рассмотренные тектонические зоны земной коры (поднятия, впадины и прогибы платформ, предгорные прогибы, межгорные прогибы и впадины) имеют большое значение для формирования гидрографической сети и рельефа. Кроме того, осадочные породы, слагающие впадины и прогибы платформ, а также межгорные прогибы и впадины по условиям залегания и значительной мощности благоприятны для накопления значительных запасов подземных вод.

#### ***4.6 Новейшие тектонические движения земной коры.***

Движения земной коры, происходившие в последнем периоде геологической истории и отразившиеся на геологической структуре и на формах рельефа, называют новейшими ***тектоническими***. Учет их имеет большое практическое значение, в частности, при проектировании инженерных сооружений и мелиоративных систем, при геодезических работах высокой точности.

Новейшие отличаются от древних тектонических движений только краткостью времени проявления (в пределах нескольких миллионов лет) и методами изучения.

Новейшие движения можно разделить на две группы: современные, доступные непосредственному наблюдению, и более древние. Первые изучают методами геодезии, сейсмологии, истории, астрономии, геофизики и т. п., вторые – геолого-геоморфологическими методами.

#### ***Контрольные вопросы:***

- 1. Что такое геологические процессы?*
- 2. Тектонические дислокации горных пород.*
- 3. Как возникают сейсмические явления?*
- 4. Дайте определение магматизму, вулканизму, метаморфизму?*

## 5. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ.

### ВЫВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

*План:*

*5.1 Типы выветривания и их зональность.*

*5.2 Элювий и почвы.*

*5.1 Типы выветривания и их зональность.*

Процесс физического разрушения и химического разложения пород называется **выветриванием**. Основными факторами, вызывающими выветривание являются колебания температуры, действие воды, водных растворов, кислорода, углекислота, растительность и животные организмы.

Таблица 7 – Типы выветривания

	Тип выветривания		Характеристика		Форма рельефа
I	Физическое выветривание	А	Разрушение водой растворимых горных пород и минералов.	1	
II	Биогенное выветривание	Б	Выветривание горных пород и минералов, связанное с хозяйственной деятельностью человека.	2	
III	Техногенное, или антропогенное, выветривание	В	Разрушение горных пород и минералов под воздействием температуры, воды, ветра.	3	
IV	Химическое выветривание	Г	Разрушение горных пород, связанное с деятельностью растений и животных.	4	

**Физическое выветривание** – разрушение горных пород без изменения их минерального состава.

**Химическое выветривание** заключается в химическом взаимодействии минералов породы с другими минералами, водой, раствором, воздухом, различными газами и выделениями и остатками растений и животных и др.

Интенсивность проявления каждого типа выветривания определяется климатом, рельефом, стадией развития процесса, составом пород и т. д.

Органическое выветривание происходит под большим влиянием микроорганизмов; в результате зарастания поверхности горной породы вначале наименее требовательными к питанию лишайниками и мхами, затем по мере разрыхления породы более требовательными растениями.

Корни растений выделяют органические кислоты, и постепенно поверхностный слой породы преобразуется в смесь органических и минеральных веществ, называемую гумусом.

**Зональность процессов выветривания** проявляется в зависимости от климата. Полярной зоне, тундре, полупустынной и пустынной зонам, а также высокогорным районам свойственно преимущественно физическое выветривание. В аридной зоне ему способствует также кристаллизация солей. Химическое выветривание наиболее интенсивно проявляется в гумидных областях, прежде всего во влажных тропических и субтропических зонах. Этому способствуют высокие температуры и влажность, обилие растительности, отмирание которой обогащает влагу углекислотой и органическими кислотами.

Органическое выветривание наблюдается во многих климатических зонах.

Глубина проникновения процессов выветривания в земную кору зависит от климатических условий, характера выветриваемых пород и наличия в них трещин, появляющихся непосредственно в процессе образования самой породы, присутствия тектонической трещиноватости и т. д. В зависимости от указанных факторов мощность зоны физического выветривания магматических, метаморфических и сцементированных осадочных пород изменяется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Химическое

выветривание может проникать на еще большую глубину. Наличие тектонической трещиноватости способствует увеличению мощности зоны выветривания.

### **5.2 Элювий и почвы.**

Основная часть продуктов выветривания уносится с территории их образования водой, ветром, ледниками и другими факторами переноса. Небольшая часть продуктов выветривания остается на месте и в результате диагенеза образует комплекс пород, залегающий непосредственно на материнской породе и называемый *элювием*, или элювиальными отложениями. Они различны по размеру частиц — от крупных обломков пород до глинистых фракций.

Процесс выветривания начинается с поверхности земли и протекает менее интенсивно с приближением к кровле неизменной материнской породы. Поэтому степень *выветрелости* материнской породы уменьшается с глубиной, а переход элювия в материнскую породу обычно постепенный. Условия залегания и мощность элювия различны: нередко мощность существенно изменяется на расстоянии нескольких метров. Минимальная мощность элювия наблюдается на склонах, где он легко разрушается в процессе формирования, максимальная – в понижениях рельефа (метры, реже десятки метров).

В толщах грубообломочных и некоторых песчаных отложений породы элювия очень мало отличаются от материнских. В глинистых же породах элювий обычно легко выделяется по окраске, а также по включениям гипса, кальцита и других продуктов выветривания.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. *Что называется выветриванием?*
2. *Какие типы выветривания знаете?*
3. *Зональность процессов выветривания.*
4. *Что такое элювий?*

## 6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

*План:*

*6.1 Общие понятия.*

*6.2 Дефляция, коррозия и перенос, аккумуляция.*

*6.1 Общие понятия.*

В числе процессов внешней динамики Земли существенная роль принадлежит деятельности ветра. Ветер является одним из основных факторов переноса продуктов выветривания. Ветер вызывает процессы дефляции (выдувания) и корразии (обтачивания). Все эти виды деятельности ветра тесно связаны один с другим, но местами преобладают одни, местами — другие.

Деятельность ветра проявляется во всех климатических зонах, по наибольшую активность она приобретает в пустынях и на низких побережьях морей. Процессы, обусловленные деятельностью ветра, называют *эоловыми*; так же называются отложения и формы рельефа, образованные этими процессами.

*6.2 Дефляция, коррозия и перенос, аккумуляция.*

*Дефляция* – процесс выдувания мелких частиц из трещин и углублений поверхности твердых горных пород. При нарушении покрова на значительной площади дефляция нередко принимает форму *пыльных бурь*.

*Коррозия* – обтачивание, высверливание и шлифование твердых горных пород, переносимых в воздухе песком.

*Аккумуляция (наевание)* – это сумма всех процессов накопления осадков, возникающих в понижениях рельефа Земли, за счет принесенных денудацией продуктов выветривания.

Аккумулятивные формы песков в пустынях: кучевые пески, барханы, грядовые пески, бугристые пески, фоны.

**Кучевые пески** накапливаются у каких-либо препятствий, чаще всего у кустов растений, и могут достигать высоты более 10 м.

**Барханы** – асимметричные песчаные холмы, серповидные в плане, с заостренными концами, ориентированными по направлению преобладающих ветров. Высота барханов 2... 15 м, реже до 30 м. В песчаных пустынях барханы группируются в барханные цепи, или гряды, ориентированные перпендикулярно к направлению господствующих ветров.

**Грядовые пески** – это длинные, параллельные гряды симметричного очертания в поперечном разрезе. Высота гряд в Каракумах доходит до 20 м, реже до 30 м, в Сахаре – до 60 м. Гряды разделяются понижениями, днища которых покрыты глинистыми породами.

**Бугристые пески** – это песчаные холмы высотой до 5 м, реже до 8 м, неправильной формы, закрепленные растительностью.

На песчаных побережьях морей и озер господствующие ветры, дующие в направлении берега, нередко переносят пески, выбрасываемые на пляж волнением. Задерживаясь растительностью, пески образуют сначала небольшие холмики, а затем холмы и гряды, называемые **дюнами**.

**Контрольные вопросы:**

1. Какова деятельность ветра?
2. Что такое дефляция?
3. Что такое коррозия и перенос?
4. Что такое аккумуляция?



## 7. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕКУЧИХ ВОД

*План:*

*7.1 Понятие о текущих водах.*

*7.2 Работа рек.*

*7.1 Понятие о текущих водах.*

Под текущими водами понимают всю воду, стекающую по поверхности суши начиная от мелких струек, возникающих во время дождей, таяний снега, до самых крупных рек. Текучие воды являются самыми мощными из всех экзогенных факторов, преобразующих поверхность материалов. Разрушая горные породы и перенося продукты их разрушения в виде гальки, песка, глины, растворных веществ, текучие воды способны в течение миллионов лет.

Поверхностные воды размывают по своему пути горные породы, смывают со склонов продукты выветривания, транспортируют и откладывают продукты размыва и смыва в местах замедления или прекращения течения, заполняя продуктами размыва понижения рельефа, озерные, морские и океанические впадины.

Процесс размыва горных пород водными потоками называется *эрозией*. Места с наименьшими отметками рельефа, на уровне которых прекращается эрозия, называются *базисом эрозии*. Для бассейна реки в целом базисом эрозии является уровень моря или озера, в которое впадает данная река. Для притока базисом эрозии будет уровень воды в реке, в которую он впадает.

Подножие склона является базисом эрозии для водных потоков, образующихся во время дождя или таяния снега и стекающих по склону.

Эрозия происходит тем интенсивнее, чем больше разность между максимальными отметками рельефа (например, в бассейне реки) и отметками базиса эрозии и чем короче путь водных потоков, то есть больше уклон их.

Легкоразмываемые породы подвержены эрозии больше, хотя реки могут промывать глубокие долины и в крепчайших изверженных породах. Чем больше живая сила водного потока, тем больше его размывающая энергия.

Осадки, стекая по овражным водотокам, смывают почву и размывают пахотные земли; при значительных уклонах рельефа и наличии легкоразмываемых отложений они причиняют огромный ущерб сельскому хозяйству.

Особенно разрушительны осадки при ливневом характере их выпадения. Скорость роста оврага может достигать многих десятков метров в год. Интенсивная овражная деятельность имеет место в Центрально-черноземной зоне России, на Северном Кавказе, в ряде предгорных районов Средней Азии, Казахстана и т.д.

Для борьбы со смывом и эрозией почв применяют комплекс агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий (контурная обработка почв, террасирование и облесение склонов и др.).

Продукты выветривания пород, смываемые со склонов и накапливающиеся у их подножия, называются *делювием*. Эти отложения различны по крупности и в большинстве случаев характеризуются неотсортированностью. Делювиальными могут быть суглинки, щебень, пески и другие отложения.

## **7.2 Работа рек.**

Реки могут быть дождевого, снегового, ледникового, подземного и смешанного питания.

Характер источников питания, зависящий от физико-географических условий водосборного бассейна реки, определяет время наступления половодья реки, прохождения паводков и установления низких уровней (межени).

В зависимости от рельефа водосборного бассейна реки делят на:

- *горные;*
- *равнинные.*

Некоторые реки проходят и в горных, и в равнинных областях.

Горным рекам свойственны: большие уклоны и скорости течения; интенсивная *глубинная эрозия*, определяющая значительную глубину и сравнительно небольшую ширину речных долин, и грубообломочный характер переносимого и откладываемого материала (валуны, галечник, гравий, крупные пески).

Равнинные реки отличаются меньшими уклонами и скоростью течения, протекают в широких и неглубоких речных долинах; *боковая эрозия* преобладает над глубинной; переносимый и отлагаемый материал — мелкий и тонкообломочный (пески, супеси, суглинки, глины). От верховьев к низовьям в связи с уменьшением уклонов и скорости течения эрозионная энергия реки и крупность переносимого материала уменьшаются. В процессе эрозионной деятельности река, врезаюсь в горные породы, стремится выработать профиль равновесия, по достижении которого эрозия значительно ослабевает и уравнивается аккумуляцией.

Эрозионная энергия реки на протяжении геологической истории речной долины не остается постоянной. В результате тектонических движений могут повышаться верховья рек или понижаться базисы эрозии (уровень моря или озера). Это приводит к усилению эрозии. Напротив, повышение базиса эрозии или понижение верховьев уменьшает эрозионную энергию реки.

В общем случае в эрозионной работе реки выделяют четыре последовательно сменяющиеся одна другую фазы:

- глубинную эрозию — река врезаются в коренные породы или в ранее отложенные собственные наносы в результате поднятия верховьев или понижения базиса эрозии. Образующиеся в эту фазу речные долины называют молодыми; это сравнительно узкие неразработанные долины, свойственные большинству рек в горных областях, испытавших недавние поднятия;

- боковую эрозию — расширение долины, приобретающей постепенно ящикообразное сечение;

- заполнение долины аллювием одновременно со второй стадией;

- покой или завершение развития долины — по достижении базиса эрозии. Для этой стадии характерны перенос рекой аллювия за пределы бассейна, широкий и плоский характер речных долин, небольшие уклоны, извилистость русла. Изменения базиса эрозии могут вновь прервать эту стадию формирования речной долины, сменив ее фазой глубинной эрозии.

В фазы глубинной и боковой эрозии, когда река врезается в собственный аллювий, формируются аллювиальные террасы эрозионно-аккумулятивного типа.

Ширина речных долин тесно связана с особенностями их геологического строения. Речные долины суживаются в местах пересечения рекой крепких пород и расширяются (часто до десятков километров) в легкоразмываемых породах. Нередко, особенно в горных районах, долины рек приурочены к линиям тектонических нарушений, представляющих собой ослабленные и поэтому легкоразмываемые участки поверхности земли. Выходы крепких пород в русле реки придают ей порожистый характер. Суженные участки речных долин обычно выбирают под строительство плотин.

Мутность рек может меняться под влиянием хозяйственной деятельности человека. Например, устройство водохранилищ уменьшает мутность речной воды. При использовании такой осветленной воды для орошения уменьшается заиление оросительных каналов, но возрастают потери воды на фильтрацию из земляных каналов.

Речные наносы нередко обладают высоким плодородием. Поэтому при проектировании водохранилищ в орошаемых районах необходимы прогнозы возможного изменения фильтрационных потерь из оросительной сети и плодородия почв.

Наносы, откладываемые реками, называют *аллювиальными*. Для аллювия характерны косая слоистость, изменчивость крупности материала и мощности слоев — по площади и вертикали.

Эрозионная работа рек нередко угрожает населенным пунктам и гидротехническим сооружениям.

**Контрольные вопросы:**

1. *Что такое текущие воды?*
2. *Что такое базис эрозии?*
3. *Какие реки бывают в зависимости от рельефа водосборного бассейна?*
4. *Каких типов бывают эрозионно-аккумулятивные террасы?*
5. *Какие различают отложения по месту образования аллювия?*

## 8. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (РАБОТА) ЛЕДНИКОВ И ЛЬДА

*План:*

*8.1 Понятие о ледниках и оледенении.*

*8.2 Ледниковые отложения и их свойства.*

*8.3 Сезонная и многолетняя мерзлота.*

*8.4 Влияние мерзлоты на строительство.*

*8.1 Понятие о ледниках и оледенении.*

*Ледниками* называют скопления льда и фирна, медленно движущиеся в сторону падения рельефа.

Выделяют три основных типа ледников:

- *горные;*

- *материковые.*

*Горные ледники* расположены в долинах молодых высокогорных районов, *материковые* покрывают целые острова (Гренландия) или континенты (Антарктида).

В геологической истории Земли отмечено неоднократное развитие материковых ледников на значительных площадях, в том числе и на европейской территории России. Здесь отмечены следы пяти оледенений. Материковые ледники наступали со стороны Скандинавского полуострова.

*8.2 Ледниковые отложения и их свойства.*

При движении ледник отрывает, срезает и уносит обломки пород своего ложа – от глинистых и пылеватых частиц до очень крупных валунов. Этот обломочный материал, попадающий в тело ледника и перемещаемый им, называют *мореной*. Некоторые морены (движущиеся) участвуют в движении ледника, другие (отложенные) выделились из ледника при его таянии.

Движущиеся морены в зависимости от расположения их в горном леднике делятся на: поверхностные — боковые и срединные, внутренние и нижние, или донные. В материковых ледниках развиты донные и внутренние морены.

Отложенные морены развиваются главным образом при отступании ледника, когда потери льда от таяния превышают его образование.

Различают конечные и основные морены.

**Конечная морена** — это гряды обломочного материала всех видов движущихся морен, отложенного при постоянном (в течение длительного времени) положении конца (языка) ледника. Характер размещения конечных морен дает представление об истории движения ледника.

**Основная морена** образуется при отступании ледника в результате соединения донной, внутренней и поверхностной морен; последняя возникает на поверхности льда в результате вытаивания внутренней морены. Наиболее распространенный состав морен: глинистые породы с включениями грубообломочного материала; грубообломочные рыхлые породы с глинистым песком. Породы морены не обнаруживают признаков сортировки и слоистости.

Рельеф территории распространения ледниковых отложений имеет холмистый характер. Кроме разных типов морен, в нем развиты друмлины, озы, камы и др.

**Друмлины** — это холмы высотой 5...45 м, длиной 200...600 м и шириной 150...400 м, вытянутые по направлению движения ледника.

Отложения донных морен широко встречаются в северо-западной части европейской территории России. Они образуют несколько горизонтов валунные глины или валунные суглинки), разделенных отложениями водных потоков, описываемыми ниже. Области распространения донных морен, ограничены с юго-востока несколькими грядами конечных морен.

В результате таяния древних материковых ледников появились мощные потоки вод, размывавшие морены и переносившие продукты размыва в виде наносов. Отложения этих наносов называются флювиогляциальными. Они

представлены песчано-гравелисто-галечниковыми породами с редкими линзами глинистых пород и суглинками. Перед таявшими ледниками эти потоки образовали озера, в которых откладывались озерно-ледниковые породы, представленные тонкими слоями глин и мелких песков и называемые *ленточными глинами*.

Область распространения флювиогляциальных и озерных отложений имеет рельеф, существенно отличающийся от моренного. Здесь развиты следующие формы рельефа: зандры, или зандровые поля, — волнистые равнины, расположенные непосредственно за внешним краем конечных морен; озы — узкие гряды, вытянутые в направлении движения ледника высотой 5...50 м; камы — незакономерно разбросанные холмы высотой 10...12 м.

### ***8.3 Сезонная и многолетняя мерзлота.***

*Сезонной мерзлотой*, или *сезонным промерзанием*, называется промерзание в холодный сезон года поверхностной зоны земной коры. Глубина сезонного промерзания местами достигает 3 м. Она зависит от климатических и погодных условий, состава, состояния и свойств горных пород, состояния снегового и растительного покрова, а также от формы хозяйственного использования территории. Промерзание начинается с поверхности и постепенно распространяется в глубину. При этом во влажных глинистых и пылеватых породах, а также в мелких песках происходит подсосывание влаги к замерзшей породе с выделением льда и поднятием поверхности земли, называемым *пучением*. В случае препятствия этому поднятию в замерзшей породе возникает давление пучения. Вследствие пучения может возникнуть бугристый микрорельеф и произойти деформация сооружений. В период весеннего оттаивания породы влажность ее возрастает за счет перемещенной влаги. Это резко снижает механическую прочность породы и может вызвать ее разжижение. Интенсивность пучения возрастает при подъеме уровня грунтовых вод. В сухих глинистых породах подсосывания грунтовой воды и пучения не происходит. В твердых и крупнообломочных породах, а также в крупных и



средних песках замерзание и оттаивание не оказывают вредного влияния на механическую прочность породы.

**Многолетняя мерзлота** – это многолетнее сохранение породой отрицательной температуры; широко распространена в восточной и северо-восточной частях России (рисунок 7) на площади около 49% всей территории страны.

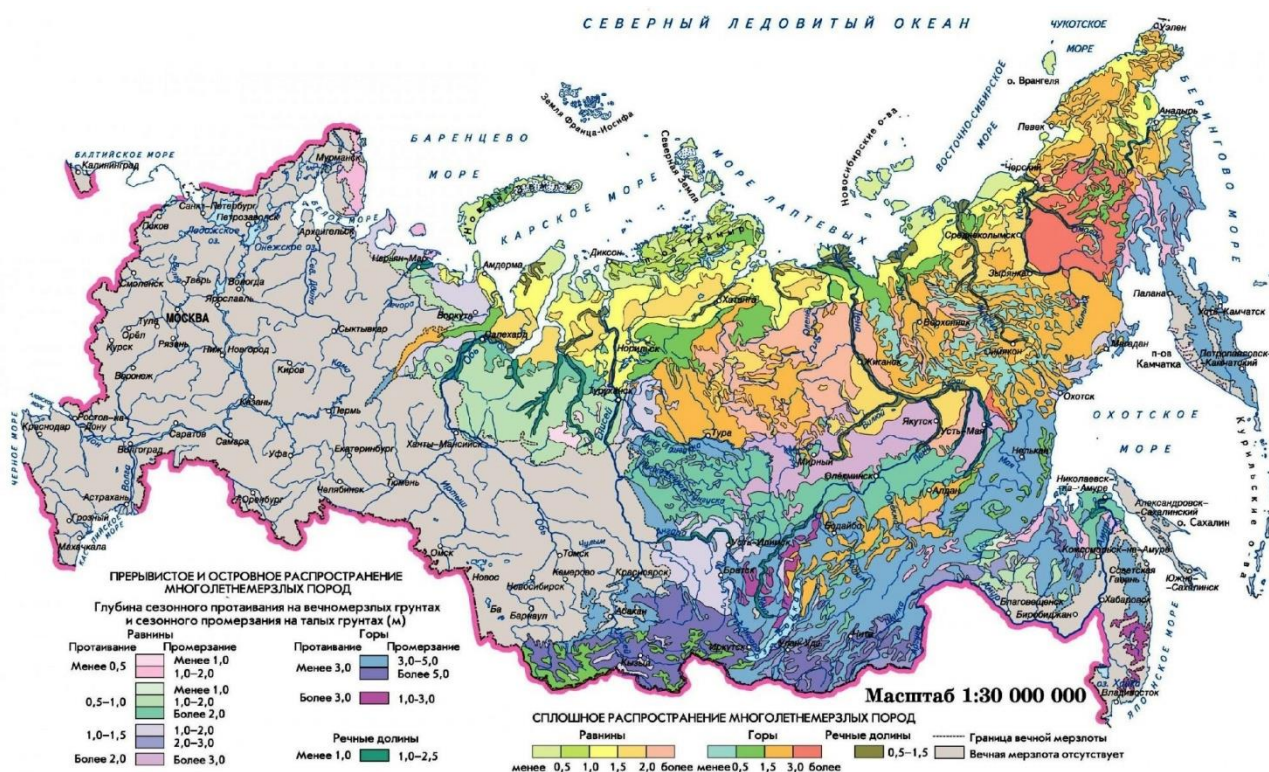


Рисунок 7 – Сезонное промерзание и протаивание грунтов

Под долинами крупных рек многолетней мерзлоты нет. Максимальная мощность многолетнемерзлых пород не установлена; в Якутске она превышает 200 м, постепенно уменьшаясь к границе распространения. Глубина сезонного промерзания достигает 3 м. В Башкирии нормативная глубина промерзания грунтов изменяется 1,68-1,86 м.

Резкого характера эта граница не имеет: к северу от нее встречаются островки талых пород (талики), к югу – островки многолетнемерзлых пород. Температура этих пород в зоне сплошного распространения ниже минус 5°С, в зоне распространения таликов – от минус 5 до минус 1,5°С, при преобладании таликов – более минус 1,5°С.

Самая верхняя часть земной коры в районах многолетней мерзлоты в течение теплого сезона года и временных потеплений оттаивает; она называется **деятельным слоем**. Если в зимний сезон деятельный слой промерзает в пределах всей мощности, то многолетняя мерзлота называется сливающейся, в противном случае — несливающейся.

Если в пределах деятельного слоя находится вода, то при зимнем промерзании этого слоя она оказывается зажатой между двумя мерзлыми пластами и в ней возникает гидростатический напор. Найдя выход на поверхность, растекаясь и замерзая, вода образует **наледь**. Бугры, образующиеся в результате замерзания деятельного слоя и приподнимающие верхние слои породы, называются **гидролакколитами**.

Таяние ледяных линз и прослоев в толще мерзлых пород сопровождается провальными явлениями поверхности земли, называемыми **термокарстом**. Переувлажнение при оттаивании деятельного слоя нередко вызывает явления разжижения и оплывания поверхностного слоя глинистых пород с образованием натечных и террасообразных форм рельефа, объединяемые названием **солифлюкции**.

#### **8.4 Влияние мерзлоты на строительство.**

В зоне сезонной мерзлоты, а также в деятельном слое многолетней мерзлоты большое влияние на строительство оказывает понижение механической прочности глинистых, пылеватых пород и мелких песков при их оттаивании. Не менее опасно пучение пород, которое может вызвать нарушение устойчивости сооружений. Для сооружений с основаниями в многолетнемерзлой толще главное – поддержание природного мерзлого состояния пород, поскольку таяние резко снижает их прочность.

В геологической истории Земли отмечено несколько оледенений. В Европейской части России до 6 оледенений.

**Контрольные вопросы:**

1. *Что называется ледниками?*
2. *Назовите основные типы ледников.*
3. *Ледниковые отложения и их свойства.*
4. *Что такое морена?*
5. *Что такое пучение?*
6. *Сезонная и многолетняя мерзлота.*
7. *Влияние мерзлоты на строительство.*

## 9. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ

### *План*

#### *9.1 Деятельность моря.*

#### *9.2 Морские отложения.*

#### *9.1 Деятельность моря.*

Океаны и моря занимают 361 млн. км<sup>2</sup> (70,8 % поверхности Земли) и они являются средой жизнедеятельности растений и животных. Они активно взаимодействуют с окружающей сушей, разрушают породы берегов и дна, принимают и перерабатывают весь материал, приносимый с суши в виде взвешенных и донных наносов, а также в виде растворов. В них образуются основная масса осадочных пород, этим определяются огромное значение моря как геологического фактора.

Глубина Мирового океана изменяется от 2,5 до 6 км, а в отдельных впадинах превышает 11 км.

По площади выделяют следующие четыре зоны:

- область шельфа (или материковая отмель) с глубинами до 200 м;
- континентальный склон с глубинами от 200 м до 2,5 км;
- ложе океана с глубинами от 2,5 до 6 км;
- глубоководные впадины с глубинами более 6 км, сосредоточенные главным образом у островных дуг и близ материков.

В пределах шельфа различают подводный береговой склон, пляж и морские террасы. Последние располагаются как выше современного уровня моря, так и ниже его.

Геологическая деятельность моря проявляется в двух направлениях — разрушительном (абразия) и созидательном (осадкообразование и осадконакопление).

Абразия непосредственно связана с движением морской воды, особенно с волнением под действием ветра. Оно наиболее интенсивно у поверхности, но с

затухающей силой распространяется на глубину — в морях до 100 м, в океанах до 200 м и глубже. Наибольшей разрушительной силой обладает *прибой*, возникающий, когда волны, подходя к берегу, уменьшают скорость, но увеличивают высоту и, опрокидываясь на берег, создают обратное сточное течение.

В процессе абразии одновременно действуют три фактора:

- гидравлические удары волн;
- удары и трение обломков горных пород, захваченных волнением, в состав которых вовлекаются иногда глыбы массой более 100 т;
- химическое действие воды.

