

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальностей

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,

1-70 02 02 «Управление и экспертиза недвижимости»,

1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция

и охрана воздушного бассейна»

и слушателей ИПК

Составление и общая редакция

Л.В. Леоновой

Новополоцк

ПГУ

2008

УДК 55(075.8)  
ББК 26.3я73  
И62

Рекомендовано к изданию методической комиссией  
геодезического факультета  
в качестве учебно-методического комплекса  
(выписка из протокола № 33 от 19.12.2007)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

В.Ф. КОТЯГОВ, гл. геолог Витебского отдела инженерных изысканий  
производственного республиканского унитарного предприятия «Геосервис»;  
С.М. ЧУРАКОВ, канд. техн. наук, доц. каф. геодезии и кадастров УО «ПГУ»

**Инженерная геология** : учеб.-метод. комплекс / сост. и общ. ред. Л. В. Леоновой. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – 92 с.  
ISBN 978-985-418-693-1.

Материал изложен с учетом стандарта специальности и учебного плана. Приведены темы изучаемого курса, их объем в часах лекционных и лабораторных занятий, опорный конспект лекций, лабораторный практикум, вопросы для самопроверки, список рекомендуемой литературы.

Предназначен для студентов инженерно-строительных специальностей высших и средних учебных заведений, слушателей ИПК.

**УДК 55(075.8)**  
**ББК 26.3я73**

**ISBN 978-985-418-693-1**

© УО «Полоцкий государственный университет», 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
Рабочая программа .....	6
<b>Лекционный курс</b>	
1. Общая геология .....	8
1.1. Предмет «Геология» и его подразделения .....	8
1.2. Земля как планета. Происхождение и строение Земли .....	9
1.2.1. Строение и состав Земли .....	9
1.2.2. Геологическая хронология .....	11
2. Горные породы .....	13
2.1. Магматические горные породы .....	13
2.2. Наименование структур и текстур магматических пород различного генеза .....	14
2.3. Метаморфические горные породы .....	22
3. Грунты .....	25
3.1. Тип скальных грунтов .....	28
3.2. Нескальные грунты .....	30
3.3. Почвы .....	35
3.4. Искусственные грунты .....	36
4. Залегание горных пород .....	38
4.1. Элементы, формы и сочетание слоев осадочных пород .....	38
4.2. Формы нарушенного залегания осадочных пород .....	40
4.3. Определение положения слоя (пласта) в пространстве .....	43
4.4. Значение данных о залегании горных пород .....	45
5. Сейсмические явления .....	46
5.1. Общие сведения .....	46
5.2. Моретрясения (цунами) .....	47
5.3. Землетрясения .....	48
5.4. Оценка силы землетрясений .....	49
5.5. Строительство в сейсмических районах .....	51
6. Вулканизм .....	53
6.1. Общие сведения .....	53
6.2. Характер извержения вулканов .....	54
6.3. Продукты извержения вулканов .....	56
7. Подземные воды .....	56
7.1. Круговорот воды в природе и происхождение подземных вод .....	56
7.2. Водные свойства пород .....	58
7.3. Физические свойства и химический состав подземных вод .....	60
8. Характеристика типов подземных вод .....	62
8.1. Классификация подземных вод .....	62
8.2. Верховодка .....	63
8.3. Грунтовые воды .....	64
8.4. Межпластовые подземные воды .....	66
9. Режим грунтовых вод .....	68
9.1. Факторы, влияющие на уровень и качество грунтовых вод .....	68
9.2. Карты грунтовых вод .....	71

10. Движение грунтовых вод .....	72
10.1. Основной закон движения .....	72
10.2. Методы борьбы с грунтовыми водами .....	77
11. Склоновые процессы .....	81
11.1. Осыпи .....	81
11.2. Курумы .....	83
<b>Лабораторный практикум .....</b>	<b>85</b>
Лабораторная работа № 1	
Изучение минералов метаморфических процессов .....	85
Лабораторная работа № 2	
Изучение минералов магматических глубинных процессов .....	85
Лабораторная работа № 3	
Построение гидрогеологической карты .....	86
Лабораторная работа № 4	
Построение геологического разреза .....	87
Лабораторная работа № 5	
Изучение минералов экзогенных процессов .....	88
Лабораторная работа № 6	
Изучение магматических горных пород .....	88
Лабораторная работа № 7	
Изучение горных пород экзогенного происхождения .....	89
Вопросы для самоконтроля .....	90
Литература .....	91

## ВВЕДЕНИЕ

Инженерная геология – отрасль геологии, изучающая горные породы и геологические процессы, протекающие в верхних горизонтах земной коры в связи с инженерной деятельностью человека.

В настоящее время никакое строительство не может быть осуществлено без инженерно-геологического обоснования проектов сооружений и их привязки на местности.

Цели преподавания дисциплины «Инженерная геология»:

- ознакомление с основами геологии, инженерной геологии и гидрогеологии;
- приобретение навыков оценки инженерно-геологических и гидрогеологических условий;
- приобретение навыков выбора природоохранных мероприятий при решении задач строительства.

Задача курса «Инженерная геология» для студентов строительных специальностей – ознакомление с главнейшими природными факторами, определяющими условия строительства, инженерно-геологическими явлениями, возникающими в результате деятельности человека, в том числе строительства, защитными мероприятиями, обеспечивающими сохранность возведенного сооружения и его нормальную эксплуатацию и, наконец, условия ведения строительных работ.

Указанные задачи и определяют содержание курса, который состоит из четырех разделов «Общая геология», «Основы гидрогеологии», «Основные природные факторы, определяющие условия строительства» и «Инженерно-геологические исследования».

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### Виды занятий и формы контроля знаний

Виды занятий и формы контроля	Д		З	
	П	С	П	С
Курс	2	–	–	–
Семестр	3	–	–	–
Лекции, ч	18	–	