Наиболее интенсивно указанные процессы проявляются у крутых скалистых берегов. Здесь первоначально возникает небольшое углубление у подошвы берегового склона. С усилением процесса у подошвы склона образуется *волноприбойная ниша*. Дальнейшее увеличение ниши вызывает обрушение ее кровли с восстановлением крутизны склона и повторением процесса. В результате происходит *отступление берега* и образование *абразионной террасы*. Последняя местами покрывается тонким слоем продуктов разрушения берега. Этот материал, передвигаясь, постепенно дробится и окатывается, превращаясь в гальку, гравий, песок и более мелкие частицы. Нередко этот материал уносится за пределы абразионной террасы, образуя подводную аккумулятивную террасу.

При направлении волнения под острым углом к береговой линии возникает береговое течение, перемещающее обломочный материал (наносы) вдоль берега. При сложении берега растворимыми породами морская вода, содержащая свободную углекислоту, растворяет их, образуя в нижней части склона пещеры, а в верхней – каверны.

Скорость абразии берегов, сложенных осадочными породами, составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров в год. В магматических и метаморфических породах этот процесс почти не заметен.

Борьба с абразией осуществляется укреплением берега, применением специальных гидротехнических сооружений, снижающих интенсивность прибоя и усиливающих процесс отложения у подошвы берега передвигающихся наносов. Первая задача решается устройством в море на некотором расстоянии от берега волноотбойных стен и волноломов – дамб. Для выполнения второй задачи поперек береговой линии устраивают систему дамб, пересекающих подводный поток передвигающихся наносов.

### ***9.2 Морские отложения.***

Основные массы осадочных горных пород, слагающих земную кору, образовались в морской среде.

Морские осадочные породы делятся на:

- обломочные;
- органогенные;
- химические.

Каждая из этих групп пород образуется на определенных глубинах.

К обломочным породам относятся пески, илы, глины, а также более крупные породы – гравий, галька, глыбы и др.

Органогенные породы представлены известняками, мелом, илами и т. д.

Из химических осадков моря наиболее распространен карбонат кальция (известняки), который оседает в пределах шельфа в верхних частях водоемов, расположенных в зонах жаркого климата, где температура воды не ниже 20 °С. Карбонат кальция выпадает здесь в виде мелких шариков, образующих известняки, или в виде известкового ила. Распространение химических известняков невелико по сравнению с органогенными известняками, в состав которых входит большое количество остатков раковин моллюсков. Реже встречаются осадки солей железа, марганца и алюминия.

Диагенез, или окаменение, морских осадков, то есть преобразование их в осадочную породу, включает следующие четыре основных процесса:

- выщелачивание из осадка малоустойчивых в новой физико-химической обстановке минералов;

- образование новых минералов;

- перераспределение веществ и образование включений (конкреций);

- перекристаллизацию и цементацию.

Как и большинство других геологических процессов, диагенез характеризуется значительной длительностью: нередко он продолжается в течение десятков и сотен тысячелетий.

Песчано-глинистые породы морского происхождения по свойствам близки к пресноводным отложениям, но отличаются от них большей механической прочностью, меньшей деформируемостью, а также значительно большей однородностью по площади распространения.

***Контрольные вопросы:***

1. *Деятельность моря.*

2. *Морские отложения.*

3. *На какие группы делятся морские осадочные породы?*

4. *Что такое диагенез?*

## 10. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВОДЫ В ЗАМКНУТЫХ ВОДОЕМАХ

**План:**

**10.1 Понятие о замкнутых водоемах.**

**10.2 Озерные и болотные отложения.**

**10.3 Переработка берегов водохранилищ.**

**10.1 Понятие о замкнутых водоемах.**

К замкнутым водоемам принадлежат озера, болота, водохранилища.

По характеру водообмена различают **проточные озера**, имеющие поверхностный сток, осуществляемый реками, и **бессточные**, лишенные поверхностного стока. Некоторые озера имеют не поверхностный, а подземный сток.

Вода проточных озер обычно пресная, а бессточных — пресная или соленая в зависимости от климата.

Самое большое озеро на земном шаре — Каспийское, называемое обычно морем за огромные размеры (420 тыс. км<sup>2</sup>).

По происхождению впадины озера делятся на:

- **тектонические** – образованы в результате тектонических дислокаций (например, Байкал, Исскандеркуль);
- **эрозионные** – возникли при экзогенных разрушениях земной поверхности;
- **карстовые** – провальнo-карстового происхождения;
- **плотинные** – расположены в долинах, запруженных природными плотинами, образованными в результате экзогенных (обвал, ледниковые процессы и т. п.) или вулканических процессов.



## **10.2 Озерные и болотные отложения.**

Геологическая работа озер сходна с работой морей. Как и моря, озера разрушают берега и откладывают на дне обломочные, глинистые, химические и биохимические осадки.

Существенные отличия работы озер следующие:

- меньшие масштабы явлений абразии и аккумуляции;
- интенсивное развитие во многих озерах влаголюбивой растительности, способствующей превращению мелководных участков озер в болота;
- большой диапазон минерализации воды – от пресной до рассолов.

В некоторых озерах минерализация в десятки раз превышает минерализацию морской воды, которая составляет обычно не более 3,5%. Из обломочных раздельно-зернистых отложений в озерах встречаются все гранулометрические разности — от алеврита до камней и валунов; широко распространены глинистые отложения, в том числе ленточные глины.

Большое хозяйственное значение имеют химические осадки озер, представленные гипсом, галитом, содой, калийными солями, мергелями, известковыми туфами, железными рудами, кремнистыми соединениями.

**Болотами** называют избыточно увлажненные территории, покрытые слоем торфа мощностью не менее 30 см в неосушенном и 20 см в осушенном состоянии.

Избыточно увлажненные территории, не покрытые торфом вышеуказанной мощности, называют **заболоченными землями**.

По характеру питания болота делятся на:

- **верховые;**
- **низинные;**
- **переходные.**

**Верховые болота** расположены на водораздельных площадях, питаются осадками. Растительность их представлена в основном сфагновыми мхами, развивающимися при дефиците в воде минеральных солей.

**Низинные болота** занимают пониженные элементы рельефа, образуются путем заторфовывания водоемов, питаются грунтовой и частично поверхностной водой, достаточно богатой минеральными солями. Заторфовывание водоема происходит вследствие зарастания влаголюбивой растительностью мелководных участков озер и медленных водотоков. Отмирающие части растений образуют на дне водоема, или водотока постепенно растущий слой осоково-травяного торфа. Часть растений создает плавающий ковер, называемый **сплавинной**. Сплавина постепенно нарастает на поверхности, превращаясь в плавающий торфяник, а отмирающие части ее опускаются на дно и формируют там слой ила – **сапрпель**. Со временем сплавина покрывает всю поверхность водоема. Если на дне имеются ключи, то в сплавине остаются незаросшие участки, называемые **окнами**.

По мере увеличения мощности торфа питание болота грунтовой водой затрудняется, а низинное болото постепенно переходит в **болото переходного типа**. Оно характеризуется тем, что наряду с травяно-моховыми растениями распространяется смешанный лес из ольхи, березы, ели и сосны.

Реже встречаются **ключевые болота**, развивающиеся у родников. Если эти болота располагаются на верхней и средней частях склонов, то называются **висячими**.

Особый тип болот составляют **пойменные**, возникающие в поймах рек.

Основные болотные образования – торф и сапрпель.

**Торф** представляет собой механическую смесь частично разложившихся растений с бесструктурной гумусовой массой. В торфяной толще нередко содержатся линзы и прослойки обломочного материала, а также пни деревьев. Строительные свойства торфа сильно зависят от его **зольности**, определяемой остатком при прокаливании.

Все виды торфа характеризуются очень высокой сжимаемостью и влагоемкостью, а также низкой механической прочностью. Лишь при зольности более 80% торфа по свойствам приближаются к минеральным породам.

**Сапропель** состоит главным образом из остатков микроскопических растений и животных, разложение которых ввиду недостатка кислорода происходит медленно.

От торфа сапропель отличается студнеобразной консистенцией и некоторой упругостью. Он не пачкает рук, при высыхании сильно уменьшается в объеме и делается твердым. Предполагается, что древние отложения типа сапропеля послужили материалом для образования нефти, горючих сланцев и некоторых видов каменного угля.

Болота по мощности болотных отложений или по глубине принято разделять на три группы:

- *мелкие – от 0,2 до 2 м;*
- *средние – от 2 до 4 м;*
- *глубокие – более 4 м.*

### ***10.3 Переработка берегов водохранилищ.***

Геологические процессы, связанные с устройством водохранилищ, по характеру очень близки к процессам, сопровождающим геологическую деятельность озер. Но по происхождению они относятся к инженерно-геологическим, и специфика их определяется следующими причинами:

-современные берега и ложа озер образованы в результате длительных процессов геологического масштаба, переработка же берегов водохранилищ связана с резким изменением природного гидрологического режима и осуществляется сравнительно быстро (в течение нескольких лет, реже десятилетий):

- сезонный и многолетний гидрологические режимы водохранилищ более изменчивы, чем у озер. Сезонные изменения уровней большинства озер не выходят за пределы 1...2 м, у водохранилищ же они нередко превышают 10 м;

- характер переработки берегов водохранилищ в значительной степени зависит от способа их водохозяйственной эксплуатации. Если уровни изменяются резко, то берега приобретают вид системы террас.

Интенсивность переработки берегов, вызванной абразией и аккумуляцией, зависит от площадей поверхности и глубины водохранилища. Большую роль играют также состав, свойства и условия залегания горных пород береговых склонов и дна, первоначальные (до затопления) план и профиль берегов.

В ходе переработки берегов водохранилища береговые склоны уполаживаются, и одновременно в зоне колебаний уровня воды образуются прибрежные отмели. Эти процессы постепенно затухают, хотя временно могут усиливаться при наложении на абразию активных склоновых процессов (оползни, обвалы и т.п.). Последние уменьшают полезную площадь земель, прилегающих к водохранилищам.

***Контрольные вопросы:***

- 1. Понятие о замкнутых водоемах.*
- 2. Озерные и болотные отложения.*
- 3. Переработка берегов водохранилищ.*
- 4. На какие группы делятся озера по происхождению впадины?*
- 5. Что такое проточные озера?*
- 6. Что такое болото?*
- 7. По характеру питания, какие бывают болота?*
- 8. Что такое торф?*
- 9. Что такое сапрпель?*

## РАЗДЕЛ 2. ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Гидрогеология — наука о подземных водах. Подземными называются воды, находящиеся ниже поверхности земли, приуроченные к различным горным породам и заполняющие поры, трещины и карстовые пустоты. Гидрогеология изучает происхождение и развитие подземных вод, условия их залегания и распространения, законы движения, процессы взаимодействия подземных вод с вмещающими горными породами, физические и химические свойства подземных вод, их газовый состав; занимается изучением вопросов практического использования подземных вод для питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения, а также разработкой мероприятий по борьбе с подземными водами при строительстве и эксплуатации различных объектов, ведении горных работ и др.

Подземные воды находятся в сложной взаимосвязи с горными породами, слагающими земную кору, изучением которых занимается геология; поэтому геология и гидрогеология неразрывно связаны между собой, о чем свидетельствует и само название рассматриваемой науки.

Гидрогеология охватывает значительный круг вопросов, изучаемых другими науками, и находится в тесной связи с метеорологией, климатологией, гидрологией, геоморфологией, почвоведением, литологией, тектоникой, геохимией, химией, физикой, гидравликой, гидродинамикой, гидротехникой, горным делом и др.

Значение подземных вод в геологических процессах исключительно велико. Под влиянием подземных вод изменяются состав и строение горных пород (физическое и химическое выветривание), происходит разрушение склонов (оползневые и карстовые явления) и пр.

Гидрогеология представляет собой комплексную науку и разделяется на следующие самостоятельные разделы:

1. «Общая гидрогеология» — изучает круговорот воды в природе, происхождение подземных вод, физические свойства и химический состав вод как сложных динамических природных систем и их классификации.

2. «Региональная гидрогеология» — изучает закономерности распространения подземных вод на территории и соответственно общности гидрогеологических условий определенных территорий, производит районирование последних.

3. «Динамика подземных вод» — изучает закономерности движения подземных вод, которые позволяют решать вопросы водоснабжения, орошения, осушения, при определении притоков воды в горные выработки и многие другие.

4. «Гидрогеохимия» — изучает вопросы формирования химического состава подземных вод.

## 11. ГИДРОСФЕРА

**План:**

**11.1 Гидросфера и кругооборот воды в природе.**

**11.2 Виды воды в горных породах.**

**11.3 Свойства горных пород по отношению к воде.**

**11.4 Понятие о зоне аэрации и насыщения.**

**11.1 Гидросфера и кругооборот воды в природе.**

Вода на земном шаре находится в постоянном круговороте. Различают большой и малый круговороты. Процесс круговорота в природе в количественном выражении характеризуется водным балансом (рисунок 11), баланс которого по Б.И. Куделину выражается

$$x = y + z \pm w, \quad /1/$$

где  $x$  – осадки, мм;

$y$  – речной сток, мм;

$z$  – испарение, мм;

$w$  – среднегодовое питание глубоких горизонтов, мм.

Часть атмосферных осадков, проникших в породы, достигает поверхности водоносных горизонтов и идет на их питание. Поверхностный и подземный сток в сумме образуют полный речной сток. Подземный сток и суммарное испарение составляют увлажнение валовой территории, равное разности осадков и поверхностного стока. На питание на территории РБ идет от 5-7 до 15-20%, а в карстовых районах (Уфимское плато) до 90 % осадков. Подземное питание (инфильтрация) зависит от климатических условий территории, почвенно-растительного слоя, геоморфологических и геологических факторов.

## 11.2 Виды воды в горных породах.

Различают следующие виды воды в породах: парообразная, гигроскопическая, пленочная, гравитационная, кристаллизационная, химически связанная.

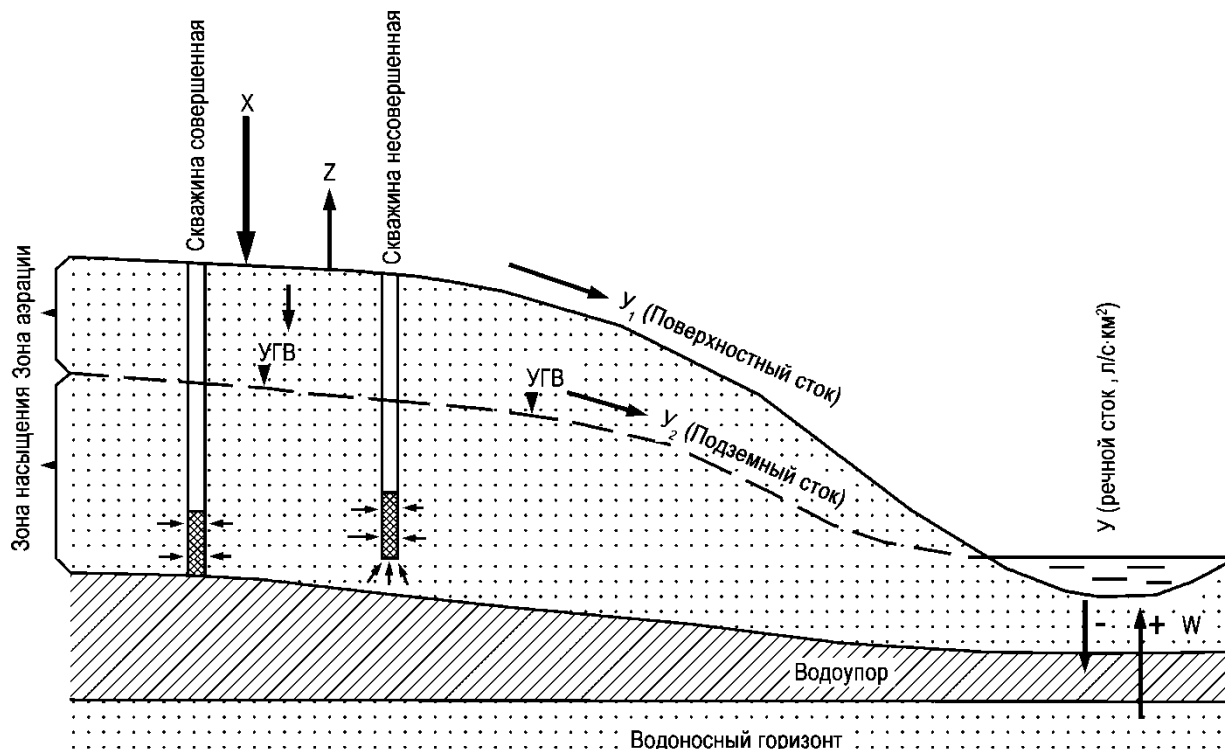


Рисунок 8 - Схема водного баланса

**Парообразная** – находится в форме водяного пара в воздухе, присутствующем в порах и трещинах горных пород. При охлаждении путем конденсации переходит в жидкую воду.

**Гигроскопическая** (прочно связанная) вода удерживается на поверхности частиц молекулярными и электростатическими силами. Она не передает гидростатический напор, не обладает растворяющей способностью, не замерзает до  $78^{\circ}\text{C}$ . При нагревании до  $100-105^{\circ}\text{C}$  полностью удаляется. Содержится в песках 1%, супесях 8%, глинах до 18%, недоступна для растений.

**Пленочная** (рыхлосвязанная) вода образуется при конденсации водяных паров. Она покрывает тонкой пленкой 0.01мм поверхность частиц, удерживается молекулярными силами, плотность близка к плотности свободной воды, способна передвигаться от частицы к частице под влиянием сорбционных сил, не передает гидростатический напор. Содержание в песках 1-



7%, супесях 9-13, суглинках 15-23%, глинах 25-45%. От содержания этой воды резко изменяются прочностные свойства глинистых пород.

**Капиллярная** вода (собственно-капиллярная, подвешено-капиллярная вода) содержится в тонких порах в виде капиллярной каймы над уровнем грунтовых вод в интервале влажности от наименьшей влажности (НВ) до полной влажности (ПВ). Высота капиллярного поднятия составляет для галечников, гравия, крупнозернистых песков-0, среднезернистых песков 15-35 см, мелкозернистых песков – 35-100 см, супесей – 100-150, глин – 400-500 см.

**Гравитационная** вода – подчиняется силе тяжести. Движение происходит под влиянием силы тяжести и градиента напора, передает гидростатический напор. В целом гидрогеология изучает эти воды.

**Кристаллизационная** вода входит в состав кристаллической решетки минералов ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

**Химически связанная** вода (конституционная) участвует в строении кристаллической решетки минералов.

### ***11.3 Свойства горных пород по отношению к воде***

**Главнейшими свойствами пород** являются: плотность, объемная масса, пористость, водопроницаемость, влагоемкость, растворимость, водоотдача. Зависят они от минерального состава пород, их строения, сложения, трещиноватости, скважности.

**Гранулометрический состав** – процентное содержание в рыхлой породе частиц различного размера. Гранулометрический состав несвязных пород согласно ГОСТ 12536-2014 определяется с помощью ситового анализа, который заключается в последовательном просеивании породы через набор сит и взвешивании материала, остающегося на каждом сите. Для просеивания песчаных пород применяется набор сит с диаметром отверстия 10, 5, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,1 мм. Гранулометрический состав пород для наглядности

представляются в виде кривой гранулометрического состава построенного в полулогарифмическом масштабе (рисунок 9).

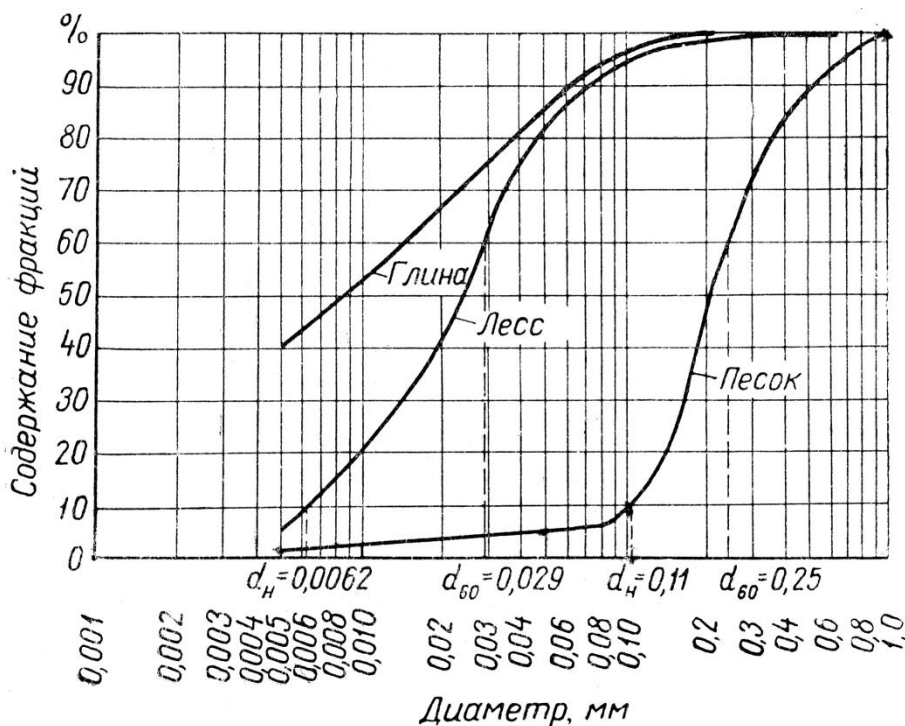


Рисунок 9 - График гранулометрического состава

Кривая неоднородности позволяет подсчитать величину коэффициента неоднородности:  $K_{\frac{60}{10}} = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ , где  $K_{\frac{60}{10}}$  – коэффициент неоднородности,  $d_{60}, d_{10}$  – диаметры частиц, меньше которых в данной породе содержится соответственно 60 и 10 % частиц по весу.

Гранулометрический состав связанных пород определяется ареометрическим методом или методом пипетки, основанных на различной скорости оседания частиц в воде.

**Плотность** ( $\gamma$ - гамма) – отношение массы твердых частиц к их объему. Величина плотности песчано-глинистых частиц лежит в интервале ( $\text{г/см}^3$ ) от 2,5 до 2,8  $\text{г/см}^3$ , супесей 2,70, суглинков – 2,71, глин – 2,74.

**Объемная масса** влажной породы ( $\gamma_0$ ) – это масса единицы объема породы при естественной влажности и пористости

$$\gamma_0 = \frac{P}{V}, \quad /2/$$

где  $P$  – масса пробы, г;  $V$  – объем пробы,  $\text{см}^3$ ;

$\gamma_0$  – изменяется от 1.3-2.4, г/см<sup>3</sup>.

Более постоянной величиной является объемная масса скелета породы – масса твердой компоненты в единице объема породы.

Вычисляется

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_0}{1 + 0,01 \cdot w}, \quad /3/$$

где  $w$  – влажность породы, %

**Пористость** – суммарный объем всех пор в единице объема породы. Пористость определяется как отношение объема пор в породе ( $V_{п}$ ) ко всему занимаемому породой объему ( $V$ ), выражается в процентах;  $p = V_{п} / V \cdot 100\%$ . Кроме того, часто используется коэффициент пористости  $\varepsilon$  (эпсилон)  $= p / (1 - p)$ . Пористость глинистых пород достигает 50-60%, пески – 35-40%, песчаники – 2-38%, известняки, мергели – 1.5-22%, граниты, гнейсы, кварциты 0.02-2%.

**Абсолютная влажность** – отношение массы воды к массе абсолютно сухого грунта в данном объеме, выраженная в процентах.

**Естественная влажность** – количество воды, содержащейся в порах пород в условиях их естественного залегания. Влажность, выраженную по отношению к объему породы называется относительной влажностью.

**Влагоемкость** – максимальная молекулярная характеризует количество воды, удерживающееся в породе благодаря молекулярным силам сцепления между грунтовыми частицами и водой (показывает содержание связанной воды). Различают полную, капиллярную и наименьшую влагоемкость.

**Водопроницаемость** – способность пород пропускать через себя воду, движение воды в грунтах под действием напора называется фильтрацией. Растворимость – способность пород растворяться в воде, зависит от температуры, скорости течения воды, содержания  $CO_2$  и др.

### ***11.4 Понятие о зоне аэрации и насыщения***

В рыхлых породах ниже уровня грунтовых вод все поры заполнены водой – зона насыщения, слой выше называется зоной аэрации – мощность ее равна глубине залегания грунтовых вод.

**Водоносный горизонт** – однородные по литологическому составу и гидрогеологическим свойствам пласты горных пород.

**Водоносный комплекс** – комплекс водонасыщенных пород приуроченных к толще определенного возраста.

#### ***Контрольные вопросы:***

- 1. Гидросфера и кругооборот воды в природе.*
- 2. Виды воды в горных породах.*
- 3. Свойства горных пород по отношению к воде.*
- 4. Понятие о зоне аэрации и насыщения.*

## 12. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*План:*

*12.1 Происхождение подземных вод.*

*12.2 Законы фильтрации подземных вод.*

*12.3 Определение направления и скорости движения подземных вод.*

*12.4 Основные гидрогеологические параметры.*

*12.1 Происхождение подземных вод*

*По происхождению подземные воды делятся на:*

1. **Инфильтрационные** – воды образуются в результате просачивания с поверхности земли осадков, поверхностных вод в поры, трещины горных пород. Это основная группа инфильтрационных вод, содержащихся в земной коре
2. **Конденсационные** – воды образуются при конденсации водяных паров в зоне аэрации, пещерах и пр.
3. **Седиментационные** – образуются за счет вод водоемов, в которых происходило накопление осадочных пород.
4. **Магматического происхождения** – образуются при извержении вулканов.

*12.2 Законы фильтрации подземных вод*

**Фильтрация** – движение подземных вод в порах и трещинах горных пород. Если движение воды происходит в породах, не полностью насыщенных водой, то его называют инфильтрацией (через зону аэрации). Втекание осадков или поверхностных вод через трещины скальных пород называется инфлюацией. Различают ламинарное и турбулентное движения воды.

Основной закон ламинарного движения жидкости в пористых породах был установлен Дарси (1856 г.) На основе этого закона Дюпюи (1857 г.)

разработал зависимость для определения расхода потока подземных вод и притока их к водозаборам.

**Ламинарное** (параллельно струйчатое) движение происходит без пульсации скорости. Установившееся движение подземных вод характеризуется постоянством во времени в любом сечении мощности, напорного градиента скорости фильтрации и расхода. Неустановившееся движение подземных вод – движение, при котором расход, направление и уклон потока изменяются во времени.

Турбулентное движение (вихревое) характеризуется пульсацией скорости, в следствие чего перемешиваются различные слои потока (карстовые воды, по трещинам).

***Законы фильтрации подземных вод. Линейный закон фильтрации.***

**Ламинарное движение подземных вод** подчиняется линейному закону фильтрации (закон Дарси – по фамилии французского ученого установившего этот закон 1856г. для пористых зернистых пород). Этот закон формулируется так: скорость фильтрации при ламинарном движении пропорциональна гидравлическому уклону в первой степени.

$$V=K \cdot I, \quad /4/$$

где  $V$  – скорость фильтрации;

$K$  – коэффициент фильтрации;

$I$  – напорный градиент гидравлический уклон.

$$I = (H_1 - H_2) / L,$$

При градиенте напора  $=1$  коэффициент фильтрации равен скорости фильтрации.

$$Q=K \cdot I \cdot \omega, \quad /5/$$

где  $Q$  – расход фильтрационного потока – количество воды, протекающее через данное поперечное сечение потока в единицу времени, м<sup>3</sup>/сут.;

$K$  – коэффициент фильтрации;

$I$  – градиент напора;

$\omega$  – поперечное сечение;

Q – определяется мерными сосудами.

$$Q=V/t, \text{ л/с.} \quad /6/$$

### **Определение дебита источников водосливами.**

Расход воды трапецеидального сечения

$$Q=0,0186 \cdot b \cdot h \sqrt{h}, \text{ л/сек,}$$

где Q – расход источника, л/сек;

b – ширина нижнего водосливного ребра в см;

h – высота уровня воды перед водосливным ребром, см.

Треугольное сечение

$$Q=0,014 \cdot h^2 \sqrt{h}, \text{ л/с.} \quad /7/$$

Прямоугольное сечение

$$Q=0,018 \cdot b \cdot h \sqrt{h}, \text{ л/с.} \quad /8/$$

Водослив трапецеидального сечения применяется для замера больших дебитов – более 10 л/сек (100-200 л/сек), а менее 10 л/сек – треугольного или прямоугольного сечения.

**Градиент напора** можно определить по гидроизогипсам – линиям, соединяющим одинаковые отметки поверхности грунтовых вод или гидроизопьезам – линии, соединяющие точки одинаковых напоров напорных вод. Градиент напора непостоянен во времени, он может возрастать при усилении питания подземных вод и уменьшаться при его ослаблении.

Движение подземных вод происходит не через все сечения потока, а лишь через часть его, соответствующую площади пор или трещин. Действительная скорость фильтрующейся воды равна

$$V=Q/n \cdot \omega, \quad /9/$$

где Q – расход фильтрационного потока, м<sup>3</sup>/сут;

n – пористость породы;

ω – поперечное сечение потока, м<sup>2</sup>.

В глинистых породах n – составляет активную пористость, которая характеризует часть сечения породы, способную пропускать гравитационную воду.

По данным Г.Н. Каменского линейной закон фильтрации справедлив при скорости движения подземных вод до 400 м/сутки.

Фильтрация через глинистые породы может начаться лишь при условии, если градиент напора превысит напорный начальный градиент. Для глин, суглинков этот начальный градиент различный.

**Нелинейный закон фильтрации (закон Шези-Краснопольского)** характеризует турбулентное движение, характерное для сильнотрещиноватых пород с крупными пустотами

$$V = K\sqrt{I}, \quad /10/$$

где  $V$  – скорость фильтрации м/сут.;

$K$  – коэффициент фильтрации, м/сут.;

$I$  – напорный градиент.

### ***12.3 Определение направления и скорости движения подземных вод.***

Движение подземных вод в порах рыхлых пород нельзя рассматривать как движение потока, все струйки которого перемещаются с одинаковой или примерно одинаковой скоростью. Производить сколько-нибудь точное разграничение линий токов воды в порах различных пород не представляется возможным, поэтому при рассмотрении вопросов движения подземных вод можно говорить лишь о средней скорости движения воды в пределах той или иной среды. Определение скорости движения подземных вод (действительной скорости  $V_d$ ) производится в полевых условиях. Для определения используют индикаторы, которые изменяют цвет или химический состав и электропроводимость воды.

Для проведения опытов выбирается две скважины (шурфа), иногда четыре, расположенных по линии направления движения воды. Выработка, находящаяся выше по течению, служит для ввода индикатора в воду, ее называют опытной. Выработки, расположенные ниже по течению называются наблюдательными. Расстояние между ними выбирается в зависимости от пород от 0,5-1,5 до 2,5-5,0 м. В качестве индикатора используются красители



(флюоресцен и др.). Кроме того, в качестве индикатора применяется поваренная соль (химический метод), имеются радиоиндикаторные методы, метод природных изотопов и др. Широко применяется геофизический метод – метод эквипотенциальных линий (метод заряженного тела). Величины действительной скорости движения ( $V_d$ ) могут быть использованы для вычисления коэффициента фильтрации пород, при решении вопроса о суффозии под сооружениями и пр.

Для выявления направления движения подземных вод на больших площадях составляют карты гидроизогипс и гидроизопьез. При решении гидротехнических, гидромелиоративных задач (орошение, осушение) строят гидроизогипсы и на их основе строят карты глубин залегания подземных вод. Направление потока подземных вод перпендикулярно гидроизогипсам.

#### ***12.4 Основные гидрогеологические параметры.***

Наиболее важными свойствами горных пород являются фильтрационные, которые характеризуются следующими параметрами: коэффициент фильтрации, коэффициент проницаемости, коэффициент водоотдачи, водопроводимость, коэффициент уровнепроводимости и пр.

**Коэффициент фильтрации (К)** представляет собой важнейшую характеристику пород, широко используется в практике проектирования при вычислении расхода подземных вод, при определении потерь воды из водохранилищ, прудов, и др. Коэффициент фильтрации пород может определяться по данным о составе и пористости пород (по эмпирическим формулам), лабораторными методами, и в полевых условиях.

1. *Определение коэффициентов горных пород по эмпирическим формулам.* Опытными работами установлена зависимость коэффициента от механического (гранулометрического) состава породы (главным образом от размеров и количества метких фракций), пористости ее, температуры воды. Определение коэффициента горных пород по гранулометрическому составу является самым дешевым и простым методом применяется при

гидрогеологических изысканиях для начальных стадий проектирования. При детальном исследовании этот способ является дополнительным к полевым методом. Применяется формула Газена (для песков с диаметром от 0,1 до 3 мм, при коэффициенте однородности 1 меньше 5). Коэффициентом однородности называется отношение размера зерна  $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ . Действующим диаметром ( $d_{10}$ ) называется такой диаметр частиц в мм, меньше которого в грунте содержится 10% общей массы грунта. Иначе говоря,  $d_n$  равен диаметру отверстия сита, пропускающего 10% массы грунта.

### Формула Газена

$$K = C d \cdot n^2 \cdot (0,70 + 0,03 \cdot t), \text{ м/сут}, \quad /11/$$

где  $C$  – эмпирический коэффициент, зависящий от степени однородности и пористости грунта. Для чистых, однородных песков  $C=1200$ , средней однородности и плотности  $C=800$ , неоднородных и плотно сложенных  $C=400$ ;

$d_n$  – действующий диаметр, мм;

$t$  – температура фильтрующейся воды.

Величины  $d_{60}$  и  $d_n$  берутся по кривой гранулометрического состава грунта, вычерчивают в виде кривой в простом или полулогарифмическом масштабе.

### Формула Зауэрбрея для $t^\circ$ воды $10^\circ$

$$K = \beta \frac{n^3}{(1-n)^2} d_{17}^2 \text{ м/сут}. \quad /12/$$

где  $\beta$  – эмпирический коэффициент, зависящий от однородности и крупности частиц песка от 1150 до 3010, среднем 2880-3010;

$n$  – пористость;

$d_{17}$  – диаметр частицы в мм, меньше которого имеется в данном грунте 17% частиц по весу. Применяется для определения коэффициентов мелко, средне и крупнозернистых песков.

2. *Определение в лабораторных условиях.* Применяются различные приборы загружаемых испытываемыми образцами пород нарушенной и

естественной структуры. Принцип определения коэффициентов в большинстве приборов основан на измерении количества фильтрующейся через породу воды под различным напором. По расходу при известном напоре и площади прибора находят коэффициент фильтрации. Применяются трубки Каменского, прибор Тома и др.

Необходимо хорошо запомнить, что коэффициенты фильтрации пород зоны аэрации, определенные в полевых натуральных условиях и лабораторными методами, часто различаются до 1-2 порядков. Это объясняется недоучетом анизотропии пород, малой площадью определяемых пород.

3. *Определение в полевых условиях.* При определении коэффициента фильтрации в полевых условиях движение воды происходит в породах, залегающих в природных условиях и сохраняющих свое природное строение. Поэтому полевые методы дают результаты наиболее близкие к действительности. Применяются методы наливов в шурфы и скважины в зоне аэрации. В пределах водоносных горизонтов коэффициент определяется методом откачки из скважин и шурфов.

**Метод наливов в шурфы.** Процесс инфильтрации в ненасыщенные водой грунты отличается большой сложностью и происходит при одновременном действии гидравлического напора налитой в шурфы воды и капиллярного всасывания воды в грунт. В настоящее время часто применяется метод наливов по Н.С. Нестерову.

$$K = \frac{Q}{F}, \text{ м/сут.} \quad /13/$$

где  $Q$  – установившийся расход воды, м<sup>3</sup>;

$F$  – площадь дна малого кольца, м<sup>2</sup>;

Более точно значение  $K_f$  определяются

$$K = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{z+l+h_k}, \quad /14/$$

где  $l$  – глубина просачивания воды от дна шурфа;

$z$  – высота слоя воды;

$h_k$  – капиллярное давление, равное  $\approx 50\%$  от максимальной высоты капиллярного поднятия, м.

**По методу Нестерова** в дно шурфа на глубину 3-4 см устанавливают 2 стальных кольца диаметром 25 и 50 см. В кольцо наливается вода и поддерживается высотой слой 10 см. Опыт продолжается до стабилизации расхода.

Широко применяются опытные нагнетания для определения Кф неводоносных трещиноватых и закарстованных пород на разных уровнях, изолируя интервалы специальными тампонами. Опыт проводится до стабилизации расхода воды. В результате опыта определяется удельное водопоглощение ( $q = \text{л/мин}$ ), т.е. расход воды в л/мин на 1 м скважины и 1 м напора по формуле

$$q_{yn} = \frac{Q_{уст}}{(10P + H + \frac{z}{2})z}, \quad /15/$$

где  $P$  – давление на манометре;

$H$  – расстояние по вертикали от манометра до тампона, м;

$Z$  – длина изучаемого интервала (между тампонами).

Ориентировочные значения Кф (м/сут):

Глина – 0,001, в зоне аэрации до 0,3-0,7;

Суглинок – 0,05, в зоне аэрации 0,5-1;

Супесь – 0,1-0,5 в зоне аэрации до 1-2;

Песок – от 1-5 до 20-50;

Гравий – 20-150;

Галечник – 100-500 и более.

Водопроницаемость глинистых пород зависит от содержания обменных катионов. Са и Mg повышают водопроницаемость, а Na понижает. Эта величина изменяется в зависимости от температуры. При фильтрации пресных вод глинистые частицы набухают и Кф уменьшается, а соленых, особенно хлоридно-натриевых, Кф увеличивается, т.к. глинистые частицы не набухают, происходит кристаллизация солей и увеличение пористости.

При удельном водопоглощении менее 0,01 л/мин принято считать, что породы малотрещиноваты, цементации для борьбы с фильтрацией не требуется. По удельному водонасыщению можно найти

$$K\phi = 0,525q_{\text{yn}} \lg \frac{0,66z}{r}, \quad /16/$$

где  $r$  – радиус скважины, м.

Для определения обычно ориентировочно и быстро применяются экспресс методы налива и откачки из скважин и шуфов. Они позволяют, при массовых опробованиях в короткий срок, охарактеризовать фильтрационные свойства отложений на значительной площади. Они пригодны главным образом для целей экстраполяции данных, полученных в пунктах проведения кустовых откачек на соответствующую территорию.

Наиболее точные данные коэффициента фильтрации, равно как и других параметров, получают при откачках из скважин различной длительностью.

**Водоотдача пород (В)** свойство пород, насыщенных водой, свободно отдавать гравитационную воду. Величина водоотдачи характеризуется коэффициентом водоотдачи – отношение объема стекавшей воды, ранее заполнявшей пустоты, к объему всей породы. Выражается в процентах или долях единицы объема и является переменной величиной. Коэффициент водоотдачи галечника, гравия, крупных песков равняется их пористости или полной влагоемкости. Водоотдача глинистых пород и торфа равна разности полной наименьшей влагоемкости.

Коэффициент водоотдачи определяют:

- 1) по разнице различных влагоемкостей;
- 2) путем насыщения породы и слива воды;
- 3) полевыми наблюдениями, методом откачек подземных вод из скважин и др.

Водоотдача (%) некоторых пород: песков к/з – 0,25-0,35, с/з – 0,2-0,25, м/з – 0,15-0,2, супесей 0,1-0,15, суглинков менее 0,1, глинистых близка к 0, торфа 0-0,15, песчаников – 0,02-0,05, известняков – 0,008-0,1.

Для решения ряда практических задач широко используется коэффициент недостатка насыщения ( $\mu$ ), он равен разности полной влагоемкости и естественной влажности породы перед началом инфильтрации, выражается в долях единицы объема.

**Водопроницаемость** – способность водоносного пласта мощностью ( $W$ ) и шириной 1 м пропускать воду в единицу времени при напорном градиенте  $=1$ . Водопроницаемость ( $T$ ) равна произведению  $K_f$  (Коэффициент фильтрации) на мощность пласта  $T = K \cdot W$  и выражается в (м/сут). Чем больше ( $T$ ), тем больше эксплуатационные ресурсы подземных вод.  $T > 100$  м<sup>2</sup>/сут.  $T < 100$  м<sup>2</sup>/сут водный горизонт малоперспективен для использования в целях водоснабжения.

Для определения гидрогеологических параметров широко применяются опытно-фильтрационные работы. Эти методы основаны главным образом на уравнениях неустановившегося движения подземных вод в зоне влияния откачки. Эти закономерности определяются фильтрационными и емкостными свойствами изучаемого водоносного горизонта, что позволяет оценить водопроницаемость, коэффициент фильтрации, уровнепроницаемость, недостаток насыщения, водоотдача и др. Когда закономерности движения подземных вод определяются не только фильтрационными и емкостными свойствами, но и граничными условиями, параметры рассчитываются по формулам установившегося движения. Опытные откачки подразделяются на одиночные и кустовые.

Одиночные откачки (без наблюдательных скважин) проводят при нескольких ступенях понижения для нахождения зависимости дебита скважины от понижения уровня подземных вод.

Кустовые откачки проводят, оборудуя опытный участок наблюдательными скважинами, расположенными по одному или двум к центральной скважине, из которой ведут откачку. При откачке измеряют дебит скважины и снижение уровня воды в центральной и наблюдательной скважинах. Основное назначение кустовых откачек – определение расчетных гидрогеологических параметров.

В сложных условиях, когда требуется изучить взаимосвязь водоносных горизонтов или эффективность скважины вертикального дренажа и т. д. проводят опытно экспериментальные откачки. Продолжительность откачек изменяется от суток до 30-40 суток и больше. Методика проведения откачек зависит от назначения откачки и гидрогеологических условий района.

Для определения коэффициента фильтрации откачку ведут при постоянном расходе (изменяющемся уровне воды в скважине и воронки, что соответствует неустановившемуся режиму фильтрации), или при постоянном понижении уровня (установившийся режим фильтрации). Для установления зависимости дебита от понижения откачки проводят при 2-3 понижениях уровня.

Для оценки водопроницаемости многослойных водоносных толщ, характеризующихся переслоиванием водоносных горизонтов и слабопроницаемых разделяющих слоев, каждый водоносный горизонт опробуют отдельно. При этом определяют величины перетекания из нижнего и верхнего водоносных горизонтов через слабопроницаемые глинистые слои.

Коэффициент перетекания ( $B$ ) определяется по формуле

$$B = \sqrt{\frac{Km}{\frac{K_1}{m_1} + \frac{K_{11}}{m_{11}}}}, \quad /17/$$

где  $Km$  – водопроводимость основного водяного горизонта м<sup>2</sup>/сут;

$K_1, K_{11}$  – соответственно коэффициент фильтрации пород, м/сут;

$m_1, m_{11}$  – мощности этих слоев, м.

### **Типы вертикальных водосборов.**

Вертикальные водосборы можно разделить на колодцы (шурфы) и буровые скважины. По характеру эксплуатируемых водоносных горизонтов они подразделяются на грунтовые и артезианские (напорные). По характеру заложения в водоносном слое колодцы (скважины) подразделяются на совершенные и несовершенные. Несовершенные колодцы могут иметь

проницаемое дно и стенки, проницаемые стенки и глухое дно, глухие стенки и проницаемое дно (рисунок 10).

Дебит несовершенной скважины и коэффициент фильтрации пород равен

$$Q = \frac{1.36K(2H - S)S}{\lg R - \lg r_0} \text{ – формула Дюпюи, м}^3/\text{сут,}$$

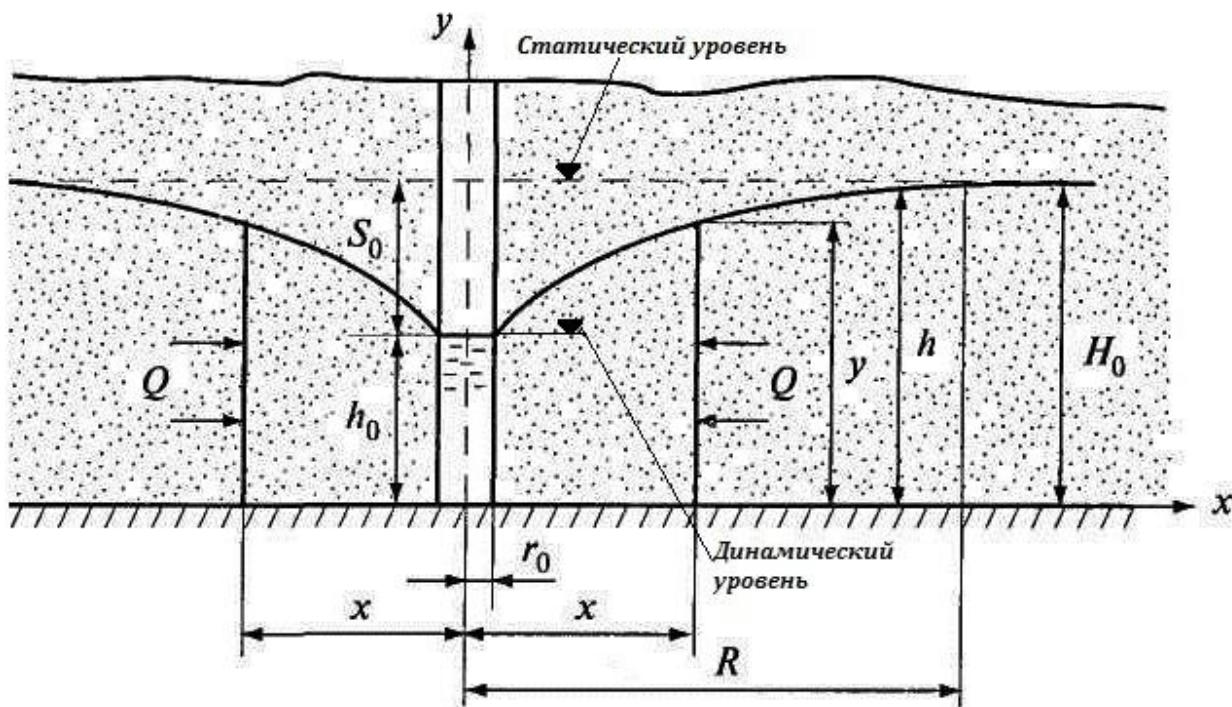


Рисунок 10 - Схема притока воды в совершенную скважину:

$Q$  – расход;  $H_0$  – мощность потока;  $h_0$  – столб воды после откачки;  $r_0$  – радиус скважины;  $R$  – радиус влияния скважины;  $S$  – понижение при откачке.

Совершенные скважины пререзают весь водоносный горизонт и имеют проницаемые стенки. От типа вертикального водосбора зависит выбор расчетных уравнений движения воды к колодцам скважины.

отсюда

$$K = \frac{Q}{\frac{1.36K(2H - S)S}{\lg R - \lg r_0}}, \text{ м/сут.} \quad /18/$$

Дебит колодца с открытым плоским дном вычисляется по Форхгеймеру

$$Q = 4 \cdot r \cdot S \cdot K, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad /19/$$

Коэффициент фильтрации



$$K = \frac{Q}{4rS}, \text{ м/сут.} \quad /20/$$

Дебит колодца с проницаемыми стенками и открытым дном

$$Q = \frac{1.36K(2H-S)S}{\lg R - \lg r} + 4rSK, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad /21/$$

$$K = \frac{Q}{\frac{1.36K(2H-S)S}{\lg R - \lg r} + 4rS}, \text{ м/сут} \quad /22/$$

По Замарину для колодца с открытым дном и проницаемыми стенками (при условии, когда неизвестна глубина водоупора) с плоским дном  $K_f$  вычисляется (рисунок 11)

$$K = \frac{Q}{\frac{1.36(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r} + 4rS}, \text{ м/сут.}, \quad /23/$$

где  $Q$  – дебит скважины,  $\text{м}^3/\text{сут.}$

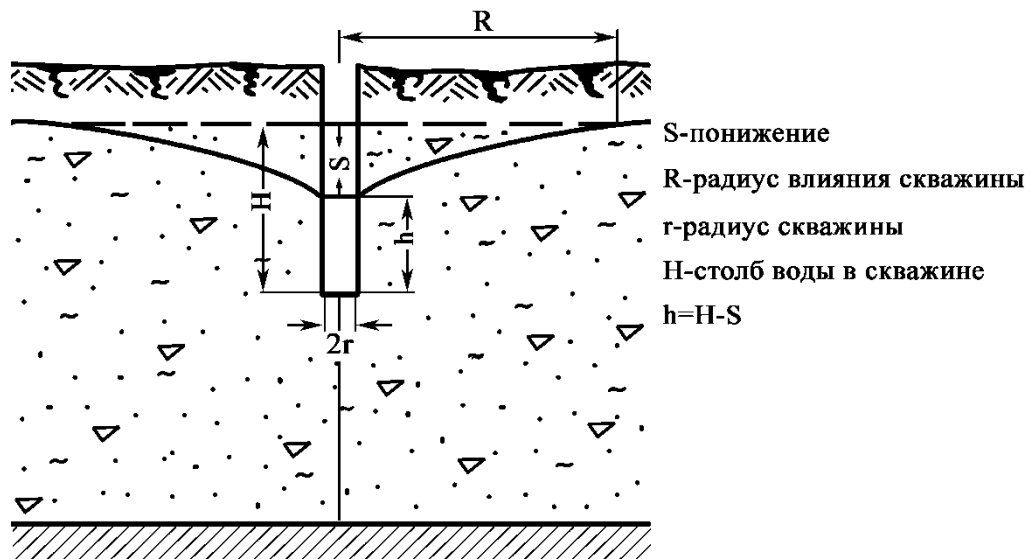


Рисунок 11 - Схема притока воды в несовершенную скважину (для Замарина)

### Формула притока воды в дренаж.

Для понижения уровня подземных вод сооружают дренажи. Приток воды в совершенную горизонтальную дренаж длиной  $B$  в условиях ненапорных вод по уравнению Дюпюи равен

$$Q = \frac{KB(H^2 - h^2)}{R}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad /24/$$

Для напорных

$$Q = \frac{Kmb(H-h)}{R}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad /25/$$

где  $m$  – мощность напорного пласта, м.

Расчетные формулы показывают зависимость дебита скважин от понижения ( $S$ ). Поэтому производительность скважин можно сравнивать по удельному дебиту

***Контрольные вопросы:***

- 1. Происхождение подземных вод*
- 2. Законы фильтрации подземных вод*
- 3. Определение направления и скорости движения подземных вод*
- 4. Основные гидрогеологические параметры.*

## 13. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*План:*

*13.1 Физические свойства подземных вод.*

*13.2 Реакция воды.*

*13.3 Общая минерализация воды.*

*13.4 Химический состав воды.*

*13.5 Формы выражения химического состава воды.*

*13.6 Оценка пригодности воды для различных целей.*

*13.7 Оценка агрессивности свойств подземных вод.*

*13.8 Формирование химического состава подземных вод.*

*13.9 Зональность подземных вод.*

*13.10 Минеральные воды.*

*13.1 Физические свойства подземных вод.*

*К физическим свойствам* подземных вод относятся прозрачность, цвет, запах, вкус, температура.

Природная вода может быть прозрачной и мутной. **Мутность воды** обуславливается присутствием в ней взвешенных частиц минерального и органического происхождения. Механические примеси могут попадать в воду источника вследствие неисправности водозабора или просачивания в водоносный пласт дождевых, паводковых, речных вод (карстовые районы). Иногда мутность подземных вод обуславливается растворенными в ней химическими соединениями (железо и пр.).

**Цвет.** Чистая вода бесцветная. Окраска объясняется наличием в ней тех или иных примесей (железо придает ржавый оттенок, сероводород – голубоватый).

**Запах.** Подземные воды обычно без запаха. Наличие запаха свидетельствует о наличии различных химических соединений (сероводород придает запах тухлых яиц и др.)

**Вкус.** Появляется при определенном содержании в воде тех или иных соединений (соленый – NaCl, кислый – в районах сульфидных месторождений).

**Температура** – изменяется от 4-5°C до 60-90°C. При температуре выше 20°C воды называются субтермальными. В Республике Башкортостан температура подземных вод неглубокого залегания составляет от 5 до 20°C. Пресная вода при  $t^{\circ}=4^{\circ}\text{C}$  имеет наибольшую плотность.

### ***13.2 Реакция воды.***

**Реакция воды (величина рН).** Для того, чтобы судить о химическом составе подземных вод необходимо в первую очередь знать реакцию воды т.е. концентрацию водородных ионов. По теории электролитической диссоциации вода диссоциирует на водородный ( $\text{H}^+$ ) и гидроксильный ( $\text{OH}^-$ ) ионы, величина произведения которых при данной температуре всегда постоянна. Если реакция нейтральная, то концентрация  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  одинакова и равна  $10^{-7}$  мг-экв/л. Поэтому степень кислотности или щелочности воды характеризуется концентрацией водородных ионов. Для выражения концентрации водородных ионов принято пользоваться логарифмом концентрации их (т. е. количества грамм-экв этого иона в 1 л воды), взятым с обратным знаком и обозначаемым  $\text{pH} = -\lg(\text{H}^+)$ . При нейтральной реакции  $\text{pH}=7$ , при кислой  $\text{pH}$  – меньше 7, а при щелочной  $\text{pH}$  больше 7. Определение  $\text{pH}$  производится специальными приборами ( $\text{pH}$ -метрами) калориметрическим методом, в полевых условиях применяется лакмусовая бумага.

### ***13.3 Общая минерализация воды.***

**Общая минерализация воды** выражается суммой содержащихся в воде химических элементов, их соединений и газов. Оценивается по сухому остатку, который получается после выпаривания воды при температуре 105 °C, или суммированием массы всех ионов, полученных при химическом анализе. Выражается в миллиграммах (граммах) на  $\text{дм}^3$ , граммах на кг (мг/л, г/кг). По минерализации подразделяются:

- до 0,2 г/ дм<sup>3</sup> – ультрапресные, до 1,0 г/ дм<sup>3</sup> – пресные,
- 1-10 – солоноватые: 1-3 – слабо, 3-5 – средне, 5-10 – сильносоленоватые,
- 10-35 – соленые, более 35 г/ дм<sup>3</sup> – рассолы.

#### **13.4 Химический состав воды.**

**Главными химическими компонентами в подземных водах** обычно являются: анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  (гидрокарбонатный ион, сульфат-ион, хлор-ион), катионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). В воде часто присутствует карбонатный ион, нитрит-ион, нитрат-ион ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), углекислый газ, сероводород, метан, железо 2-х и 3-х валентное и др. Содержание соединений азота в подземных водах обычно невелико (1-2 мг/л), но иногда достигает 0,5-0,8 мг/ дм<sup>3</sup>. Наличие даже небольшого их количества указывает на загрязнение воды и возможность нахождения в ней вредных опасных бактерий. Если присутствуют нитрит ион ( $\text{NO}_2^-$ ) – загрязнение свежее, а нитрат ион – загрязнение старое. В целом подземных водах присутствуют до 60-80 различных химических элементов в растворенном состоянии.

**Жесткость воды** обусловлена наличием ионов кальция и магния. По ГОСТ 2874-73 и СанПиН 2.1.4.1074-01 жесткость воды выражается в миллиграммах-эквивалентах  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на 1 л воды. 1 мг-экв. жесткости соответствует содержанию 20,04 мг/л  $\text{Ca}^{2+}$  и 12,6 мг/л  $\text{Mg}^{2+}$ . По жесткости воды делятся на:

- очень мягкие – до 1,5 мг-экв/л,
- мягкие – 1,51-3,0 мг-экв/л,
- умеренно жесткие – 3,01-6,0 мг-экв/л,
- жесткие – 6,01-9,0 мг-экв/л,
- очень жесткие – более 9,0 мг-экв/л.

#### **13.5 Формы выражения химического состава воды.**

Существует несколько форм выражения анализа воды:

- ионная,
- эквивалентная,
- процент-эквивалентная.

При ионной форме содержание ионов приводят в граммах или миллиграммах на литр (г/л, мг/л).

Эквивалентная форма позволяет судить о возможных сочетаниях катионов и анионов. Сумма эквивалентных единиц катионов и анионов, выражается в миллиграмм-эквивалентах на 1 литр и получают путем умножения мг/л на пересчетный коэффициент (таблицы 8,9).

Таблица 8 - Атомные веса ионов и множителей для пересчета миллиграмм-ионов на миллиграмм-эквиваленты

Индекс	Атомный вес (множитель для пересчета из мг-экв в мг/л)	Множитель для пересчета из мг/л в мг-экв
$K^+$	39,100	0,02558
$Na^+$	22,997	0,04348
$NH_4^+$	18,040	0,05543
$Ca^{2+}$	20,040	0,04990
$Mg^{2+}$	12,160	0,08224
$Cl^-$	35,457	0,02820
$NO_3^-$	62,008	0,01613
$NO_2^-$	46,008	0,02174
$SO_4^{2-}$	48,033	0,02082
$HCO_3^-$	61,018	0,01639

Таблица 9 - Схема перерасчета из весовой в мг-экв/л и %-экв/л формы

	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+ + K^+$
мг/ дм <sup>3</sup>	341,6	251,4	1,80	108,2	42,8	45,1
мг-экв/л	5,60	5,23	0,05	5,40	3,52	1,96
$q_0$ экв	51,5	48,1	0,4	50	32	18

При процентно-эквивалентной форме содержание ионов, взятое в эквивалентах, выражают в процентах от суммы катионов и анионов, принимаемых каждая за 100%.

Наглядной формой записи результатов является формула М.Г. Курлова.



Название воды дается по преобладающим анионам и катионам, содержание которых более 20% (иногда берут 25% или 33%) в порядке возрастания. Например, приведенная формула читается – вода сульфатно-гидрокарбонатная, магниевое-кальциевая.

В формуле Курлова слева от черты указывают содержание газов (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S и др.), общую минерализацию воды (г/л), в числителе анионы, содержание которых превышает 10% эквивалентов (% экв в убывающем порядке) в знаменателе – катионы в том же порядке, за чертой пишут t°С воды, дебит (л/с), рН и другие. Результаты химического анализа воды иногда выражают в графической форме в виде диаграмм – прямоугольника, квадрата, треугольника и др. Все формы выражения и методика построения приведены в (Абдрахманов, Методические..., 2008).

**Классификация подземных вод по химическому составу.** Существует несколько десятков классификаций, основанных на различных принципах и имеющих разное практическое применение и значение. К наиболее популярным относятся классификации Пальмера, Н.И. Тостихина, В.А. Сулина, О.А. Алекина, Е.В. Посохова и другие. В гидрогеологии и гидрологии применяется в основном гидрохимическая классификация О.А. Алекина.

Все природные воды делятся по преобладающему аниону на три класса: 1) гидрокарбонатный, 2) сульфатный, 3) хлоридный. Выделенные 3 класса сразу дают в общих чертах гидрохимический облик воды. К гидрокарбонатному классу относятся большая часть пресных (маломинерализованных) вод рек, озер, некоторых подземных вод. К классу хлоридных принадлежат воды океана, морей, подземные воды глубоких горизонтов. Воды сульфатного класса по распространению и величине минерализации являются промежуточными между гидрокарбонатными и хлоридными.

Каждый класс делится О.А. Алекиным по преобладающему катиону на группы кальциевых, магниевых и натриевых вод. Кроме того все воды объединяют в типы, выделяются 4 типа вод.

I тип  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  ( $\text{NHCO}_3$  – гидрокарбонатный натриевый)

II тип  $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  ( $\text{NaSO}_4$  – сульфатный натриевый)

III тип  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$  подразделяется на:

III<sup>a</sup>  $\text{Cl}^- < \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$  ( $\text{MgCl}_2$  – хлормагниевый)

III<sup>b</sup>  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$  ( $\text{CaCl}_2$  – хлоркальциевый).

Как установлено, ионная форма свойственна лишь водам низкой минерализации. При увеличении концентрации растворенных солей между ионами устанавливается взаимодействие. В растворе образуются нейтральные ионы  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_3$  и др.

Ввиду сложности химического состава природных вод при оценке питьевых, лечебных, технических, мелиоративных и др. качеств важно принимать не только абсолютное содержание отдельных ионов, но и предполагаемые ассоциации анионов и катионов (солей). Они рассчитываются по правилу Фрезениуса (вначале выпадают мало растворимые соли, потом более растворимые).

### ***13.6 Оценка пригодности воды для различных целей.***

**Водоснабжение.** По ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая» и СанПиН 2.1.4.1110-02 вода должна отвечать следующим требованиям: минерализация до 1 г/л (по разр. СЭС до 1,5 г/л); жесткость 7 мг-экв/л.  $\text{Cl}^-$  до 350 мг/л;  $\text{SO}_4^{2-}$  до 500 мг/л (Абдрахманов, Чалов, Абдрахманова, 2007).

**Орошение.** Оросительная вода по минерализации и химическому составу должна быть физиологически доступной растениям и не вызывать засоления и осолонцевания почвы. Важное значение играет изучение содержания микрокатионов биологически активных микроэлементов: I, Br, B, Co, Cu, Mn, Mo (Абдрахманов Р.Ф., 2008).

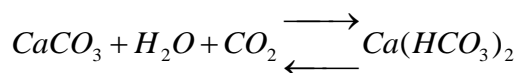


### 13.7 Оценка агрессивности свойств подземных вод.

Под ними понимается способность воды разрушать различные строительные материалы, воздействуя на них растворенными солями, газами или выщелачивая их составные части. Особое значение имеет агрессивное действие воды на бетонные сооружения. Основным вяжущим веществом в бетоне является цемент. Практическое значение агрессивного действия воды на бетон сооружения настолько велико, что ни одно сколько-нибудь существенное строительство не обходится без предварительного гидрохимического исследования водной среды. Различают следующие виды агрессивного действия воды на бетон: выщелачивания, углекислотная, общекислотная, сульфатная, магниезиальная.

Агрессивность выщелачивания проявляется в растворении карбоната кальция, входящего в состав бетона. Она возможна при малом содержании в воде  $\text{HCO}_3^-$  (0,4-1,5 мг-экв/л), а избыток  $\text{CO}_2$  растворяет  $\text{CaCO}_3$ .

Углекислотная агрессивность обусловлена действием на бетон  $\text{CO}_2$ .



В наиболее опасных условиях максимально допустимое содержание агрессивной углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) составляет 3 мг/л, менее опасных до 8,3 мг/л.

Общекислотная агрессивность характерна для кислых вод и зависит от содержания свободных водородных ионов. При pH 5,0-6,8 возможен этот вид агрессии.

Сульфатная агрессивность проявляется при большом содержании ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , которые проникая в тело бетона при кристаллизации образуют соли  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Образование этих солей в порах бетона сопровождается увеличением их объема и разрушением бетона. Агрессивность проявляется при обычных цементах при  $\text{SO}_4^{2-}$  более 250 мг/л, при сульфат стойких – 4000 мг/л.

Магниезиальный вид агрессивности проявляется, так же как и сульфатный, в разрушении бетона при проникновении воды в тело бетона. Этот вид

возникает при высоком содержании  $Mg^{2+}$ . В зависимости от цемента он проявляется при содержании магния от 1,0 до 2,5 г/л.

### **13.8 Формирование химического состава подземных вод.**

Под факторами формирования химического состава подземных вод понимаются движущие силы, обуславливающие течение разнообразных процессов, которые изменяют минерализацию и химический состав вод. Химический состав подземных вод формируется под влиянием следующих факторов: выщелачивание почв и горных пород, полное растворение минералов и пород, концентрирование солей в воде в результате испарения, выпадение солей из природных растворов при изменении термодинамических условий, катионный обмен в поглощающем комплексе илов, почв, глинистых пород ( $Ca^{2+}$  на  $Na^+$  и  $Na^+$  на  $Ca^{2+}$ ), диффузия и микробиологические процессы, смешение вод различного происхождения. Процесс обмена наблюдается между катионами глинистых пород – воды и зависит от емкости поглощающего комплекса (таблица 10).

Таблица 10 - Емкость поглощения некоторых глинистых минералов

Минерал	Емкость от поглощения, мг-экв на 100 г
Каолинит	3-15
Иллит	10-40
Монтморилланит	80-180
Вермикулит	100-150
Галлуазит	5-50

Процессы эти зависят от климатических, геоморфологических, геологических, гидродинамических и др. условий. Значительную роль в формировании химического состава подземных вод играет состав осадков. Роль атмосферных осадков в формировании состава маломинерализованных вод хорошо известно. Из атмосферы на земную поверхность поступает значительное количество растворенных солей.

В Республике Башкортостан в анионном составе дождевых вод преобладают гидрокарбонатные ионы (41-85%), реже сульфатные и хлористые.

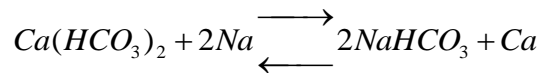
Среди катионов превалирует натрий (40-75%), реже кальций. Минерализация дождевых вод колеблется от 23 до 88 мг/л, рН -6,0-6,7,  $CO_2$  – 9-16 мг/л, минерализация снеговых вод 19-54 мг/л. По подсчетам на 1 км<sup>2</sup> территории Башкортостана поступает 25-27 тон солей в год. На территории Европейской части России достигает 50-85 на 1 км<sup>2</sup>.

Осадки постепенно инфильтруясь вглубь насыщаются солями в почвенном горизонте затем в зоне аэрации. Это происходит в результате растворения солей, минералов, горных пород в соответствии с их растворимостью. Растворимость изменяется в широких пределах, зависит от температуры воды и содержания других солей. Растворимость солей в дистиллированной воде при 7°C равна (г/л)  $CaCO_3$  – 0,013,  $CaSO_4$  – 2,01,  $Na_2CO_3$  – 193,9,  $Na_2SO_4$  – 168,3,  $NaCl$  – 358,6,  $KCl$  – 329,3,  $MgSO_4$  – 354,3,  $MgCl_2$  – 558,1. Растворимость  $CaSO_4$  в присутствии  $NaCl$  возрастает в 4 раза. При наличии в воде  $CO_2$  возрастает растворимость карбонатов.

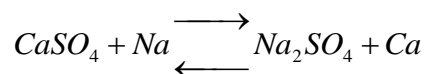
В рыхлых покровных образованиях происходит формирование первых от поверхности водоносных горизонтов грунтового типа. Анализ водных вытяжек из пород зоны аэрации свидетельствует о том, что при действии на них атмосферных вод, имеющих слабокислую реакцию, наблюдается солей из зоны аэрации. Основными солями, поступающими в подземные воды, являются карбонаты и сульфаты кальция, и карбонаты магния. Из почвы выносятся избытки азотнокислого калия, используемого на полях как удобрение. Содержание  $NO_3$  достигает 200 мг/л.

В степных областях России в результате испарения в зоне аэрации накапливается большое количество солей. Чем ближе к поверхности расположены грунтовые воды, тем выше при прочих равных условиях их минерализация. При неглубоких грунтовых водах до 1 м возможно накопление солей и на поверхности земли. В пустынных и полупустынных часто образуются грунтовые подземные воды с высокой минерализацией (до 10-20 и более) сульфатно-хлоридного и хлоридного состава.

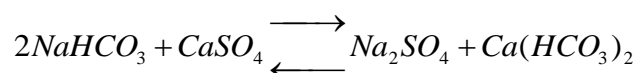
Гидрокарбонатные кальциевые воды (образуются) формируются при растворении карбонатов кальция (известняков). Сульфатные кальциевые воды при растворении гипсов. Гидрокарбонатные натриевые воды в результате катионного обмена между водой гидрокарбонатно-кальциевого состава + поглощ. комплекс Na почв. грунта.



Благоприятная обстановка для течения реакции создается на орошаемых полях.



При содовом засолении для превращения соды в менее вредную соль вносят



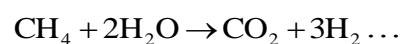
***Анионы и катионы. Первоисточники анионов и катионов.***

Первоисточниками минерального состава природных вод являются:

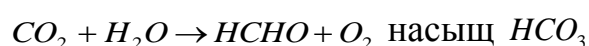
- 1) газы, выделяемые из недр земли в процессе дегазации.
- 2) продукты химического воздействия воды с магматическими породами.

Эти первоисточники состава природных вод имеют место до сих пор. В настоящее время в химическом составе воды выросла роль осадочных пород.

Происхождение анионов связано главным образом с газами, выделявшимися при дегазации мантий. Состав их сходен с современными вулканическими газами. В атмосферу наряду с паром воды поступают газообразные водородистые соединения хлора (HCl), азота (NH<sub>3</sub>), серы (H<sub>2</sub>S), брома (HBr), бора (HB), углерода (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO). В результате фитохимического разложения CH<sub>4</sub> образуется CO<sub>2</sub>:



Далее идет процесс образования иона (HCO<sub>3</sub>):



В результате окисления сульфидов идет образование иона  $SO_4$ .

Происхождение катионов связано с горными породами. Средний химический состав изверженных пород (%):  $SiO_2$  – 59,  $Al_2O_3$  – 15.3,  $FeO$  – 3.8,  $MgO$  – 3.5,  $CaO$  – 5.1,  $Na_2O$  – 3.8,  $K_2O$  – 3.1 и т. д.

В результате выветривания горных пород (физического и химического) происходит насыщение катионами подземных вод по схеме:  
 $2Na_2Al_2Si_6O_{16} + 6H_2O = (OH)_8Al_4(Si_4O_{10}) + NaHSiO_3 + 4SiO_2$ .

При наличии анионов кислот (угольной, соляной, серной) образуются соли кислот:  $NaHCO_3$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaSO_4$ .

**Микроэлементы.** Типичные катионы: Li, Rb, Cs, Be, Sr, Ba. Ионы тяжелых металлов: Cu, Ag, Au, Pb, Fe, Ni, Co. Амфотерные комплексообразователи (Cr, Co, V, Mn). Биологически активные микроэлементы: Br, I, F, B.

Микроэлементы играют важную роль в биологическом круговороте. Отсутствие или избыток фтора вызывают болезни кариес и флюороз. Недостаток иода – болезни щитовидной железы и др.

**Химия атмосферных осадков.** В настоящее время развивается новая отрасль гидрохимии – химия атмосферы. Атмосферная вода (близкая к дистиллированной) содержит многие элементы.

Кроме атмосферных газов ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ) в воздухе присутствуют примеси, выделившиеся из недр земли компонентов ( $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $HCl$  и др.), элементы биогенного происхождения ( $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ) и другие органические соединения.

В геохимии изучение химического состава атмосферных осадков позволяет охарактеризовать солевой обмен между атмосферой, поверхностью земли, океанов. Последние годы в связи с атомными взрывами в атмосферу поступают радиоактивные вещества.

**Аэрозоли.** Источником формирования химического состава являются аэрозоли:

- пылевидные минеральные частицы, высокодисперсные агрегаты растворимых солей, мельчайшие капли растворов газовых примесей ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ). Размеры аэрозолей (ядер конденсации) различны – радиус в среднем 20 мк ( $2 \cdot 10^{-3}$  см) колеблется ( $2 \cdot 10^{-5}$  до 1 мк). Количество уменьшается с высотой. Концентрация аэрозолей максимальна в пределах городских территорий, минимальна в горах. Аэрозоли поднимаются ветром в воздух – эоловая эрозия;

- соли поднимаемые с поверхности океанов и морей, льдов;
- продукты вулканических извержений;
- человеческой деятельности.

Формирование химического состава. В атмосферу поднимается огромное количество аэрозолей – они на поверхность земли опускаются:

1. в виде дождей,
2. гравитационного осаждения.

Формирование начинается с захвата аэрозолей атмосферной влагой. Минерализация колеблется от 5 мг/л до 100 мг/л и более. Первые порции дождя более минерализованы.

Прочие элементы в составе осадков:

$\text{NO}_3$  – от сотых долей до 1-3 мг/л. Радиоактивные вещества:  $\text{K}^{40}$ ,  $\text{U}^{238}$ ,  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{Be}^{10}$ ,  $\text{C}^{14}$ ,  $\text{Si}^{32}$ ,  $\text{Na}^{22}$ ,  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Ba}^{140}$  и др. Они поступают в основном при испытаниях атомных бомб.

### **13.9 Зональность подземных вод.**

Зональность подземных вод проявляется в глобальном масштабе и принадлежит к категории фундаментальных свойств гидrolитосферы. Под ней понимается закономерность в пространственно-временной организации подземной гидросферы, определенная направленность изменения гидрогеодинамических, гидрогеохимических, гидрогеотермических и гидрогеохронологических параметров.

В осадочном чехле, например, Волго-Уральского бассейна выделяются два гидрогеохимических этажа, которые по своему объему в целом

соответствуют гидрогеодинамическим этажам. Верхний этаж (300–400 м, редко более) включает преимущественно инфильтрационные кислородно-азотные (азотные) воды различного ионно-солевого состава с минерализацией, обычно не превышающей 10–12 г/л. В пределах нижнего этажа залегают высоконапорные главным образом хлоридные рассолы различного происхождения (седиментогенные, инфильтрационные, смешанные) с концентрацией солей до 250–300 г/л и более, а водорастворенные газы ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ) отвечают восстановительной геохимической среде, обстановкам весьма затрудненного водообмена и квазизастойного режима недр. В пределах этажей по химическому составу и степени минерализации выделяются четыре зоны — гидрокарбонатная, сульфатная, сульфатно-хлоридная и хлоридная, которые в свою очередь подразделяются на ряд подзон (рисунок 12).

Зона пресных (до 1 г/л) гидрокарбонатных вод приурочена к породам широкого возрастного диапазона (от четвертичных на платформе до девонских на западном склоне Урала) и в гидрогеодинамическом отношении соответствует зоне интенсивной циркуляции. Мощность (Н) ее колеблется от 20–50 м в долинах рек до 150–200 м на водоразделах, а на Уфимском плато достигает 500–800 м. Скорости движения вод (v) в зависимости от фильтрационных свойств пород и гидравлического градиента изменяются от десятков и сотен метров до десятков километров в год, а сроки полного водообмена (t) — от десятков до первых сотен лет.

В составе гидрокарбонатной зоны выделяются две подзоны: верхняя — кальциевых (магниево-кальциевых) и нижняя — натриевых вод. Мощность последней обычно колеблется от 20 до 100 м и редко более (Юрюзано-Айская впадина). Минерализация гидрокарбонатных натриевых (содовых) вод обычно составляет 0,5–0,9 г/л, но в отдельных случаях достигает 1,2–1,7 г/л. В генетическом отношении чистые содовые воды тесно связаны с терригенными существенно глинистыми пермскими формациями, представленными переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов и глин. Они обладают довольно низкими фильтрационными свойствами и невысокой

водобильностью. Газовый состав гидрокарбонатных вод отвечает окислительной геохимической обстановке:  $N_2$  30–35,  $CO_2$  5–30,  $O_2$  до 10 мг/л. Газонасыщенность обычно 15–50 мл/л, Eh +100...+650 мВ, pH 6,7–8,8, T 4–6°C. Содержание гелия (He) соответствует атмосферному ( $5 \times 10^{-5}$  мл/л).

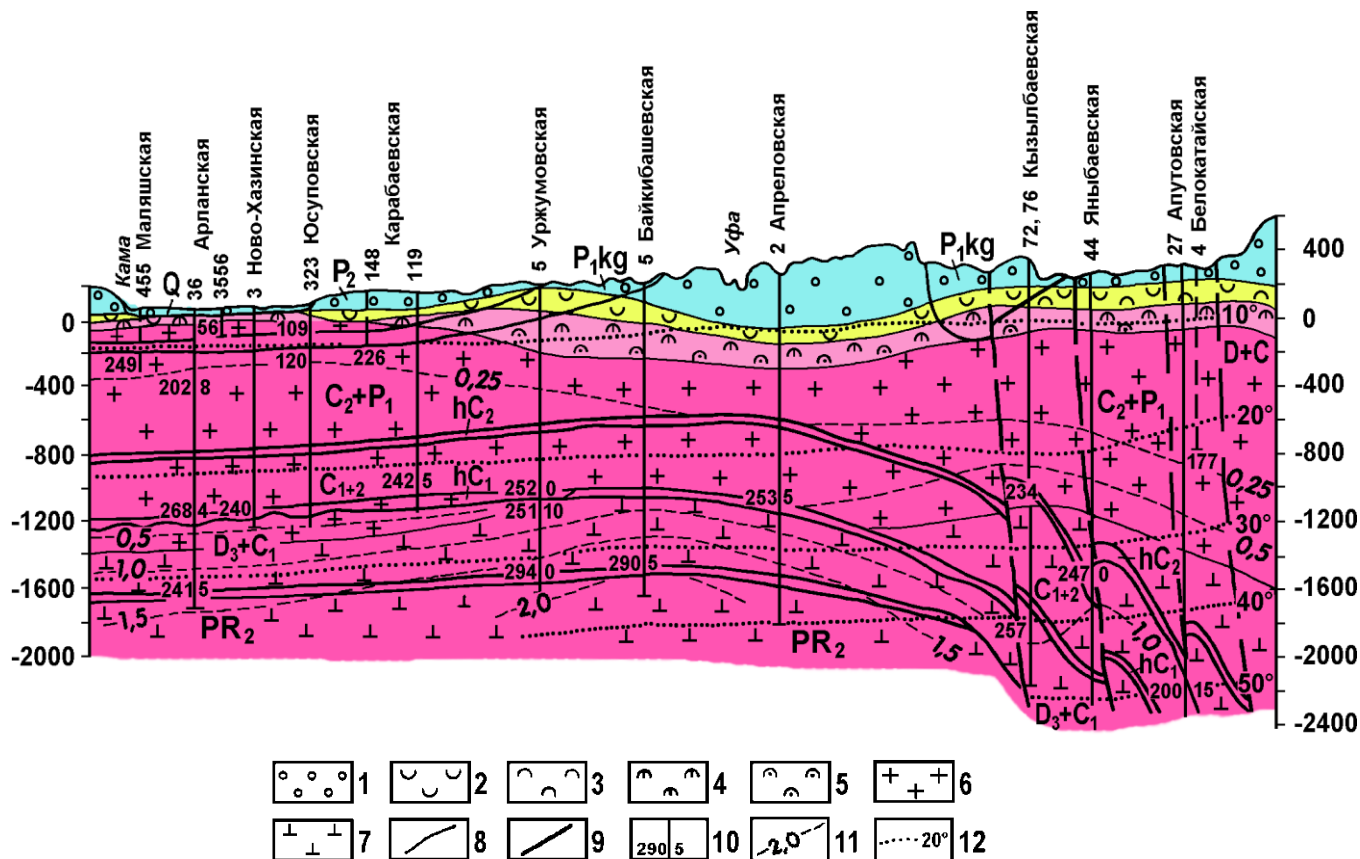


Рисунок 12 Гидрогеохимический разрез Южного Предуралья:

1–7 — химический состав и минерализация подземных вод (г/л): 1 — гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные разнообразного катионного состава (до 1), 2 — сульфатные кальциевые (1–3), 3 — сульфатные натриевые и кальциево-натриевые (3–10, редко более), 4 — сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые (3–10), 5 — сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые и хлоридные натриевые (10–36), 6 — хлоридные натриевые (36–310), 7 — хлоридные кальциево-натриевые и натриево-кальциевые (250–330); 8 — гидрогеохимические границы; 9 — стратиграфические границы; 10 — скважина: цифры слева — минерализация (г/л), справа — содержание йода в опробованном интервале (мг/л), наверху номер скважины и название нефтеразведочной площади; 11 — изолинии содержания брома (г/л); 12 — гидроизотермы

Зона сульфатных солоноватых и соленых вод развита повсеместно, исключая очаги природного и техногенного (районы некоторых нефтяных



месторождений) влияния глубинных рассолов. К ней относятся сульфатный и гидрокарбонатно-сульфатный классы вод с минерализацией от 1–3 до 15–20 г/л, формирующиеся в окислительной геохимической среде главным образом в пермских гипсоносных отложениях. В гидрогеодинамическом отношении она отвечает как зоне интенсивной циркуляции (выше вреза эрозионной сети), так и зоне затрудненного водообмена, где скорости движения подземных вод снижаются до десятков метров в год, а время полного водообмена, напротив, возрастает до сотен и тысяч лет.

Глубина залегания сульфатных вод изменяется от 0 до 250 м и более. Средняя мощность зоны составляет около 100–150 м (см. рис. 4). В пределах зоны заключены основные ресурсы лечебно-питьевых вод инфильтрационного происхождения, ведущую роль, в формировании состава которых играют процессы экстракции из пород гипса и ионообменные явления с участием поглощенного комплекса пород.

Кислородно-азотный и азотный состав сульфатных вод формируется за счет поступления вместе с инфильтрационными водами газов воздуха и только в редких случаях при глубоком погружении подошвы зоны и большой ее мощности в газовой фазе присутствует  $H_2S$ , генетически связанный с биохимическими процессами в сульфатизированных и битуминозных пермских породах. Концентрация  $O_2$  вниз по разрезу зоны в связи с его расходом на окисление органического вещества, железа, сульфидов снижается от 4–5 мг/л до нуля, а величина  $Eh$  — от +250 до –150 мВ. Кислотно-щелочной потенциал  $pH$  изменяется от 7,3 до 8,8;  $T$  4–10°C. Увеличивается содержание гелия (до  $30–100 \times 10^{-5}$  мл/л)

По катионному составу воды сульфатной зоны относятся к двум основным группам — кальциевой (магниево-кальциевой) и натриевой (кальциево-натриевой), — соответствующим гидрогеохимическим подзонам гипсовых и глауберовых вод.

Минерализация вод верхней подзоны обычно не превышает 2,5–2,6 г/л. Это типичные воды выщелачивания гипсов, загипсованных терригенных и

карбонатных пород, в составе которых преобладают сульфат-ион (до 80–90%), кальций и магний (до 90–98% суммарно). Мощность подзоны изменяется от 10 до 100 м.

Сульфатные натриевые воды нижней подзоны приурочены к исключительно терригенным гипсоносным пермским осадкам лагунно-морского происхождения, залегающим ниже днищ основных рек региона. Наиболее развиты они в верхнепермских отложениях на западе региона, где глубина залегания кровли подзоны изменяется от 10–20 м в долинах рек до 200 м на водоразделах. Мощность ее в среднем 100 м. В Предуральском бассейне сульфатные натриевые воды вскрываются на глубине до 100–300 м; мощность подзоны здесь может достигать 120–150 м.

Минерализация сульфатных натриевых вод колеблется от 1,4 до 20, обычно 3–10 г/л, причем рост ее происходит с глубиной. При величине минерализации до 6,0–6,5 г/л воды по катионному составу обычно кальциево-натриевые или смешанные (трехкомпонентные). В более минерализованных водах ведущее значение среди катионов принадлежит натрию (до 85–90%), что в абсолютном выражении составляет 4–5 г/л. Образование сульфатных натриевых вод обусловлено двумя взаимосвязанными и взаимообусловленными процессами, стимулирующими друг друга: экстракцией  $\text{CaSO}_4$  и обменной адсорбцией между кальцием раствора и натрием поглощенного комплекса пород.

Зона сульфатно-хлоридных вод с минерализацией 5–36 г/л, как и лежащая выше, связана главным образом с пермскими отложениями и характеризуется условиями затрудненного гидрогеодинамического режима. В геохимическом отношении зона занимает промежуточное положение, отличаясь окислительно-восстановительной обстановкой ( $E_h$  от +100 до -180 мВ; pH 6,7–7,5), газами атмосферного ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) и биохимического ( $\text{H}_2\text{S}$ ) происхождения. Поэтому в зависимости от газового состава минеральные сульфатно-хлоридные воды могут быть использованы или в лечебно-питьевых, или в бальнеологических целях.

К востоку от меридиана г. Уфы, в краевой части Волго-Камского бассейна и в Предуральском бассейне сероводородные сульфатно-хлоридные воды (5–30 г/л) установлены в карбонатных и терригенно-карбонатных отложениях нижнепермского возраста, а в Западно-Уральском бассейне — в карбонатных каменноугольных и девонских отложениях. Мощность зоны здесь достигает 250 м.

Зона хлоридных рассолов развита повсеместно, занимает наибольший интервал гидрогеохимического разреза (от 3 км на Уфимском плато до 10–11 км в Предуральском прогибе) и полностью соответствует нижнему этажу артезианского бассейна.

В составе зоны выделяется две основные подзоны: натриевых ( $\text{CaCl}_2$  менее 20%) и натриево-кальциевых ( $\text{CaCl}_2$  до 50–70%, или 100–150 г/л) рассолов. Указанные подзоны отличаются не только общим ионно-солевым, но микрокомпонентным и газовым составом вод, а также гидрогеодинамическими условиями.

Главные газовые компоненты нижней подзоны —  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$ .  $\text{H}_2\text{S}$  в ней отсутствует. Напротив,  $\text{H}_2\text{S}$  является обязательной составной частью газового состава рассолов верхней (натриевой) подзоны. Одним из неперенных условий биохимической генерации  $\text{H}_2\text{S}$ , как известно, является подвижность подземных вод, обеспечивающая растворение  $\text{CaSO}_4$  и жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий. Это обстоятельство, а также данные по степени метаморфизации рассолов ( $r\text{Na}/r\text{Cl}$ ), величинам бромного градиента ( $\text{Br}/\text{H}$ ), коэффициентов  $\text{Br}/\text{M}$ ,  $\text{He}/\text{Ar}$  дают основание связать верхнюю подзону с условиями весьма затрудненного водообмена, а нижнюю — с обстановкой квазизастойного водного режима.

### ***13.10 Минеральные воды.***

Лечебные свойства минеральных вод определяются: минерализацией, ионно-солевым составом, содержанием биологически активных компонентов, газовым и окислительно-восстановительным потенциалом ( $E_h$ ), активной

реакцией среды (рН), радиоактивностью, температурой, содержанием сероводорода ( $H_2S$ ).

Минимальная концентрация элементов для минеральных лечебных вод (мг/л): сероводород – 10, бром – 25; иод 5, фтор – 2, железо – 10, радон – 14 ед. Махе.

К промышленным водам относятся воды с содержанием компонентов не менее:

Таблица 11 - Нормативные требования к минеральным промышленным водам

$NaCl$	50 г/л	Галитовые
$H_2SO_4$	50 г/л	Сульфидные
$NaHCO_3 + Na_2CO_3$	50 г/л	Содовые
Br	250-500	Бромные
I	18	Иодные
$\left\{ \begin{array}{l} Br \\ I \end{array} \right.$	150-200 мг/л 10 мг/л	Иодо-бромные
Ra	$10^{-11} - 10^{-9}$ г/л	Радиевые
$B_2O_3$	200 мг/л	Борные
Li	10-20 мг/л	Литиевые
K	1000 мг/л	Калиевые

### **Контрольные вопросы:**

1. Физические свойства подземных вод
2. Реакция воды
3. Общая минерализация воды
4. Химический состав воды
5. Формы выражения химического состава воды
6. Оценка пригодности воды для различных целей
7. Оценка агрессивности свойств подземных вод
8. Формирование химического состава подземных вод
9. Зональность подземных вод

## 14. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*План:*

*14.1 Карстовые процессы.*

*14.2 Трещиноватость пород.*

*14.3 Суффозия.*

*14.1 Карстовые процессы.*

Подземные воды заключены в порах и трещинах горных пород, слагающих земную кору. Условия образования и залегания подземных вод, закономерности их движения, формирования химического состава и другие вопросы рассмотрены во втором разделе.

Подземные воды являются одним из важнейших агентов экзогенных геологических процессов. Они проводят разрушительную и созидательную работу. Разрушительная деятельность подземных вод проявляется главным образом в растворении водорастворимых горных пород, чему способствует содержание в воде растворенных солей и газов. Среди геологических процессов, обусловленных деятельностью подземных вод, прежде всего, следует назвать карстовые явления.

*Карстом* называется процесс растворения горных пород передвигающимися в них подземными и просачивающимися поверхностными водами.

По определению Д.С. Соколова (1962 г.) **карст** – это процесс разрушения и уничтожения проницаемых растворимых горных пород посредством главным образом выщелачивания их движущимися водами.

В результате карста в породах образуются пещеры и пустоты различной формы и размера. Протяженность их может достигать многих километров. Из карстовых систем наибольшую протяженность имеет Мамонтова пещера

(США), общая длина ходов которой составляет около 200 км. Изучением пещер занимается спелеология.

Выделяются карстующиеся породы – соленые породы (площадь их в мире 4 млн. км<sup>2</sup>), гипсы-ангидриты (7 млн. км<sup>2</sup>) и карбонатные породы (40 млн. км<sup>2</sup>).

Различают карст:

- *соляной;*
- *гипсовый;*
- *карбонатный.*

Для образования карста необходимо наличие следующих условий:

- 1) наличие растворимых горных пород;
- 2) наличие трещин, обуславливающих возможность циркуляции воды в горных породах;
- 3) наличие движущихся вод;
- 4) растворяющая способность движущихся вод.

Только при сочетании этих условий образуется карст.

#### **Основные карстовые формы:**

- 1) трещины, карстовые воронки, колодцы, слепые лога, долины и пр.,
- 2) карстовые пещеры, каналы и другие крупные карстовые полости,
- 3) каверны и вторичная пористость.

Развитие карста начинается с расширения (под влиянием выщелачивания) трещин, по которым поступают поверхностные или циркулируют подземные воды. Карст обуславливает специфические формы рельефа. Главная особенность его – наличие карстовых воронок диаметром от нескольких до сотен метров и глубиной до 20...30 м. Карст развивается тем интенсивнее, чем больше выпадают осадки и чем больше скорость движения подземных вод. В наибольшей степени явления карста наблюдаются в условиях влажного климата вблизи склонов, на участках с интенсивной тектонической трещиноватостью пород. Районы, подверженные карсту, характеризуются быстрым поглощением осадков. Реки также теряют здесь значительное

количество воды, вследствие чего русла их периодически высыхают. Пройдя часть длины в подземных пещерах, реки нередко вновь выходят на поверхность земли. В пределах массивов закарстованных пород выделяют зоны нисходящего движения воды и горизонтального — в сторону речных долин, моря и т. д. В карстовых пещерах наблюдаются натечные образования преимущественно карбонатного состава – сталактиты (нарастающие вниз) и сталагмиты (растущие снизу). Карст ослабляет горные породы, снижает их качество как основания для гидротехнических и других сооружений.

По карстовым пустотам возможна значительная утечка воды из водохранилищ и каналов. В то же время подземные воды, заключенные в закарстованных породах, могут быть ценным источником для водоснабжения и орошения. Своеобразной формой является *глинистый карст* (кластокарст). Он наблюдается в гипсоносных песчано-глинистых породах, рыхлых мергелях и др. В этом случае вследствие растворения гипса в породах образуются пустоты, причем одновременно с процессами растворения происходит механический вынос частиц породы движущейся водой. По степени перекрытости карстующихся пород выделяются подклассы закрытого, покрытого, перекрытого и голого карста. Почти 50% территории Башкортостана закарстовано (рисунок 13).

Условные обозначения к рисунку 13:

*Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I)*: 1 – равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья, 2 – равнинный и предгорный карст. Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. *Уральская карстовая страна (II)*: 3 – горный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала, 4 – равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. 5-8 – типы карста: 5 – карбонатный, 6 – сульфатный, 7 – сульфатно-карбонатный, 8 – кластокарст; 9 – возраст карстующихся пород; 10 – контур палеодолин; 11-13 – границы: 11 – карстовых стран; 12 – типов карста; 13 – граница Башкортостана.

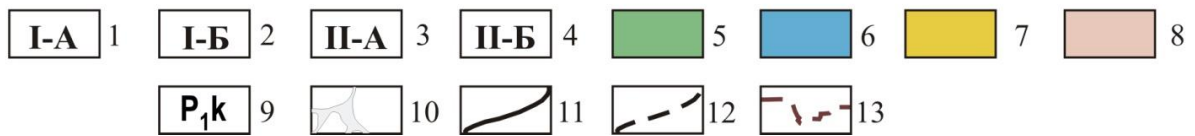
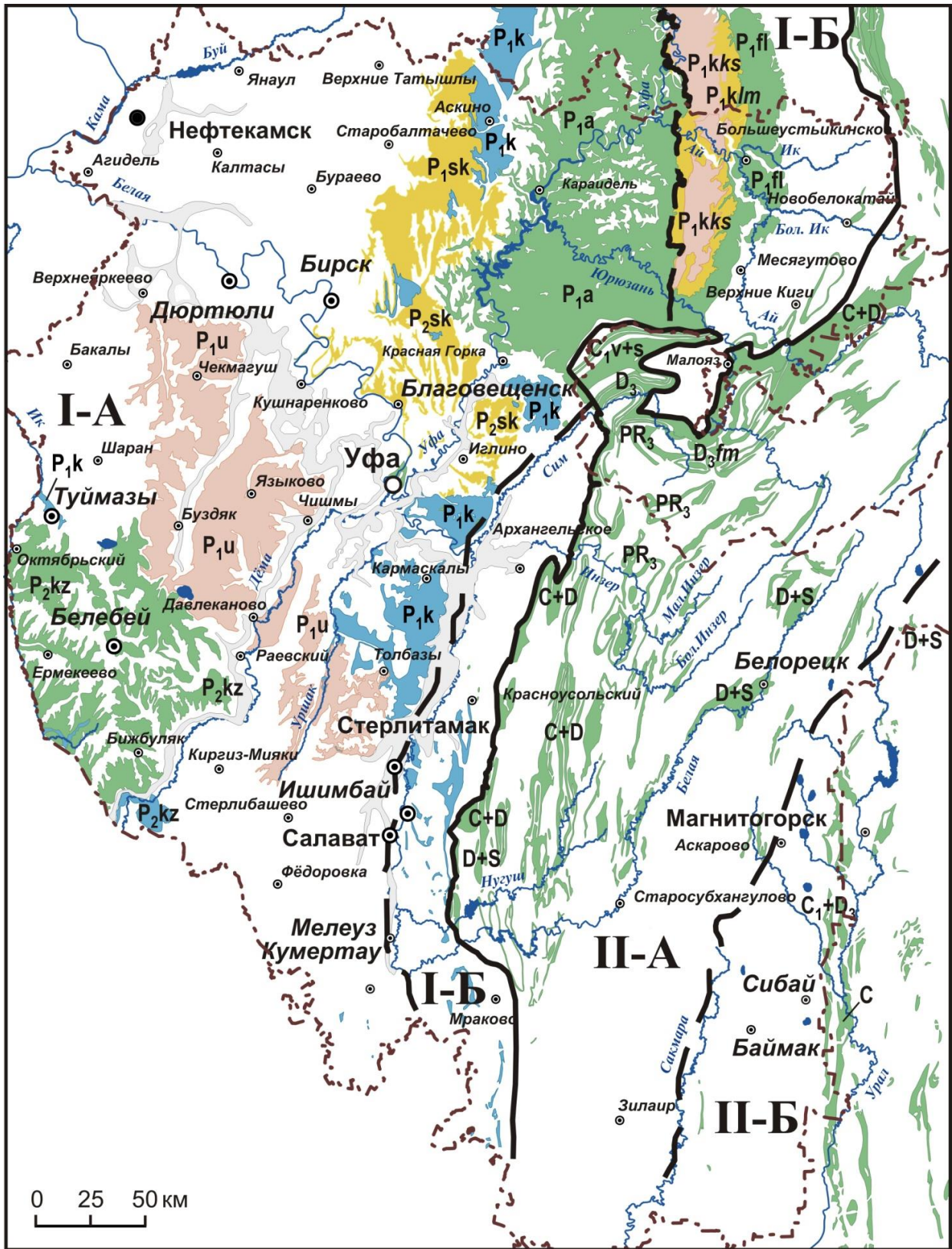


Рисунок 13 - Карта карста Башкортостана (по В.И. Мартину, с дополнениями и изменениями Р.Ф. Абдрахманова [Абдрахманов и др., 2022])



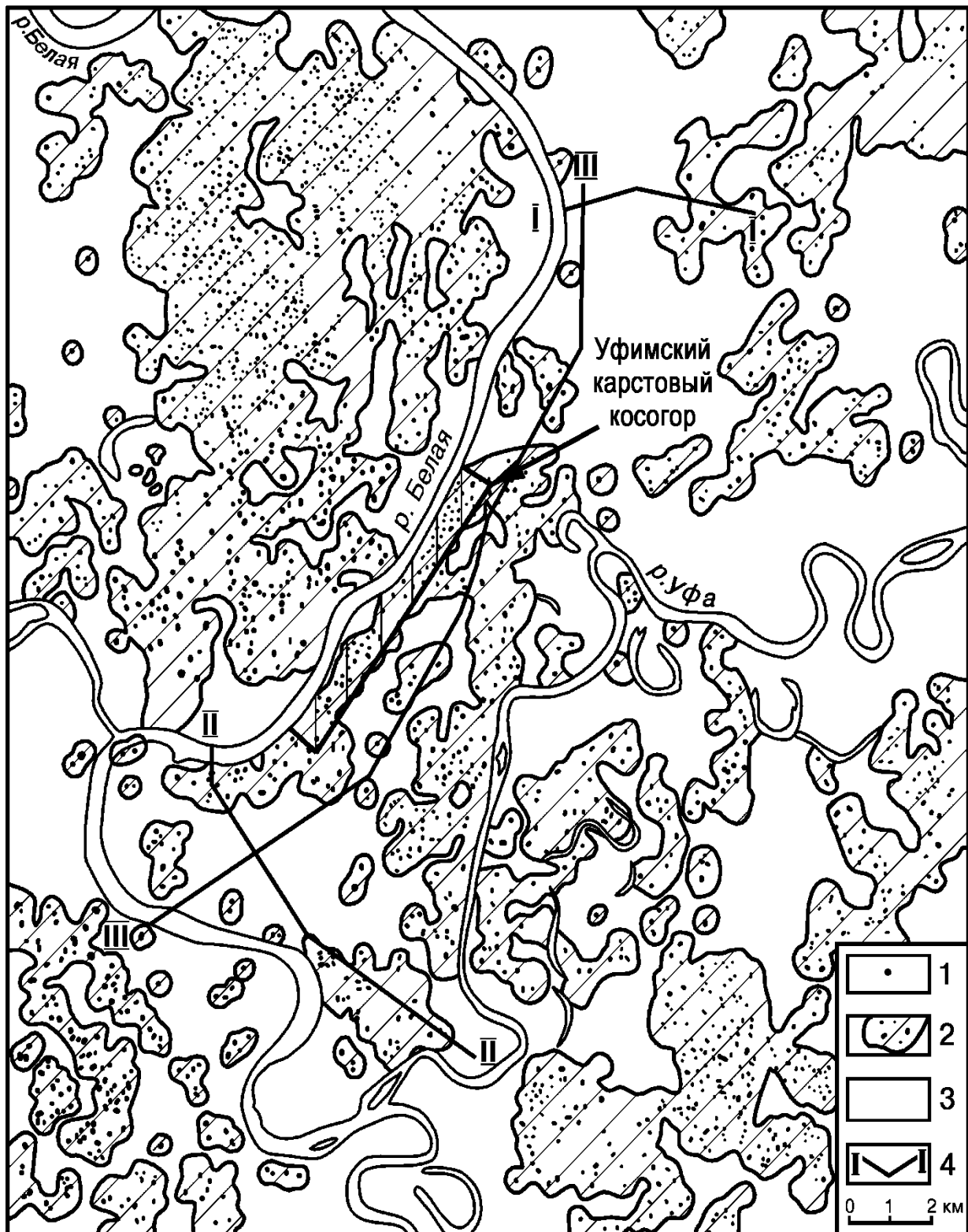


Рисунок 14 - Карта закарстованности территории г. Уфы [3]  
 1 – карстовые воронки и провалы (территории неустойчивые и очень неустойчивые для строительства); 2 – территории вокруг воронок (недостаточно устойчивые и несколько пониженной устойчивости); 3 – территории за пределами карстовых полей (относительно устойчивые); 4 – линия гидрогеологического разреза

## ***14.2 Трещиноватость пород.***

Трещиноватость представляет собой одну из форм нарушения сплошности горных пород, широко распространенную в осадочных, магматических и метаморфических образованиях земной коры. Трещиноватость является важным фактором, определяющим водопроницаемость пород.

В соответствии с известной классификацией Д.С. Соколова существуют четыре категории трещин: литогенетические, тектонические, разгрузки и выветривания.

**Литогенетические трещины** образуются в процессе литогенеза за счет внутренней энергии горной породы (осадка). Отличительной особенностью их является локализация в пределах данного слоя (трещины внутрислойные); направление их может быть различным: параллельным напластованию, перпендикулярным или наклонным к нему.

**Тектонические трещины** являются результатом напряжений и движений земной коры, образующих пликативные (складчатые) и дизъюнктивные (разрывные) деформации горных пород. Они подразделяются на два вида: внутрислойные и секущие несколько слоев. Тектонические и литогенетические внутрислойные трещины имеют большое сходство и потому практически трудно различимы.

**Трещины разгрузки и выветривания** относятся к группе экзогенных. Они, как правило, являются наложенными на решетку ранее существовавших трещин эндогенного происхождения (литогенетических и тектонических) и на планетарную трещиноватость.

Изученность трещиноватости пород Башкортостана не одинакова в различных районах. Наибольшая полнота сведений по этому вопросу имеется для осадочного чехла платформенной территории Южного Предуралья (Западный Башкортостан), где трещиноватость изучалась в процессе гидрогеологических съемок, разведки и эксплуатации нефтяных месторождений, поисков источников водоснабжения. Слабо изучена трещиноватость пород горно-складчатой области Башкортостана.

Среди трещин пород платформенной области Башкортостана выделяются тектонические, литогенетические внутрислойные и секущие трещины. Они распространены во всех литологических разностях пермских пород, образующих платформенный осадочный чехол — гипсах, известняках, мергелях, алевролитах, аргиллитах и аргиллитоподобных глинах, песчаниках и др. Преобладают трещины, перпендикулярные плоскости напластования, наклонные трещины ( $60-70^\circ$ ) встречаются довольно редко. Поверхность прямолинейных раскрытых и зияющих трещин гладкая (в гипсах и известняках) и шероховатая (в песчаниках), очень гладкая, местами как бы полированная (в аргиллитоподобных глинах). На стенках наблюдаются налеты гидроокислов железа и марганца, натеки кальцита и гипса.

Наиболее трещиноватыми являются аргиллитоподобные глины и аргиллиты (густота трещин 0,1–0,3 м). В массивных средне- и толстослоистых известняках трещины расположены друг от друга на расстоянии от 0,5–2,5 до 5–9 м, а в тонкослоистых и листоватых — от 0,1 до 0,4 м, реже до 1,5 м, в гипсах — от 0,5 до 2,0 м и более. Густота трещин в песчаниках зависит от состава и типа их цемента. Песчаники, слабо сцементированные и средней плотности с глинистым цементом базального типа разбиты трещинами более интенсивно, чем крепкие разности песчаников с карбонатным цементом.

Максимальной шириной внутрислойных и секущих трещин обладают массивные, чистые по составу известняки и крепкие песчаники (1–20, иногда до 50 см). В тонкослоистых глинистых известняках и мергелях ширина трещин от 0,2 до 3 см.

В гипсах кунгура, несмотря на их массивность, ширина внутрислойных и секущих трещин небольшая (до 1–1,5 см), что связано с высокой пластичностью пород. Вместе с тем трещины в них служат изначальной причиной развития по ним карстового процесса, вызывающего резкое повышение водопроницаемости (до 100 м/сутки). В придолинных зонах закарстованные породы осложнены также и трещинами разгрузки.

В пермских отложениях Южного Предуралья выявлено два преобладающих направления внутрислойных и секущих трещин, ориентированных под прямым углом друг к другу и плоскости напластования. Этими направлениями являются: на Бугульминско-Белебеевской возвышенности — СЗ 320-340° и СВ 40-60° или СЗ 290-300° и СВ 25-30° (рисунок 15 а), в Камско-Бельском понижении — СЗ 290-335° и СВ 45-70°, на Уфимском плато (рисунок 15 б) — СЗ 320-340° и СВ 40-60° или СЗ 270-280°, в Юрюзано-Айском понижении (район Янган-Тау) — СЗ 310-320° и СВ 40-55° или СЗ 270-290° и СВ 15-25°, в южной части Бельской депрессии — СЗ 340-350° и СВ 60-70°. На долю северо-западного направления приходится 40-52% от общего числа измеренных трещин, а на долю северо-восточного — до 35%.

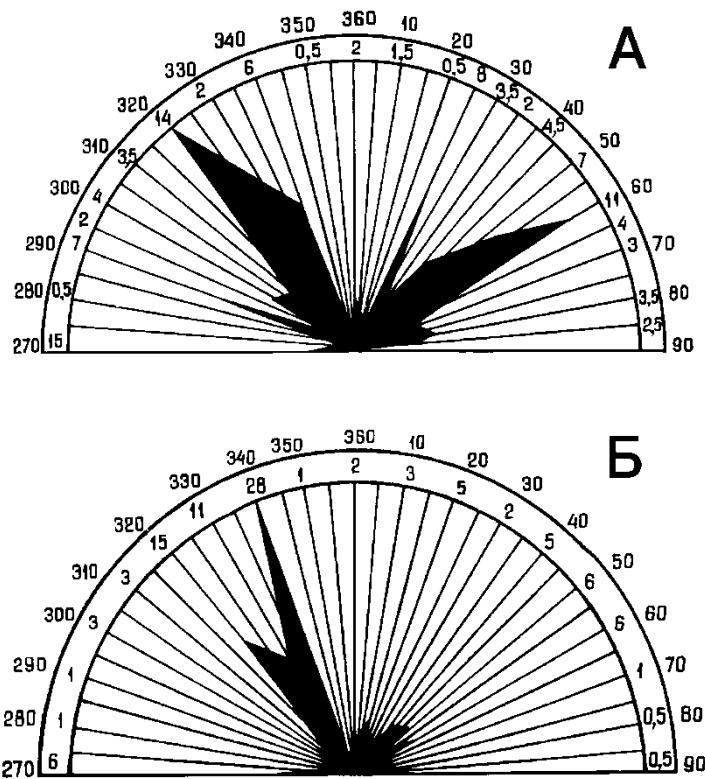


Рисунок 15 - Розы-диаграммы направлений внутрислойных и секущих трещин в пермских отложениях Южного Предуралья (в %): а - Бугульминско-Белебеевская возвышенность; б - Уфимское плато

Ведущая роль тектонических процессов в формировании трещиноватости пород на платформенных структурах является установленной и признанной многими исследователями. Фактический материал по трещиноватости

верхнепермских отложений Бугульминско-Белебеевской возвышенности и нижнепермских пород Уфимского плато, Прибельской равнины свидетельствует о согласии между максимумами трещиноватости и элементами залегания пород.

С преобладающими направлениями трещиноватости согласуется и расположение гидрографической сети рассматриваемой территории. К линейным зонам тектонической трещиноватости приурочена также интенсивная закарстованность карбонатных отложений.

Разновидностью литогенетических трещин являются **трещины усыхания**. Они образуются в субаэральных условиях при участии агентов выветривания, раскрыты у поверхности и быстро сужаются с глубиной. Количество таких трещин тем больше, чем меньше толщина слоя. Трещины усыхания прослеживаются до глубины 2,5-3 м от поверхности, ширина их колеблется от 1-2, редко 2,5-3 см в верхней части разреза до 1-2 мм — в нижней. Трещины либо открытые, либо заполнены рыхлым гумусовым материалом.

**Литогенетические трещины напластования** отчетливо выражены в известняках и песчаниках, причем наибольшая густота (0,03-0,1 м) и наименьшая раскрытость их (0,1-0,3 см) характерны для тонкослоистых известняков. Трещины в них, как правило, заполнены глинистым материалом. В средне- и толстоплитчатых известняках густота трещин составляет 0,5-0,8 м, а ширина 0,5-2,0 см. В песчаниках густота трещин напластования изменяется от 0,05 до 0,3 м, а ширина — от 0,05-0,1 до 1-3 см. Почти все трещины имеют рыхлый песчано-глинистый наполнитель.

**Трещины разгрузки** (бортового и донного отпора) развиты в долинах рек. Их образование связано с разуплотнением пород, вызванным снятием геостатического давления под воздействием эрозии. Мощность зоны разгрузки в долинах рек Восточно-Европейской и Сибирской платформ, по литературным данным, составляет первые десятки метров. В осадочных породах глубина распространения разуплотненных пород зависит от их прочности и изменяется от 30 до 50 м.

Трещины разгрузки наиболее подробно изучены А.Г. Лыкошиным в долине р. Уфы при проведении изысканий под Павловскую ГЭС. В штольне им отмечены трещины шириной от 3 до 25 см, местами заполненные глинистым материалом. С глубиной количество трещин и их ширина резко уменьшаются. В долине р. Белой в районе г. Уфы трещины бортового отпора разбивают гипсы на отдельные блоки параллельно склону.

Трещины разгрузки в районах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, Камско-Бельского и Юрюзано-Айского понижений визуально практически не изучены. Однако следует отметить, что в долинах рек Южного Предуралья в условиях межпластовых нисходящих перетоков вод трещины бортового отпора, пересекающие на склонах как водопроницаемые, так и водоупорные породы, способствуют дренированию водоносных горизонтов до уровня рек. Этим объясняются низкие дебиты источников, их малочисленность, а также слабо выраженная этажность на крутых склонах долин Белой, Ика, Уфы, Юрюзани, Ая, Чермасана, Усени, Демы и др. Скважины, расположенные в прибортовых частях долин и не достигшие уровня рек, нередко оказываются слабоводообильными или даже безводными.

Наличием трещин бортового отпора, изолирующих массив с горячими газами от водоносных горизонтов Юрюзано-Айского водораздела, объясняется и Янгантауский «феномен» (газотермальные явления) Башкортостана.

Обширный материал гидрогеологических съемок и поисково-разведочных на воду работ на этой территории свидетельствует, что водопроницаемость плотных пород, зависящая, как известно, от их трещиноватости, в долинах рек значительно (в среднем в 10 раз) выше, чем на водоразделах. Например, в долинах рек Сюнь, База, Чермасан и др. коэффициенты фильтрации водоносных уфимских песчаников составляют от 1-5 до 10-15 м/сутки, иногда более, в то время как на водоразделах они не превышают десятых долей м/сутки.

Аналогичная зависимость водопроницаемости от орографических условий наблюдается также для глинистых пород. Такая закономерность, по-

видимому, имеет общий характер и указывает на наличие под речными долинами ослабленных зон с повышенной водопроницаемостью пород, а следовательно и более высокой трещиноватостью, в формировании которой фактор разгрузки несомненно играет существенную роль.

Трещиноватость пород обнаруживается практически в любых горных породах, независимо от структурного положения, петрографического состава, возраста, образуя сложную систему (сеть) мелких и более крупных трещин, пересекающих толщу пород на значительную глубину (до 300-400 м). Наиболее крупные трещины, группируясь в системы определенных направлений, разделяют массивные и плотные осадочные, магматические и метаморфические породы на блоки — отдельности различной формы и размеров.

Среди систем трещиноватости, пронизывающих породы Южного Урала, существуют некоторые в общем незначительные, но обнаруживающиеся при статистической обработке полевых замеров различия в ориентировке трещиноватости у пород различного возраста и петрографического (литологического) состава. Так, по данным Р.А. Фаткуллина, в докембрийских породах метаморфического комплекса Уралтауского антиклинория (сланцы, кварциты) характерны простирания трещин по азимутам  $20^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $280^\circ$ ,  $320^\circ$ ,  $340^\circ$ , в песчаниках зилаирской свиты ( $D_{3fm}-C_{1t}$ ) —  $0^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $350^\circ$ , в магматических породах силурийского и девонского возраста Ирендыкского поднятия —  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $350^\circ$ , в девонских магматических породах Кизило-Уртазымского синклинория —  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $280-300^\circ$ ,  $350^\circ$ .

С трещиноватостью пород совпадают и основные направления гидрографической сети региона.

**Растворимость пород.** Этот процесс играет в формировании карста важнейшую роль. Растворимость пород сильно меняется в присутствии других солей (таблицы 13,14,15).

Таблица 13 - Растворимость  $CaSO_4$  в присутствии  $NaCl$  (В. М. Левченко, 1950 г.)

$NaCl$ , г/л	0	0,71	5,67	15,78	47,36	129,6	161,1	196,4	293
$CaSO_4$ , г/л	2,085	2,25	3,14	4,35	6,1	7,48	6,96	6,64	5,19

Таблица 14 - Растворимость  $CaCO_3$  в растворе  $NaCl$

$NaCl$ , г/л	0,0	9,72	21,03	30,03	50,62
$CaCO_3$ , г/л	0,0645	0,103	0,1263	0,1326	0,1388

Таблица 15 - Растворимость  $CaCO_3$  в зависимости от содержания  $CO_2$

$CO_2$ , % объема	0,00	0,03	0,30	1,0	10,00	100,00
$CaCO_3$ г/л	0,0131	0,0634	0,1334	0,2029	0,4700	1,0986

### 14.3 Суффозия.

К разрушительной деятельности подземных вод относится **суффозия** (подкапывание) – это механический вынос мелких частиц рыхлых пород из трещин и пустот крупнообломочных горных пород с связи с изменением гидростатического давления (градиента напора).

Суффозия является результатом гидродинамического давления, которое оказывает на породу фильтрующаяся вода. Суффозия обычно происходит в песках, в лессах и лессовидных породах и др.

Вынос частиц начинается, когда напорный градиент достигает критического значения. Критический градиент по Е.А. Замарину равняется

$$I_{кр} = (\gamma - 1)(1 - n) + 0,5n, \quad /27/$$

где  $\gamma$  - плотность песка;

$n$  – пористость песка в долях единиц.

Подземные воды могут являться одной из причин смещения земляных масс на склонах. Суффозия происходит под основаниями гидротехнических сооружений, каналов, может привести к разрушению сооружений.

Созидательная работа подземных вод проявляется в отложении ими различных соединений, цементирующих трещины в горных породах. В местах



выхода источников на поверхность земли образуются карбонатные, кремнистые и другие соединения (известковые туфы, травертины и др.).

Процессы засоления почв, наблюдаемые в засушливых районах вследствие испарения неглубоко залегающих минерализованных грунтовых вод, также являются проявлением геологической деятельности грунтовых вод.

***Контрольные вопросы:***

- 1. Физические свойства подземных вод*
- 2. Реакция воды*
- 3. Общая минерализация воды*
- 4. Химический состав воды*
- 5. Формы выражения химического состава воды*
- 6. Оценка пригодности воды для различных целей*
- 7. Оценка агрессивности свойств подземных вод*
- 8. Формирование химического состава подземных вод*
- 9. Зональность подземных вод*

## 15. ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

**План:**

**15.1 Оценка запасов подземных вод.**

**15.2 Режим подземных вод.**

**15.1 Оценка запасов подземных вод.**

Для разработки и добычи подземных вод необходимо знать запасы подземных вод (иногда называют ресурсы). Они складываются из нескольких видов

**Вековые**

$$Q_{\text{век}} = F \cdot H \cdot \mu, \quad /28/$$

где  $F$  – площадь распространения водного горизонта, км<sup>2</sup>;

$H$  – мощность водного горизонта, м

$\mu$  – водоотдача.

**Возобновляемые естественные ресурсы (запасы).**

$$Q_{\text{воз}} = M \cdot F, \quad /29/$$

где  $M$  – модуль подземного стока л/с·км<sup>2</sup>.

**Эксплуатационные запасы**

$$Q_{\text{экс}} = \frac{Q_{\text{век}}}{\alpha t} + 0,7 \cdot Q_{\text{воз}}, \quad /30/$$

где  $\alpha$  – коэффициент извлечения, предельная допустимая величина понижения уровня водного горизонта (обычно не более половины мощности водоносного горизонта,  $\alpha=0,5$ ),

$t$  – заданное время эксплуатации, лет (обычно рассчитывается на 15, 25, 50 лет).

Для использования подземных вод необходимо знать **эксплуатационные ресурсы**. Это объем подземных вод в м<sup>3</sup>/сут, который может быть получен

рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока водопотребления.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) обеспечиваются:

- 1) естественными (вековыми) емкостными запасами;
- 2) естественными (возобновляемыми) ресурсами;
- 3) привлекаемыми ресурсами;
- 4) искусственными запасами (формирующимися при гидротехническом строительстве, орошении, искусственном восполнении).

Эксплуатационные запасы подразделяются на 4 категории: А, В, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>.

Категории А и В являются промышленными запасами.

### ***15.2 Режим подземных вод***

Под ***режимом*** подземных вод следует понимать изменение их уровня, температуры, химического состава и расхода во времени и в пространстве под влиянием естественных и искусственных факторов.

Под ***естественными факторами***, влияющими на режим подземных вод, понимают изменение условий питания и разгрузки подземных вод в зависимости от режима поверхностных вод, а также от количества атмосферных осадков, температуры и давления воздуха. Ряд исследователей связывают изменения в режиме подземных вод с деятельностью солнца.

***Искусственные факторы***, влияющие на режим подземных вод, связаны с практической деятельностью человека. К ним относятся откачки, подъем горизонта воды в водохранилищах, орошение, осушение и др.

Следует различать суточные, сезонные, годовые и многолетние изменения элементов режима подземных вод.

Суточные колебания уровня изучены наиболее полно; они зависят от дефицита влажности в зоне аэрации и составляют величину порядка 0,7—3,2.

Сезонные колебания в основном зависят от осадков и температуры грунтов; отчетливо влияние этих факторов фиксируется весной и осенью.

Годовые колебания уровня подземных вод зависят от величины осадков, их интенсивности, дефицита влаги и температуры грунтов. Годовые амплитуды колебаний составляют 0,78-3,05 м. По данным 60-летних наблюдений фиксируется ряд максимумов и минимумов, повторяющихся через 10-13 лет. Минимальные уровни воды совпадают с засушливыми годами, максимальные — с влажными.

Принято различать два типа режима подземных вод: прибрежный и водораздельный.

На водораздельных пространствах режим подземных вод зависит в основном только от климатических факторов; колебания уровня поверхностных вод сказываются слабо.

Режим подземных вод в прибрежных речных, морских районах или вблизи водохранилищ находится в прямой связи с режимом поверхностных вод; влияние их сказывается на расстояниях, достигающих 5-11 км. Амплитуда колебаний уровня подземных вод в скважине, расположенной в 1 км от реки достигает 6,5 м.

На режим подземных вод оказывают влияние приливно-отливные течения, распространяющиеся до 15 км от берега.

В районах с увлажненным климатом амплитуда колебаний уровня подземных вод вдали от рек обычно не превышает 1-1,5 м и редко достигает 2-2,5 м. Наибольшая амплитуда наблюдается весной в период снеготаяния, наименьшая — зимой. Производительность водоносных пластов, а также химический состав и температура подземных вод в течение года изменяются мало.

В горных районах колебания уровня подземных вод и изменение производительности водоносных пластов в течение года проявляются весьма резко.

В засушливых областях, как и в увлажненных, режим подземных вод находится в зависимости от метеорологических факторов. Различие в режиме этих областей заключается в том, что в засушливых областях годовая

амплитуда колебаний уровня подземных вод достигает 6-8 м при значительном снижении производительности водоносного пласта.

Под влиянием искусственных факторов режим подземных вод может резко изменяться. Наиболее отчетливо это проявляется в районах водозаборов, разработки полезных ископаемых, где снижение уровней подземных вод в год не менее 1,5-2 м.

Изменение режима подземных вод, в частности колебания их уровня, имеет большое практическое значение: при подъеме уровня может произойти подтопление зданий или заболачивание территорий, а в засушливых районах, где подземные воды залегают на небольшой глубине — 1,5 м, подъем уровня может вызвать испарение с поверхности подземных вод и накопление солей в почве с образованием солонцов или солончаков.

***Контрольные вопросы:***

- 1. Оценка запасов подземных вод.*
- 2. Режим подземных вод.*
- 3. Что такое режим подземных вод?*

## РАЗДЕЛ 3. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

### 16. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

*План:*

*16.1 Понятие об инженерно-геологических свойствах пород.*

*16.2 Методы изучения инженерно-геологических свойств горных пород.*

*16.3 Основные инженерно-геологические свойства горных пород.*

*16.1 Понятие об инженерно-геологических свойствах пород.*

Горные породы, используемые в качестве оснований для различных сооружений, являются грунтами.

Грунты – это горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени, с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека. Ввиду различий в происхождении и геологического развития, горные породы неодинаковы. Некоторые свойства могут изменяться при эксплуатации сооружений. На инженерно-геологические свойства влияет геоморфологические условия, современные геологические процессы, гидрогеологические условия (глубина залегания подземных вод, химический состав) и др.

*16.2 Методы изучения инженерно-геологических свойств горных пород.*

Инженерно-геологические свойства горных пород изучают:

1) геологическими методами (возраст пород, происхождение, характер залегания, мощность) с бурением скважин, шурфов.

2) полевыми методами (штампами). Они основаны на использовании специальных установок, позволяющих оценить свойства горных пород в условиях их естественного залегания (наливы, откачки и др.).

3) лабораторными методами (гранулометрический состав, пластичность, естественная влажность, пористость, степень плотности, объемный вес, схема грунта и др.).

При изучении скальных пород изучают их состояние (трещиноватость, выветренность, заполнитель трещин, прочность на сжатие и др.). Классификация прочностных свойств пород приводится в таблице 16.

Таблица 16 - Классификация горных пород по величине прочности на сжатие

Группа пород	Интервал прочности, кгс/см <sup>2</sup>
I Весьма слабые	
А	<40
В	40-60
В	60-100
II Слабые	
А	100-150
В	150-230
В	230-350
III Средней прочности	
А	350-520
В	520-800
В	800-1200
IV Прочные	
А	1200-1800
В	1800-2700
V Весьма прочные	>2700

### ***16.3 Основные инженерно-геологические свойства горных пород.***

К основным инженерно-геологическим свойствам горных пород относятся следующие показатели:

1. Гранулометрический состав несвязных (определяется ситовым анализом) и связных пород определяется ареометрическим методом – основанном на различной скорости оседания частиц в воде). Скорость оседания определяется по Стоксу. Коэффициент неоднородности  $K_{\frac{60}{10}}$   $d^{60}$  и  $d^{10}$  диаметры

частиц, меньше которых в данной породе содержится соответственно 60 и 10% частиц. При  $K > 3$  породы называются неоднородными.

2. Плотность пород – отношение массы твердых частиц к их объему (плотность песчаных пород обычно – 2,5-2,8 г/см<sup>3</sup>).

3. Пористость пород – отношение объема всех пор к общему объему породы:  $n = \frac{V_n}{V} \cdot 100\%$ .

4. Для песков, гравия определяют угол естественного откоса. Это угол образуемый поверхностью песчаного конуса с горизонтальной плоскостью при свободном высыпании песка на плоскость в воздушно-сухом состоянии.

5. Пластичность – способность породы под воздействием внешних усилий изменять форму без разрушения и разрыва. Определяется в интервале влажности. Верхней предел пластичности – влажность, при увеличении которой порода теряет свои пластические свойства.

Техническая мелиорация пород состоит в регулировании и преобразовании состояния и свойств пород в заданном направлении, изменять гранулометрический состав, структуру кристаллической решетки, степень монолитности. Отдельные способы технической мелиорации производят столь глубокие и коренные изменения, что они полностью утрачивают природные свойства. Пески в результате двухрастворной силикатизации превращаются в монолитные породы. Глинистые породы после обжига каменеют, замораживание, цементация.

Способы мелиорации пород: укрепление гранулометрическими добавками, механическое уплотнение (виброуплотнение), укатка, сейсмическое уплотнение, водопонижение и пр.

### ***Контрольные вопросы:***

- 1. Понятие об инженерно-геологических свойствах пород.*
- 2. Методы изучения инженерно-геологических свойств горных пород.*
- 3. Основные инженерно-геологические свойства горных пород.*



## 17. ЭРОЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

*План:*

*17.1 Определение эрозии.*

*17.2 Виды эрозионных процессов.*

*17.3 Формирование речной долины.*

*17.4 Элементы речной долины.*

*17.5 Продольный профиль реки.*

*17.6 Эрозия и строительство.*

*17.1 Определение эрозии.*

**Эрозия** является опасным геологическим процессом, т.к. приводит к достаточно плачевным последствиям (разрушению конструкции, смещению, усадке фундамента и др.). Данный процесс приводит к разрушению горных пород (грунтов) из-за действия поверхностных водных потоков, которые сопровождаются ветрами. При этом наблюдается отрыв, и даже смыв обломков материалов. Разрушительные действия эрозионных процессов зависят от массы поверхностных вод и их скорости движения. Инженерно-геологические изыскания в обязательном порядке проводятся на территориях, склонных к возникновению опасных геологических процессов. Эрозия относится к экзогенным разрушающим процессам.

*17.2 Виды эрозионных процессов.*

К эрозионным процессам, которые изучаются при геологических изысканиях, относятся следующие виды: плоскостная эрозия, овражная, линейная.

**Плоскостная эрозия** подразумевает за собой смыв верхнего слоя грунта на склонах потоками талых (дождевых) вод. Действия данного вида эрозионных процессов существенно не приносит катастрофических последствий, поскольку имеют малую масштабность. Конечно, при

проектировании здания (дома, коттеджа, сооружения) на территории, склонной к данному виду эрозии, стоит учитывать этот нюанс и своевременно проводить защитные меры (укрепление склонов, например). Поскольку это грозит к подмыву фундамента, а также деформации всей конструкции. Последствиями плоскостной эрозии является частичный смыв грунта на конкретном участке, а также его намыв в другой части участка.



Рисунок 16 – Плоскостная эрозия на водосборе

**Овражная эрозия** сопровождается временными потоками воды, которые сосредотачиваются в бороздах и других понижениях, имеющих линейно-вытянутую форму (балка, склон и др.). Геологические изыскания максимально детально изучают территории, склонные к образованию овражных эрозионных процессов, поскольку вред, который они наносят, может достигать огромных размеров. При интенсивном потоке дождевых вод по склону последствием являются образования оврагов глубиной до 20 метров. Подобные ситуации могут привести к глобальным последствиям при строительстве. Образование

оврагов такой глубины на площадке под застройку в некоторых случаях приводит к полной остановке строительства.



Рисунок 17 – Овражная эрозия на водосборе

**Линейная эрозия** действует в основном на небольших участках и приводит к расчленению земной поверхности. Данный процесс также носит название «речной эрозии», поскольку действует преимущественно в долинах рек. Это приводит к разрушению (смыву) берегов. При этом нарушается грунтовый слой и его основные физические и механические свойства. Этот процесс приводит к изменению строения речных долин. Происходит он следующим образом. Поток воды бьется в часть берега, подмывает его, и в процессе движения уносятся обломки пород и другие материалы. Там, где скорость движения воды становится меньше, водный поток аккумулирует обломки и другие части горной породы.

### ***17.3 Формирование речной долины.***

Во время сильных ливней и таяния снегов, вода рушит почву и мягкий грунт, и несет эти части в ручьи, из которых они впоследствии попадают в

реки. Вода медленно разрушает и откладывает породы в разных частях, показывая тем самым пример формирования долины:

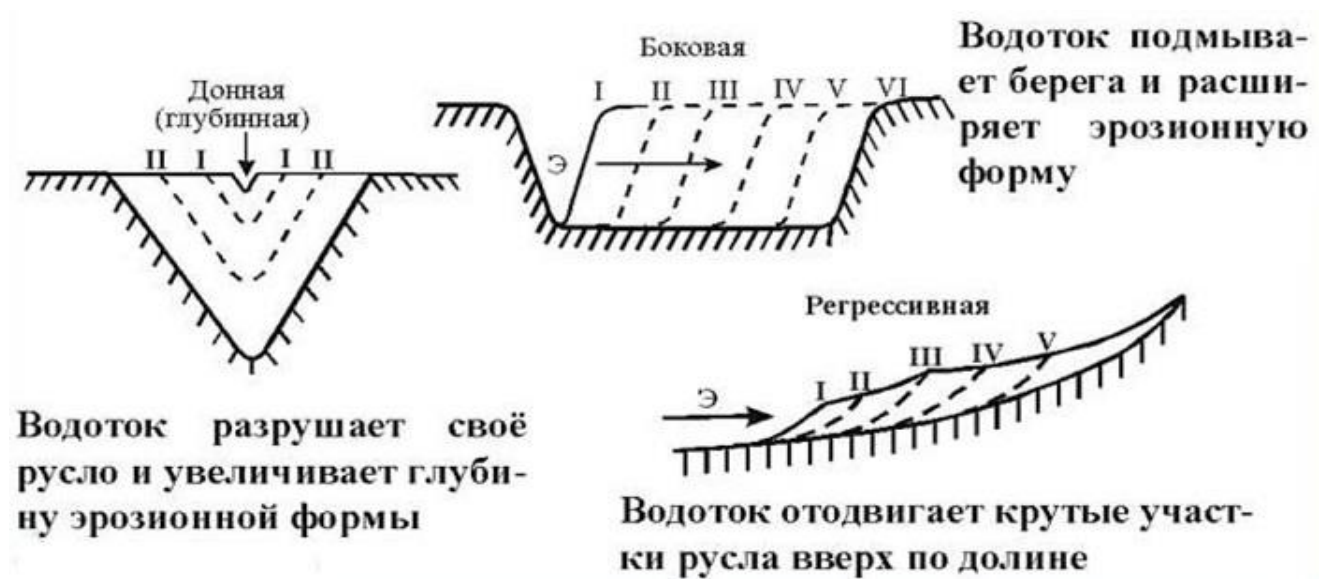


Рисунок 18 – Формирование и развитие речной долины



Рисунок 19 – Линейная эрозия (боковая)

#### 17.4 Элементы речной долины.

В процессе эволюции реки складываются основные элементы строения речной долины.

Русло – участок долины, по которому осуществляется основной сток воды. Оно занято рекой в межпаводковые сезоны. Устойчивые элементы русла – это дно и берега.

Пойма – более приподнятый участок долины, заливаемый во время паводка. Иногда пойму называют луговой террасой реки. В пределах ее располагается прирусловой, или намывной вал, образованный песчаными и илистыми отложениями.

Террасы – это расположенные ступенчато бывшие поймы, заливавшиеся водой на предыдущих этапах развития долины, когда река еще в меньшей степени врезалась в поверхность. Террасы могут быть открытыми или погребенными последующим отложением осадков. Коренные берега – граничные края долины. Их уровень превышает верхнюю, самую раннюю речную террасу.

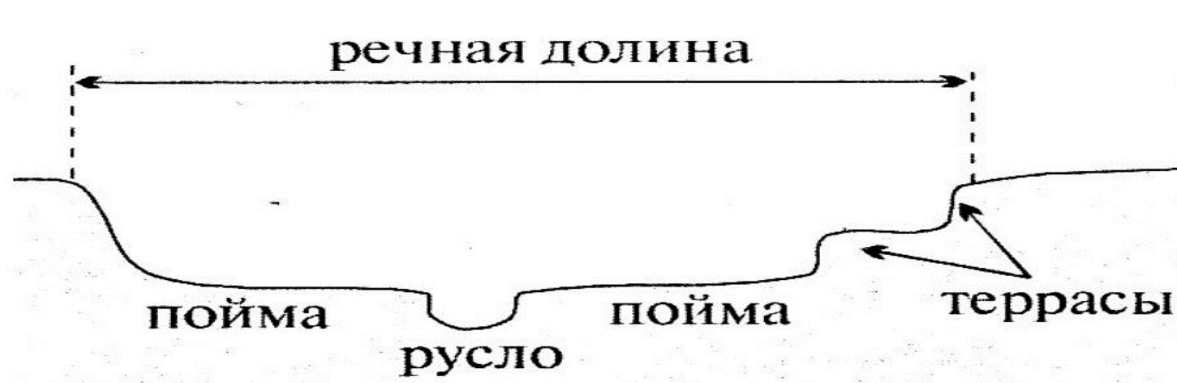


Рисунок 20 – Элементы речной долины

Строение долины зависит от состава слагающих ее ложе горных пород, так как породы различных типов поддаются эрозии в разной степени. Податливые глинистые породы облегчают размыв, углубление дна и подмыв берегов. Если же поток наталкивается на скальные выходы устойчивых пород, в продольном профиле долины формируются пороги. В соответствии с соотношениями массы воды и скорости течения, в верхней части речных долин

обычно преобладает эрозия; в среднем течении она сменяется динамическим равновесием между эрозией и аккумуляцией; в нижнем течении в общем случае преобладает аккумуляция.

### **Типы речных террас.**

Береговые ступени, наблюдаемые в поперечном разрезе речной долины, называют **террасами**. Образование их связано с изменениями высотного положения базиса эрозии, поднятием верховьев реки или периодическими изменениями расходов воды. Различают пойменную, наиболее молодую и затапливаемую рекой во время паводка, и надпойменные террасы. Чем выше терраса, тем она древнее. Террасы имеют близкую к горизонтальной поверхность, расположены параллельно руслу реки и имеют продольный уклон. Они могут быть эрозионными и эрозионно-аккумулятивными.

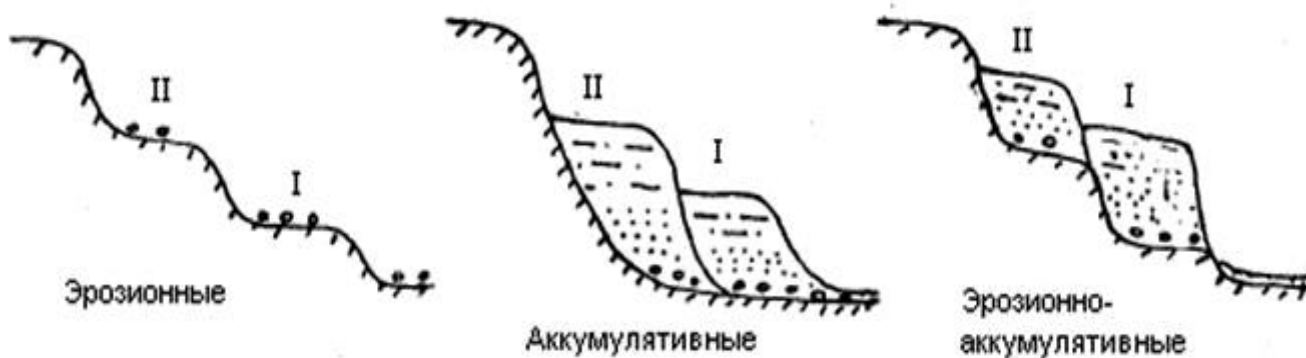


Рисунок 21 – Типы речных террас по происхождению

**Эрозионные террасы** образованы в коренных породах, прикрыты небольшим слоем аллювия и встречаются в горных районах. Число террас может достигать 10...12 и более, причем верхние, наиболее древние террасы нередко превышают современное русло реки на сотни метров.

**Эрозионно-аккумулятивные террасы** образуются в результате заполнения речной долины, промытой в коренных породах, аллювием и последующего размыва рекой этих отложений. Таких террас может быть 5...6 и более.

Эрозионно-аккумулятивные террасы бывают двух типов:

- **вложенные;**
- **наложенные.**

Вложенные террасы формируются в результате неоднократного частичного размыва аллювия. При этом в каждой фазе размыва река может углубляться до коренных пород, а затем вновь заполнять аллювием долину, промытую в ранее отложенных породах.

Наложённые террасы отличаются от вложенных тем, что при размыве аллювия река не достигает коренных пород. В результате размыва могут возникнуть несколько эрозионных уступов и на древний аллювий «наложатся» более молодые отложения.

Эрозионно-аккумулятивные террасы сложены материалом разной крупности в зависимости от характера рек (горные, равнинные), места образования аллювия и т.д.

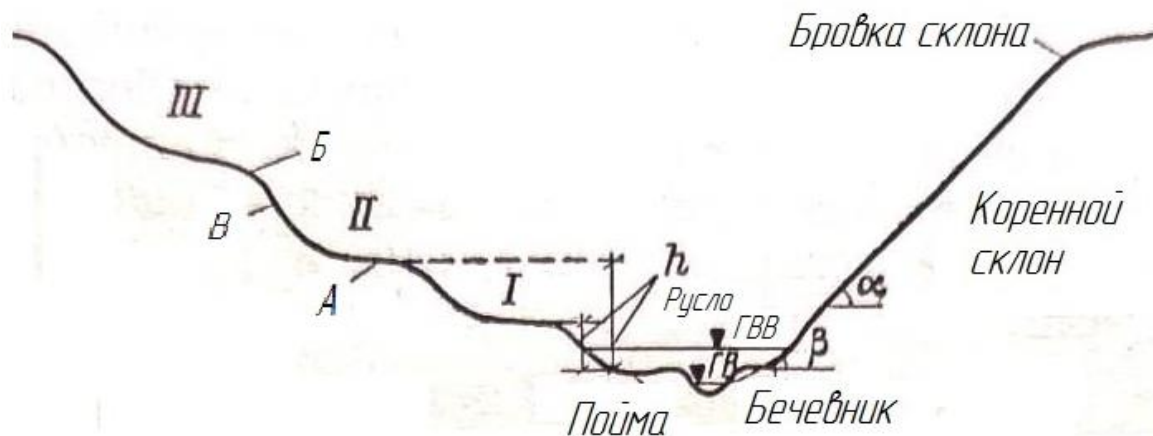


Рисунок 22 – Поперечный профиль речной долины.

I, II, III – надпойменные террасы; элементы террас: А – поверхность, В – бровка, В – уступ,  $h$  – высота;  $\alpha$  – угол естественного откоса коренных пород;  $\beta$  – угол естественного откоса пород бечевника.

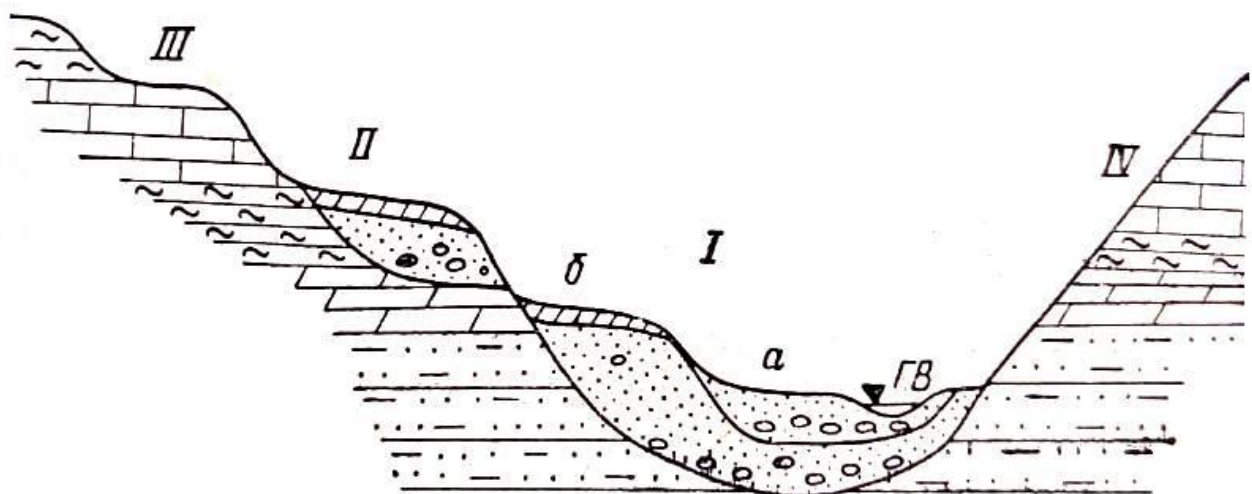


Рисунок 23 – Террасы в речных долинах

*I* – террасы аккумулятивные: *a* – вложенная, *б* – прислоненная;  
*II* – терраса эрозионная – цокольная; *III* – терраса скульптурная;  
*IV* – коренной склон долины.

По месту образования аллювия различают:

- ***русловые отложения;***
- ***пойменные отложения;***
- ***старичные отложения.***

***Русловые отложения*** образуются в русле реки, где скорости течения воды наибольшие. Здесь остается наиболее крупный материал – валуны, галечники, гравий (в руслах горных рек), пески (на равнинных участках).

***Пойменные отложения*** образуются в паводок, при разливах реки и затоплении поймы. Незначительная скорость течения определяет отложение более мелкого материала. Поймы равнинных рек, ширина которых часто достигает многих километров, заполняются мелким песком, супесями, суглинками, глинами и др.

В пределах таких пойм различают следующие элементы (рисунок 8):

- пойменная терраса (низкая и высокая)
- надпойменная терраса (1, 2, 3).

***Старичные отложения*** образуются в отмирающих рукавах равнинных рек (старичные озера). В основном это супесчано-глинистые отложения и илы. В связи с тем, что в процессе формирования речных долин и образования аллювия русла рек обычно изменяют свое положение в плане, места накопления руслового, пойменного и старичного аллювия также изменчивы. Это приводит к переслаиванию и смене (в вертикальном разрезе и по площади) отложений разной крупности.

Для большинства террас характерен двухслойный разрез: покровные отложения представлены суглинками и супесями различной мощности, ниже их залегают песчаные (на равнинных реках) или галечниковые (в предгорных горных районах) отложения — однородные или переслаивающиеся иными породами. Различны продольные уклоны террас: у горных рек они больше, чем у равнинных.



Мощность отложений, образующих эрозионно-аккумулятивные террасы, различна: от первых метров до десятки метров на равнинных участках до сотен метров в межгорных впадинах.

Террасы крупных равнинных рек (Волга, Кама, Белая и др.) в среднем и нижнем течении представляют собой широкие (десятки километров) аллювиальные равнины.

В горных районах ширина террас значительно меньше. Высота уступов террас достигает десятков метров. Рельеф террас может быть осложнен понижениями различного происхождения (древнерусловыми и др.), развеванием песчаного аллювия, накоплением гряд и барханов и т.д. В горных и предгорных районах рельеф и строение террас осложняются в результате сочетания их с сухими дельтами боковых рек, конусами выноса их, выходами коренных пород, суживающих террасу.

Отложения, формирующиеся на склонах долин называются делювиальными (слабоотсортированные глинистые обломочные породы), мощностью до 10-15 м, на междуречьях – элювиальными (глинистые с обломками коренных пород) мощностью от 0 до 1-3 м.

### ***17.5 Продольный профиль реки.***

Донная эрозия приводит к выработке продольного профиля рек трех типов: невыровненный, выровненный и предельный, которые соответствуют трем стадиям формирования долин. На начальной стадии разработки речной долины продольный профиль является невыровненным - река не успевает переработать неровности, созданные до заложения долины и обусловленные геологическими и климатическими факторами.

К геологическим относятся:

- а) литолого-стратиграфические условия;
- б) структурные формы.

В пределах невыровненного профиля участки аккумуляции часто сменяются участками эрозии. Если в речной долине сохраняются основные

параметры, определяющие ее живую силу, то со временем неровности сглаживаются и вырабатывается уравновешенный выровненный профиль относительно главного базиса эрозии. Предельный продольный профиль, или профиль равновесия – это профиль, уклон которого зависит только от стока.

### ***17.6 Эрозия и строительство.***

На территориях под застройку, расположенных вблизи рек, обязательным мероприятием является проведение гидрогеологических исследований, изучение свойств грунтов, детально изучается геология участка в целом, а также геологические условия прилегающей территории. Важно учитывать эрозионно-аккумулятивные процессы на территории под застройку и при эксплуатации строительных объектов. Своевременное обследование территории приведет к сокращению наносимого эрозионными процессами вреда. Изучение архивных материалов, определение прочностных характеристик грунтов в лабораторных условиях, полевые геологические исследования предоставляют детальную информацию по конкретному участку и дают возможность прогнозирования опасных геологических процессов (эрозионных). При выявлении эрозии проектные организации смогут установить защитные меры безопасности и провести специальные мероприятия по предотвращению разрушающих эрозионных последствий.

#### ***Контрольные вопросы:***

- 1. Что такое эрозия?*
- 2. Какие виды эрозионных процессов известны?*
- 3. Как происходит формирование речной долины?*
- 4. Какие элементы можно выделить в речной долине?*
- 5. Что собой представляет продольный профиль реки?*

## 18. ОПОЛЗНИ

**План:**

**18.1 Определение оползня.**

**18.2 Классификации оползней.**

**18.3 Виды оползневых процессов.**

**18.4 Причины возникновения оползней.**

**18.5 Стадии процесса развития оползня.**

**18.6 Последствия оползней.**

### **18.1 Определение оползня.**

Оползень - опасное природное явление, смещение масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки вследствие подмыва склона, переувлажнения, сейсмических толчков и иных процессов. Такие явления возникают на склонах долин или речных берегов, в горах, на берегах морей и т.д. Наиболее часто оползни возникают на склонах, сложенных чередующимися водоупорными и водоносными породами. Смещение крупных масс земли или породы по склону вызывается смачиванием дождевой водой грунта так, что масса грунта становится тяжелой и более подвижной.

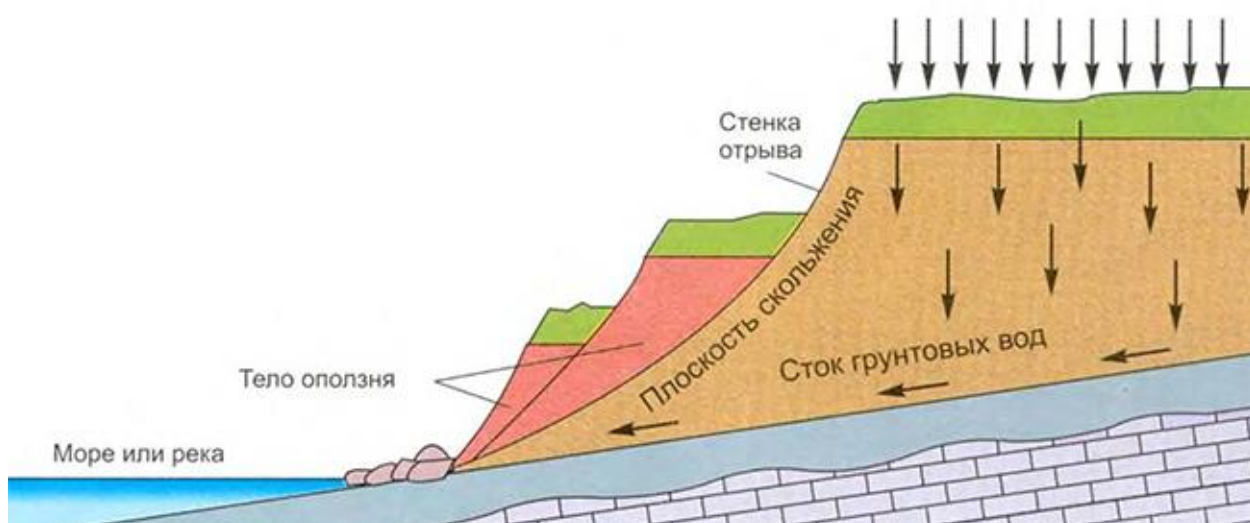


Рисунок 24 – Схема образования оползня



а)



б)



в)

Рисунок 25 – Примеры оползней

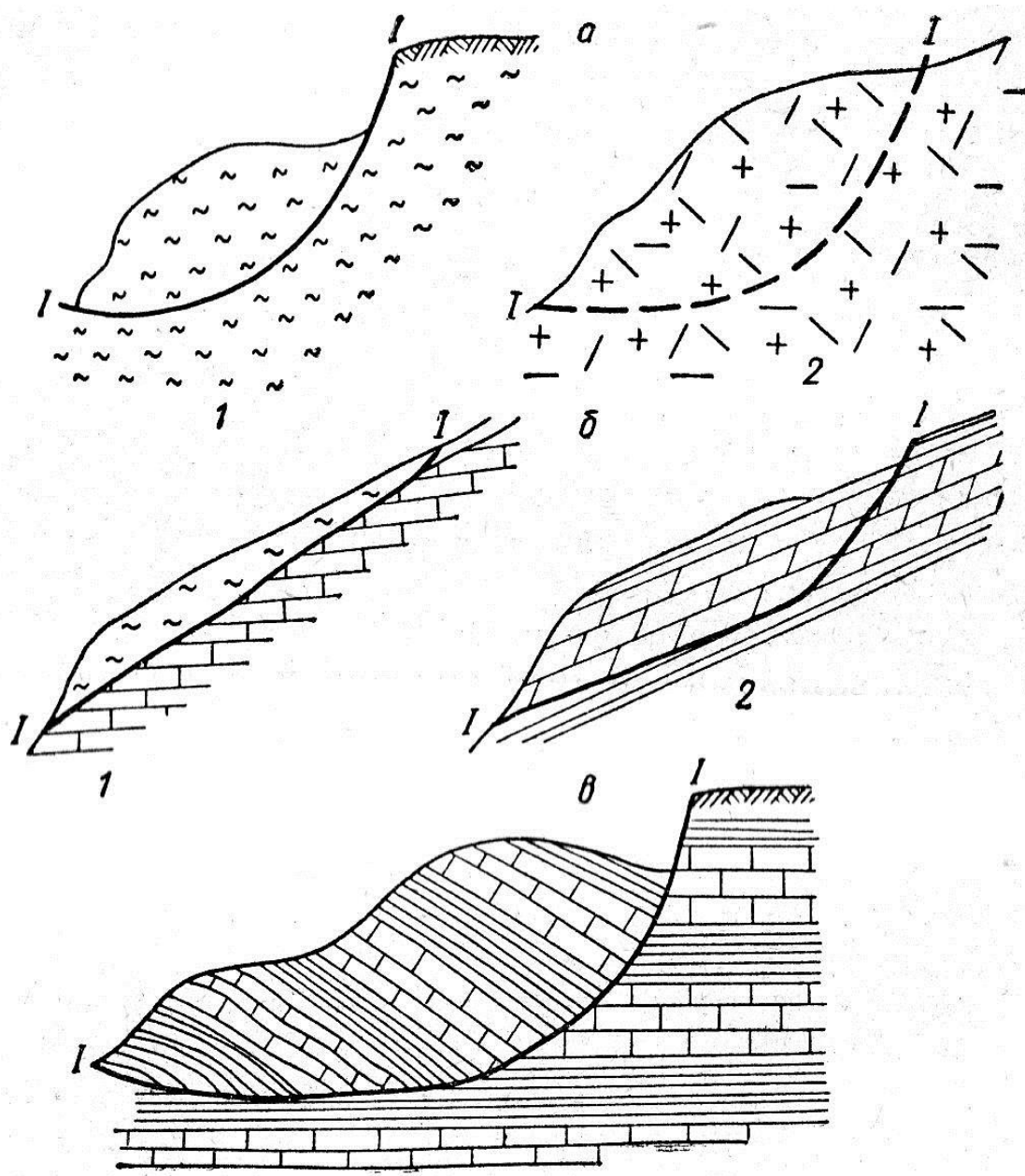


Рисунок 26 – Схемы характерных типов структуры (строения) оползней:

а – асеквентный: 1 – в однородных глинистых породах, 2 – в трещиноватых твердых породах; б – консеквентный: 1 – делювия по коренным породам, 2 – в моноклинально наклонных слоистых порода; в - инсеквентный

### 18.2 Классификации оползней.

Существует несколько классификаций в зависимости от основных характеристик оползней: обширности, крутизне схода, толщине, особенностям деформирования, положению линии смещения.

По обширности, то есть по объему захваченных грунтовых масс, оползни делятся на:

- малые (до 10 тысяч куб. м);
- средние (10 – 100 тысяч);
- крупные (100 тысяч – 1 млн.);
- сверхкрупные (более 1 млн. куб. м).

По крутизне схода потока выделяют:

- пологие оползни – до  $5^\circ$  (обычно наблюдаются под водой);
- средние – от  $5^\circ$  до  $15^\circ$ ;
- крутые – от  $15^\circ$  до  $45^\circ$ .

Классификация оползней по толщине определяется глубиной нахождения линии скольжения от поверхности движущейся породы. Выделяют:

- поверхностные (также называются сплавы) – глубина до 1 м;
- мелкие – до 5 м;
- глубокие – до 20 м;
- сверхглубокие – глубина превышает 20 м.

### ***18.3 Виды оползневых процессов.***

В зависимости от схемы деформации существуют оползневые процессы:

1. Сжатия. Верхние пласты вертикально давят на нижние. Нижние грунтовые массы прогибаются, в итоге на поверхности формируется трещина растяжения. От трещины отходит оползневый пласт, движется практически полого.

2. Сдвига. Верхний пласт, характеризующийся пластичностью, скользит вниз по наклонной основе.

3. Разжижения. Склоновые пласты становятся неустойчивыми из-за воздействия грунтовых вод. Разжиженная грунтовая масса ползет вниз, скорость сползания определяется крутизной склона, интенсивностью воздействия подземных вод и осадков.

4. Растяжения. Часть пласта отделяется от отвесного массива, обваливается.

Геолог Саваренский выделил три вида оползневых процессов по положению линии смещения и строению смещающейся массы:

1. Асеквентные. Образуются в породах однородной структуры (глинах, суглинках, супесях). Линия смещения вогнутая. Грунтовая масса сходит по склону цельным куском, формируя в рельефе основной и внутренний уступы.

2. Консеквентные. Образуются в неоднородных, покрытых трещинами породах. Линия скольжения определяется рельефными особенностями склона. Породы сползают кусками или в виде жидкой массы.

3. Инсеквентные. Образуются в неоднородных породах слоистой структуры, залегающих поперек склона. Линия скольжения пересекает разноструктурные горизонты.

#### ***18.4 Причины возникновения оползней.***

Факторов, способствующих образованию оползней, немало. Просто так большой пласт почвы не сходит, для этого должны сложиться определенные условия. Причины могут быть внутренними и внешними:

1. Размытие пород водой. Влажный почвенный горизонт более тяжелый и неустойчивый. Он смещается под влиянием собственной массы. Чаще всего явление отмечается в старых горах, где склоновая поверхность покрыта толстым слоем рыхлых осадочных пород.

2. Подмывание берега движущейся речной водой.

3. Смещение водоносного пласта относительно водоупорного под действием грунтовых вод.

4. Землетрясения.

5. Изменение морского или океанического рельефа под воздействием течений и происходящих в воде процессов. Донные грунтовые сдвиги самые мощные и обширные, нередко провоцируют цунами.

6. Длительная нагрузка на породы в конкретном месте. Обрушение грунтовой массы нередко отмечается в местах активного строительства, проложенных в гористой или холмистой местности автомагистралей и туристических троп. Особенно часто заваливает дороги, по которым ежедневно двигаются тяжелогрузные автомобили. При строительных работах основная причина схождения пород – забивание свай в землю, поскольку в подземных слоях создается ударная волна, как при землетрясении.

7. Активная хозяйственная деятельность. Добыча полезных ископаемых взрывным методом часто приводит к сдвиганию и обрушению пород в горной местности. Оползневые процессы нередки и в районах массовой вырубке лесов, поскольку древесные корни, проникая глубоко в землю, скрепляют грунтовые слои, а без корневого скрепления склоны становятся неустойчивыми.

### ***18.5 Стадии процесса развития оползня.***

Процессы оползнеобразования и развития представляют из себя комплексные механизмы, которые зависят от многих оползнеобразующих факторов, понимание которых имеет принципиальное значение в геотехнической практике, например, для прогноза развития оползней. К этим факторам можно отнести генетическое формирование пород оползневого склона, возраст рассматриваемого массива, состав, строение и свойства пород оползневого тела, факторы эндогенных и экзогенных воздействий и др. При разработке противооползневых геотехнических мероприятий следует учитывать, что в развитии оползня имеется несколько стадий.

Стадия предельного равновесия. Первая стадия характеризуется таким состоянием склона, которое рассматривается как состояние предельного равновесия. В этой стадии смещения пород еще не происходит, но некоторые признаки начала смещения уже можно наблюдать в виде характерных трещин в тыльной части намечающегося оползня. Как показывают наблюдения, трещины могут появиться за несколько месяцев до начала оползневых подвижек; одновременно с появлением трещин отмечается изменение в режиме



подземных вод, заключенных в породах склона. В этой стадии необходимо выявить главный фактор, способствующий смещению горных масс склона и принять меры по его ограничению. Иногда достаточно бывает создать пригрузку в нижней части склона, уположить верхнюю его часть или ограничиться устройством дренажа нагорных канав и т.п.

Стадия движения горных масс. Следующая стадия развития оползня – это само оползание, движение горных масс на склоне в горизонтальном и вертикальном направлениях со скоростью, которую можно замерять при помощи нивелировки, а в отдельных случаях и визуально. Известны случаи когда оползни достигали суточного смещения порядка 80 м. Известны и мгновенные оползания, происходящие в течение нескольких секунд или минут, часто влекущие за собой катастрофические последствия – завалы селений, разрушению объектов транспортной инфраструктуры – мостов, железных дорог и др.

Стадии временной стабилизации склона. На данной стадии скорость оползневого смещения может смещаться к нулю или затухать полностью.

Мгновенное оползание склонов часто характеризуется как неожиданное. Однако внимательный подход к изучению состояния склона мог бы показать, что он находится в первой стадии своего развития, когда достаточно какого-нибудь незначительного воздействия, чтобы привести склон в движение, и то вообще смещение склона рано или поздно должно произойти, если не принять необходимых мер.

К оползням, возникающим неожиданно, относят такие смещения земляных масс на склонах, которые могли бы вообще не произойти, так как устойчивость склонов находилась в достаточной мере обеспеченной. Следовательно, смещения оползня, находившегося в первой стадии развития, нельзя рассматривать как неожиданное с логической точки зрения. Неожиданные оползни возникают, например, вследствие сейсмических толчков и должны быть отнесены к особой категории оползневых явлений – сейсмогравитационных. На какую-то часть склона, ограниченную идеальной

кривой поверхности смещения, всегда действует сила веса. В случае толчка к этой силе прибавляется дополнительная сила. Очевидно, что суммарная равнодействующая сила зависит от величины сейсмического ускорения. Сейсмический толчок действует мгновенно, и в то же мгновение происходит смещение. К числу причин, вызывающих неожиданные оползневые подвижки, могут быть отнесены явления быстрого подмыва склона речными водами, изменяющегося соотношения в распределении сил тяжести в породах склона, резкое снижение уровня паводковых вод, искусственные отвалы грунта и пр.

Активные и пассивные оползневые процессы. Оползни после интенсивных подвижек часто прекращают двигаться. Происходит это вследствие образования в подошве оползня достаточно массивного контрфорса, обеспечивающего равновесное состояние сдвигающих сил с силами, сопротивляющимися сдвигу. Деятельность оползней иногда прекращается на многие годы (остановившиеся оползни). В связи с этим принято деление оползней на активные и пассивные. К активным относятся действующие оползни, движение которых не прекратилось, к пассивным – оползни, остановившиеся в своем движении и возникающие только в связи с появлением естественных или искусственных факторов, способных вызвать их активизацию. По стадиям развития оползни активные относятся к начальной первой стадии, пассивные – ко второй и окончательно остановившиеся – к третьей. Тело остановившихся оползней остается постоянным в своем объеме и служит опорой для склона, от которого оно отделилось. Обычно такие условия возникают при весьма большом захвате склона оползневыми смещениями, создающими значительное уположение склона. Оползни в этой стадии развития не только выравниваются и уполаживают ранее обрывистый и крутой склон, но вместе с тем лишаются «источников питания» - подвижек земляных масс с головы оползня.

### ***18.6 Последствия оползней.***

Опасны те оползни, что сходят в населенной местности. Даже незначительное обрушение породы смертельно для оказавшегося на пути человека. Человек, засыпанный землей, через пару минут погибает от недостатка воздуха и давления на тело. Ситуация гораздо печальнее, если сошел оползень крупного размера. Для поражающих факторов оползней характерна масштабность. Под огромной массой земли погребаются здания, автомобили, сельскохозяйственные угодья, промышленные и инфраструктурные объекты. Если эвакуация запоздала, жертвы исчисляются десятками, даже сотнями.



Рисунок 27 – Результат оползней («Пьяный лес»)  
на Монументе Дружбы (г.Уфа, 2019 г.)

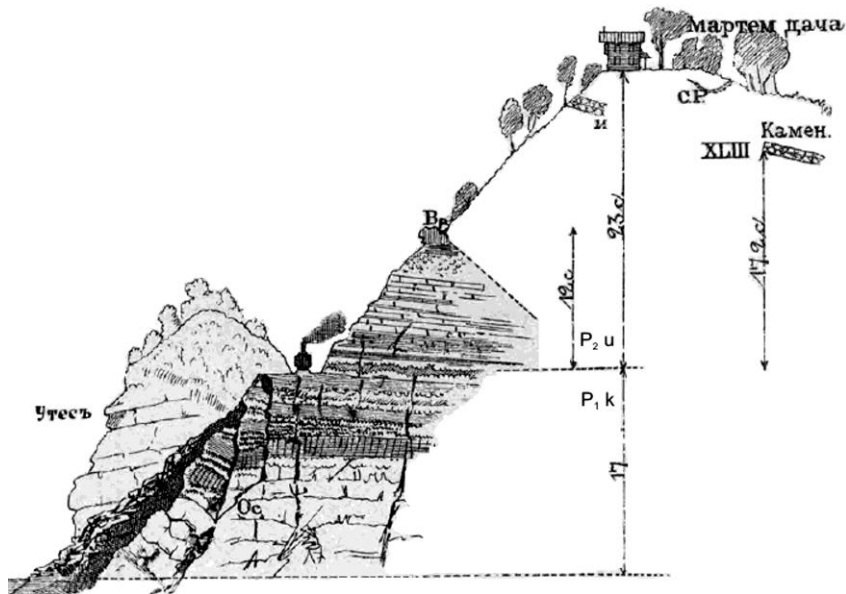


Рисунок 28 - Кунгурские ( $P_1 k$ ) и уфимские отложения ( $P_2 u$ ) на Уфимском косогоре. «Черт. 23 – Обн. XXXVII на 457 версте. Разрез через дачу»  
[по Д.Л. Иванову, 1899 г.]

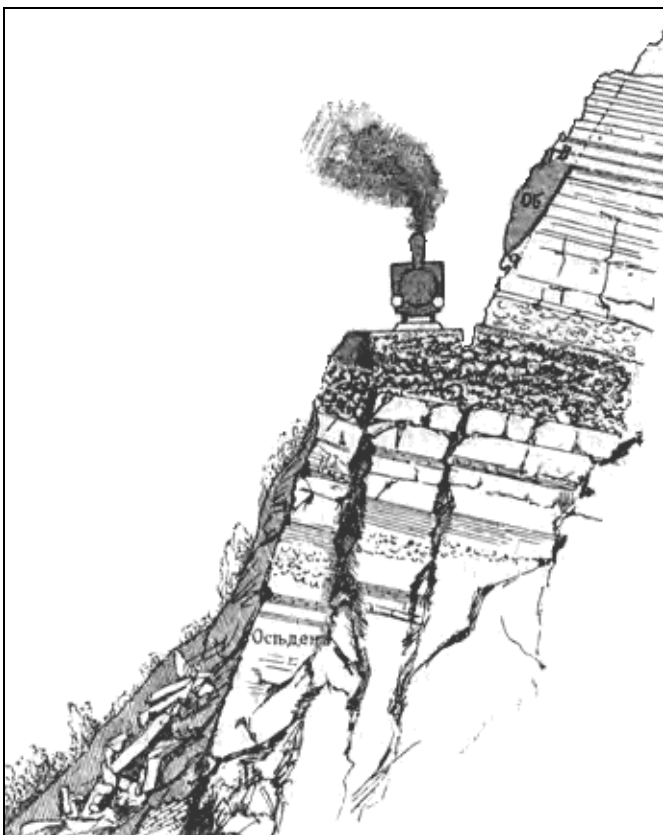


Рисунок 29 - Трещины бортового отпора, играющие решающую роль в формировании карста Уфимского косогора «Черт. 17. - Разрез через обвал»  
[по Д.Л. Иванову, 1899 г.]

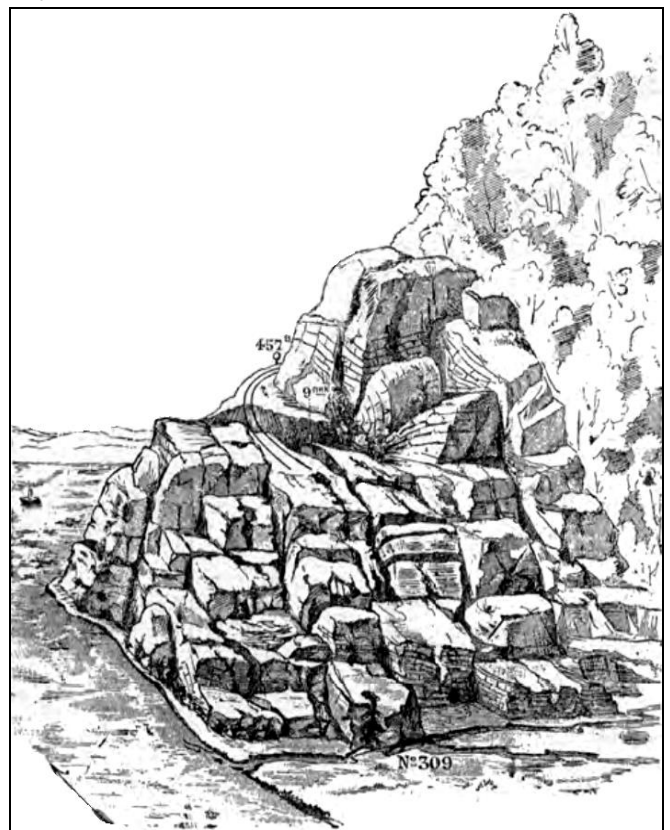


Рисунок 30 - Блоковая структура Уфимского косогора по Д.Л. Иванову [1899 г.]. «Черт. 55. - Схема залегания гипсов на провале 457 вер., если бы устранить глины и насыпь»

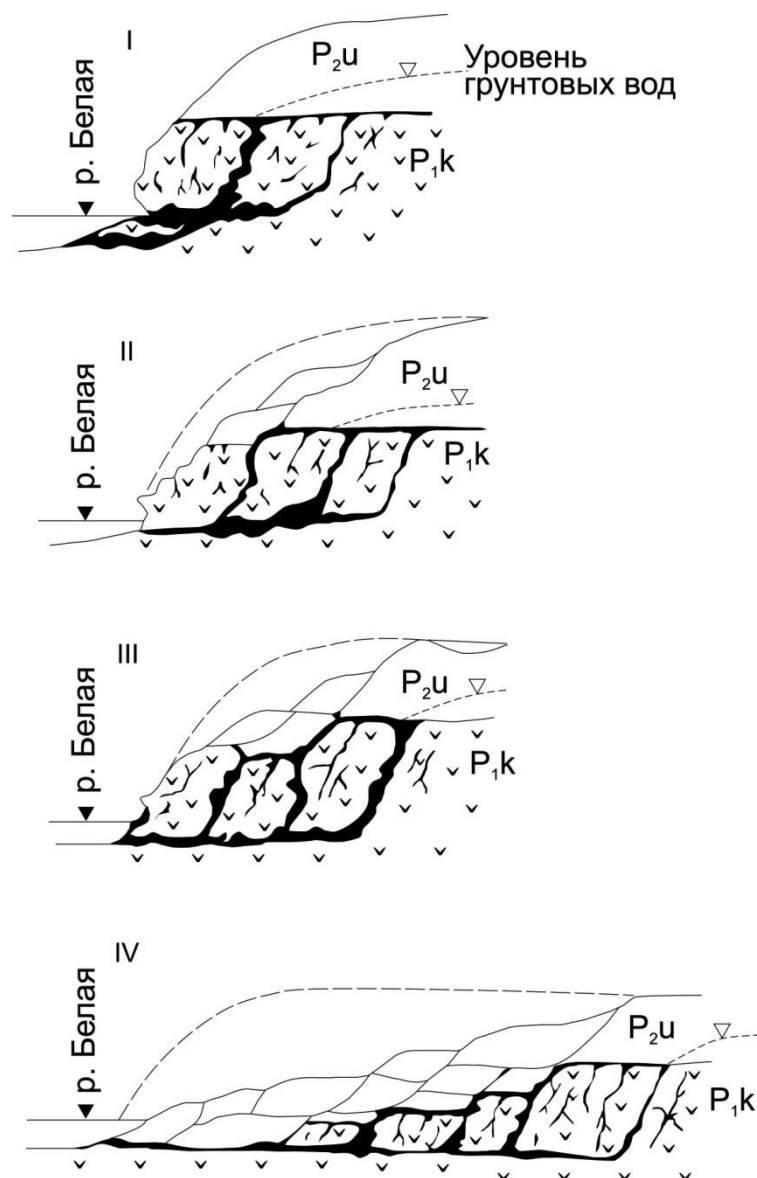


Рисунок 31 - Схема развития карстово-оползневых процессов на Уфимском косогоре по Г.Г. Скворцову, 1945 г.

Сведения об оползнях известны с древнейших времен. Полагают, что самым крупным в мире по количеству оползневой массы является оползень массой 50 млрд. т и объемом около  $20 \text{ км}^3$ , произошедший в начале н.э. в долине реки Саидмаррех на юге Ирана. Оползневая масса обрушилась с высоты 900 м, со склонов горы Кабир-Бух, пересекла долину реки шириной 8 км, перевалила через хребет высотой 450 м и остановилась в 17 км от места возникновения. При этом за счет перекрытия реки образовалось озеро длиной 65 км и глубиной 180 м.

В Книгу рекордов Гиннеса включены оползни 1920 г. в провинции Хансу в Китае. На лессовом плато, грунты которого пористы, но вместе с тем обладают большой прочностью, многочисленные долины имеют крутые склоны. В результате землетрясения, которое произошло 16 августа 1920 г., связность этих грунтов была нарушена, склоны стали неустойчивыми и тысячи кубических метров грунта завалили долины, засыпали города и селения. Предполагается, что в результате оползней погибло более 200 тыс. человек.

В русских летописях сохранились упоминания о грандиозных оползнях на берегах рек, например о катастрофическом оползне в начале XV в. в районе Нижнего Новгорода, когда под оползнем было погребено 150 дворов с людьми; описания оползневых процессов Соколовогорского массива в 1811 г., 1818 г., 1846 г., 1869 г., наблюдались движения пород в 1913-1915 гг., 1927 г., 1936 г. и 1963-1968 гг. на берегу реки Волги.

Весной 2014 г. в США, в штате Вашингтон, сошел крупный оползень, разрушивший 49 домов и построек и ставший причиной гибели более 40 человек. Оползень перекрыл реку, что привело к наводнению и блокированию дороги, ведущей в город. Этот оползень стал для США рекордной по числу жертв катастрофой, связанной с оползнями. В 2013 г. недалеко от города Рио-де-Жанейро в результате проливных дождей возникли сильнейшие наводнения, которые привели к образованию оползней. Были размыты дороги, уничтожены жилые дома. Около 14 тыс. человек остались без жилья, 759 погибли, а еще 400 пропали без вести.

Наиболее впечатляющий оползень за последние два десятилетия вызван явлением, которое известно под названием *«разжижение грунта»*. В городке Анкоридж на Аляске слой песчаной почвы, на которой построен город, во время землетрясения 1964 г. подвергся разжижению, потерял прочность, весь склон пополз вниз, разбиваясь на большие глыбы, которые продвигались вперед, поднимались и прокручивались. Между глыбами возникали большие трещины и расселины, образовывались уступы, высота которых достигала 15 м. Дома вместе с их обитателями съезжали вместе с землей в сторону моря,

ломаясь на ходу. Сползший участок земли имел длину 2 км и ширину в среднем 300 м. В городке Вальдесе, расположенном также на Аляске, в результате подводного оползня, вызванного этим же землетрясением, соскользнула в море часть набережной длиной 1 км и шириной 60 м.

В мае 1982 г. над Гонконгом разразился сильнейший ливень, который вызвал множество оползней-оплывин и селевых потоков. Потоки грязи и воды разрушили множество строений, была нарушена линия электропередач, коммуникационные линии, дороги и железнодорожные пути, 2400 человек остались без крова, а 20 человек стали жертвами стихии.

Чтобы последствия оползней оказались минимальными, в населенных районах должны ответственно работать специальные службы: обследовать склоны, прилегающие к жилым и промышленным постройкам, транспортным путям, фиксировать даже незначительные сдвиги пород.

Нужны определенные меры предосторожности: укрепление склонов, высаживание на склонах древесной растительности.

***Контрольные вопросы:***

1. Что такое оползень?
2. Как классифицируются оползни?
3. Какие виды оползневых процессов известны?
4. В чем причины возникновения оползней?
5. Какие стадии проходит процесс развития оползня?

## 19. ОБВАЛЫ

*План:*

*19.1 Определение обвала.*

*19.2 Виды обвалов.*

*19.3 Последствия обвалов.*

*19.4 Борьба с обвалами.*

*19.1 Определение обвала.*

Обвал – это отрыв и падение масс горных пород вниз со склонов гор под действием силы тяжести. Обвалы возникают на склонах речных берегов и долин, в горах, на берегах морей. Причиной образования обвалов является нарушение равновесия между сдвигающей силой тяжести и удерживающими силами, что может повлечь за собой много человеческих жертв, разрушение городов и изменение ландшафта.



Рисунок 32 – Пример обвала



### ***19.2 Виды обвалов.***

Согласно классификации, по объему обрушившихся горных масс бывают следующие виды обвалов:

- очень малые – менее 5 м<sup>3</sup>;
- малые – от 5 до 50 м<sup>3</sup>;
- средние – от 50 до 1000 м<sup>3</sup>;
- крупные – более 1000 м<sup>3</sup>;
- гигантские – объем завалов составляет миллионы м<sup>3</sup>.

По площади, которую охватило обрушение, выделяют:

- мелкие – менее 5 га;
- малые – от 5 до 50 га;
- средние – от 50 до 100 га;
- огромные – от 100 до 200 га.

По характеру обрушившихся масс обвалы бывают грунтовыми, каменными (камнепады) и ледовыми. Существует особая разновидность — вывал. Это обвал в горах, для которого характерно выпадение вниз с отвесных склонов одиночных камней и глыб:



Рисунок 33 – Вывал в горах

### ***19.3 Последствия обвалов.***

Основная причина обрушения горных пород – ослабление связи между отдельными каменными блоками. Этому способствуют:

- сила тяжести;
- подмыв и растворение пород в воде;
- выветривание;
- сейсмические явления (землетрясения, подземные толчки, передвижение тектонических плит);
- антропогенное воздействие.

Обвалы чаще всего случаются весной, когда тают лед и снег. Осенью во время дождей вода попадает в небольшие расщелины и трещины. При минусовой температуре жидкость замерзает и расширяет просвет между стенками трещин. Ежегодное повторение этого процесса подтачивает связи между каменными глыбами, постепенно образуются расколы. Ветры, текучие воды, движение тектонических плит усиливают разрушительное влияние льда. В определенный момент происходит откол крупных каменных блоков от основной части породы, и огромные массы камней, грунта и песка обрушиваются со склона горы.

Активное добывание руды и других полезных ископаемых в горах, создание мостов и дорог, осуществление взрывных работ привело к тому, что почти 80% обрушений грунта и горных пород происходят под влиянием факторов человеческой деятельности.

Масштаб последствий зависит от объема отколовшихся пород. Малые и средние обвалы редко наносят серьезный вред человеку. Самые глобальные последствия вызывают землетрясения. Сейсмические толчки могут привести к отрыву очень большого объема горных пород, и есть вероятность, что такой обвал изменит топографию местности. Наглядный пример – появление Сарезского озера в 1911 году в результате обрушения 2,2 млрд. кубометров обломков горных пород. Огромная масса каменных глыб создала плотину на

реке Мургаб, отгородив отдельный водоем. Его глубина составляет 505 м, длина – 75 км, наибольшая ширина – 3,4 км.

Выделяют два вида поражающих факторов обрушения – первичные и вторичные. К первичным относятся:

- падение массивных груд горных пород, вывал камней и отдельных глыб;
- осыпание значительной массы грунта.



Рисунок 34 – Поселок, пострадавший от обвала

Вторичными факторами поражения являются:

- запруживание рек, обрушение берегов водоемов и связанные с этим наводнения;
- спуск селевых потоков;
- разрыв линии связи, нефте- и газопровода, линий электропередач, канализационной и водопроводной сети;
- уничтожение дорог, зданий и других сооружений, ограничение доступа к ним в результате завалов.

#### ***19.4 Борьба с обвалами.***

С целью предотвращения нежелательных последствий необходимо принимать следующие меры предосторожности:

- изучать информацию о расположении обвалоопасных мест;
- ограждать опасные зоны;
- следить за целостностью балконов и карнизов высоких зданий;
- обучать людей правилам поведения при обвалах;
- оповещать население при появлении угрозы обрушений и проводить своевременную эвакуацию.

Обвалы способны создавать угрозу безопасности движения наземного транспорта. Например, железная дорога Туапсе — Сухуми идёт по самой береговой кромке Чёрного моря. С одной стороны, ей угрожает возникновение обвала горных пород, размываемых морем, а с другой — обрывы нависающих гор.



Рисунок 35 – Обвал на железной дороге



Рисунок 36 – Автотрасса, пострадавшая от обвала

При угрозе крупного обвала возможен перенос линии электропередач, дорог и важных объектов в более безопасную зону. Чтобы снизить риск обрушений горных пород, иногда искусственно меняют рельеф склонов гор. Их делают более устойчивыми, укрепляют стальными обручами, образующиеся трещины заливают цементом. Если нависающие выступы на скалах и горах представляют опасность, их устраняют с помощью взрывотехники.

Обвалы могут стать причиной большого числа человеческих жертв. Они способны стереть с лица земли целые поселки, изменить направление течения реки и даже остановить ее. Лишь в человеческих силах – своевременно заметить опасность и сделать все, чтобы предотвратить трагедию.

Обвалы чаще всего происходят в районах гор и холмистого рельефа. При инженерно-геологических изысканиях под автодороги ведут подробное изучение склонов по всей их высоте, устанавливают их геолого-литологическое строение, изучают трещиноватость и выветрелость пород, определяют в целом устойчивость склонов и т. д. К сожалению, определить, в какой момент возникнет обвал, не представляется возможным, но всегда надо устанавливать участки дорог, которые находятся в опасности. Для этих участков следует

предусматривать те или иные профилактические мероприятия, исключающие проявление обвалов.

За опасными склонами устанавливают постоянное наблюдение. В горах, где проложены автодороги, склоны из скальных пород подпирают железобетонными стенами и столбами, трещины цементируют и скрепляют скобами, при возможности проводят искусственное обрушение пород на отдельных участках. При холмистом рельефе используют те же меры предупреждения обвалов. На равнинах при выполнении строительных выработок не следует перегружать и подрезать склоны, можно их выполаживать и облицовывать, устраивать нагорные канавы для отвода поверхностных вод, которые смачивают и ослабляют устойчивость склонов. При разработке карьеров нельзя подрезать и загружать отвалами участки забоев. Инженерно-геологические работы в районах, где распространены скальные обвалы, выполняют в объеме, достаточном для обоснования оптимального проведения трассы автодороги, защитных и укрепительных мероприятий. Составляют инженерно-геологическую карту с указанием мест, где требуются противообвальные сооружения. К карте дают геолого-литологические разрезы опасных участков и прогнозы по развитию обвальных явлений.

Для предотвращения обвала принимаются инженерные меры по укреплению горных пород: их опоясывают стальными обручами, а трещины заливают цементом. В некоторых местах организуют постепенное обрушение горных пород взрывами малой мощности.

***Контрольные вопросы:***

- 1. Что такое обвал?*
- 2. Какие виды обвалов известны?*
- 3. Какие причины вызывают обвалы?*
- 4. Каковы последствия обвалов?*
- 5. Как бороться с обвалами?*

## 20. СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### *План:*

#### *20.1 Определение селевого потока.*

#### *20.2 Характеристики селей.*

#### *20.3 Условия возникновения селей.*

#### *20.4 Классификация селей.*

#### *20.5 Защита от селей.*

#### *20.1 Определение селевого потока.*

Сель – это стремительный русловой поток, состоящий из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек. Главной особенностью таких потоков служит высокая насыщенность обломочным материалом, которая составляет от 10 до 75% объема движущейся массы.

На территории России около 20% земель подвержены возникновению опасного явления. Грязевые потоки часто наблюдаются на Кавказских, Уральских, Карпатских, Крымских, Памиро-Алайских, Колымских, Баргузинских хребтах, на Алтае и Саянах.

#### *20.2 Характеристики селей.*

Горный поток перемещается волнообразно, его фронтальная часть возвышается над поверхностью склона, неся и перекатывая валуны и грязевые комки. Ниже приводятся основные характеристики селей:

- фронт достигает в высоту от 5 до 25 м;
- длительность – до 3 часов;
- длина селевого русла – от 10 м до десятков километров;
- ширина – от 3 до 100 м;
- скорость перемещения – до 35 км/ч;
- минеральные включения составляют до 60% объема;

- переносимые валуны могут достигать 4 м в диаметре, весить до 300 т.

Исследованиями подтверждено, что явление характерно преимущественно для коротких горных рек, длина которых меньше 30 км, а водосбор не превышает 100 км<sup>2</sup>.

### ***20.3 Условия возникновения селей.***

Вероятность возникновения селей появляется, только если совпадают три условия:

- наличие на склоне достаточно толстого слоя мелких минеральных частиц, образующихся при разрушении горных пород (песок, мелкие камешки, гравий);
  - значительное количество текучей воды, способной смыть минерально-грязевую массу, переместить ее вдоль русла;
  - достаточно крутой склон (не меньше 10°).
- Непосредственными причинами образования потоков являются:
- обильные и длительные ливни;
  - быстро тающие горные ледники и снега;
  - землетрясения, вулканическая активность;
  - инженерные и строительные работы, хозяйственная деятельность на склонах.

Для возникновения селя нужно, чтобы вода заполнила пустоты и трещины на склоне, устремилась вниз. Частицы грунта расплываются, увлажненная порода теряет устойчивость. Вода прибывает, достигает поверхности склона, провоцируя перемещение сначала мелких частиц, затем среднего размера камней, и последними приходят в движение валуны. Сель может внезапно остановиться. Обычно это происходит, если грунтовой воды недостаточно, если уменьшилась скорость течения реки, либо если изменилась крутизна склона.

Грязевые или грязекаменные потоки образуются после долгого засушливого периода. На склоне скапливаются пески и другие мелкие частицы,



легко сносимые внезапным дождем. А вот водно-каменные потоки, наоборот, являются следствием длительного дождливого периода. Крупные камни, формирующие такую селевую массу, располагаются у основания крутых склонов, в руслах горных водотоков. При длительных дождях камни отрываются от размытой основной породы, начинают движение.



Рисунок 37 – Селевой поток

#### ***20.4 Классификация селей.***

Классификация селей:

- Водно-каменные – в основном включают большие фрагменты пород, частицы скал, валуны. Этот вид селей образуется в районе плотных пород. Вес 1 кубического метра массы может составлять 1-1,5 т.
- Водно-песчаные и водно-пылевые – формируются в районе лесов и песчаных типов грунта. В составе потоков имеются пылевые и песчаные фрагменты.
- Грязевые – в них входят пыль и глина. Такой тип селей образуется в районе глинозема. Вес 1 кубического метра может составлять 2 т.

- Грязекаменные – включают глинисто-пылеватые фрагменты, которые соединяются с небольшим объемом камешков и гальки. Вес 1 кубического метра достигает 2,5 т.
- Каменно-грязевые – в их состав преимущественно входят камешки и большие обломки.
- Водно-снежно-каменные – представляют собой нечто среднее между селевым потоком и лавиной.

### ***20.5 Защита от селей.***

К основным поражающим факторам потоков относят выраженные разрушительные свойства и внезапность появления. К ключевым последствиям этого природного явления относят следующее:

- серьезное повреждение людей, которое иногда приводит к смертельному исходу;
- закупоривание органов дыхательной системы грязевой массой, что провоцирует удушье;
- разрушение строений, объектов инфраструктуры, путей сообщения;
- повреждение сельскохозяйственных угодий.



Рисунок 38 – Поселок, пострадавший от селевого потока

Для защиты населенных пунктов, зданий и сооружений от селей применяют целый комплекс строительных и инженерных мероприятий. При этом нужно строить специальные объекты. Выбор конкретных методов борьбы зависит от зон селевого бассейна.



Рисунок 39 – После схода сели

На начальном этапе разрушительного процесса требуется заниматься его профилактикой. Для этого нужно укреплять почву и растительный покров. В области водосбора запрещено проводить вырубку леса и разрушать дерновый слой. В потенциально опасных регионах рекомендуется сажать леса. Они способствуют регулированию стоков, уменьшают количество воды, рассекают потоки воды на более слабые струи. Чтобы сделать склоны более устойчивыми, стоит выполнять террасирование. Также рекомендуется перехватывать и отводить водные потоки с помощью земляных валов или каналов. Наиболее эффективными сооружениями, которые используются для профилактики селей, считают следующее:

- Каменные и бетонные запруды, которые устанавливают поперек русла. Они удерживают селя и частично забирают у него твердые фрагменты.

- Полузапруды – они помогают отжать селевой поток к той части берега, которая меньше подвержена разрыву.

- Селеулавливатели в форме бассейнов и котлованов – их закладывают в направлении движения потоков.

- Направляющие дамбы – помогают придать селю требуемое направление и снизить его интенсивность.

- Подпорные стенки – предотвращают размыв берегов русла и обеспечивают защиту зданий от ударной силы селей.

Селевой поток считается очень опасным явлением, которое может привести к гибели сотен тысяч людей. Чтобы избежать этого, нужно заниматься профилактикой таких природных катастроф в потенциально опасных местах.

### ***Самые разрушительные сели в истории.***

Каждый год сели уносят жизни 5 тыс. человек. Ниже представлены крупнейшие и самые разрушительные в истории потоки:

1. В 1995 году произошла стихийная катастрофа в США. Она нанесла большой экономический ущерб, который оценивался в 100 млн. долларов.

2. В январе 2000 года опасное бедствие произошло в Венесуэле. Оно унесло жизни 1 тыс. человек.

3. В мае 1998 года в Неаполе сошел сель, связанный с сильным ливнем. Он унес жизни 170 человек.

### ***Контрольные вопросы:***

1. *Что собой представляет сель?*

2. *Как характеризуются сели?*

3. *Каковы условия возникновения селей?*

4. *Как классифицируются сели?*

5. *Какие меры предпринимаются для защиты от селей?*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

*Абдрахманов Р.Ф.* // Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.

*Абдрахманов Р.Ф.* // Пресные подземные и минеральные лечебные воды Башкортостана. Уфа: Гилем, Башк. энцикл. 2014. 416 с.

*Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г. и др.* // Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. 383 с.

Ананьев, В. П. Инженерная геология и гидрогеология [Текст]: Учебник / В. П. Ананьев, Л. В. Передельский. - М.: Высш. шк., 1980.

Ананьев, В. П. Инженерная геология: Учебник / Ананьев В.П., Потапов А.Д., Юлин А.Н. - 7-е изд., стер. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 575 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=487346>

Ананьев, В. П. Специальная инженерная геология [Электронный ресурс]: учебник / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов, Н. А. Филькин - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 263 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=487350>

Вознесенский Е.А., Королев В.А., Трофимов В.Т. Грунтоведение. - М.: МГУ, Наука. 2005. - 1024с.

Добров, Э. М. Инженерная геология [Текст]: учеб. пособие / Э. М. Добров. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2008.

Добров, Э. М. Инженерная геология [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. "Автомобильные дороги и аэродромы" направления подготовки "Транспортное строительство" : допущено УМО по образованию / Э. М. Добров. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 219 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/18233.djvu>

*Иванов Д.Л.* // Уфимские воронки на Самаро-Златоустовской дороге // Изв. Собрания инженеров путей сообщения. СПб, 1899. 351.

Инженерная геология [Текст]: учебник для студ. вузов, обуч. по строительным спец.: рек. М-вом образования и науки РФ / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. - 6-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2009.

Караулов В.Б., Никитина М.И. Геология: основные понятия и термины. Справочное пособие. – Едиториал УРСС, 2007. - 152с.

*Кац Д.М.* // Основы геологии и гидрогеологии. М.: Колос, 1981. 351 с.

Кац, Д. М. Основы геологии и гидрогеология [Текст]: учебник / Д. М. Кац. - М. : Колос, 1981.

Кашперюк П.И., Потапов А.Д., Глумова Г.М., Юлин А.Н. Инженерная геология и геоэкология. Учебное пособие. – М.: МГСУ, 2007. - 150с.

Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Геология: учебник для экологических специальностей вузов. - М: Академия. 2006. - 448с.

Короновский, Н. В. Геология [Текст]: учебник для студ. вузов, обуч. по экологическим спец.: допущено УМО по образованию / Н. В. Короновский , Н. А. Ясаманов - 5-е изд., стер. - М.: Академия, 2008. - 446 с.

*Ломтадзе В.Д.* // Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., «Недра», 1977. 479 с.

Милютин А.Г. Геология. - М.:Высшая школа. 2008. - 448с.

Передельский, Л. В. Инженерная геология [Текст]: учеб. пособие / Л. В. Передельский, О. Е. Приходченко. - 2-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д: Феникс, 2009.

Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Павлинов, А.Е. Михайлов, Д.С. Кизевальтер и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 161 с.

Предельский Л.В., Приходченко О.Е. Инженерная геология. - Р.-Д.: Феникс. 2009.

*Толстой М.П., Малыгин В.А.* // Геология и гидрогеология. М.: Недра, 1988. 318 с. Сергеев, Е. М. Инженерная геология [Текст]: учебник для вузов / Е. М. Сергеев. – М: Альянс, 2011

Толстой, М.П., Малыгин В.А. Геология и гидрогеология. М.: Недра, 1988.

Швецов, Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты [Текст]: Учеб. / Г. И. Швецов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1997.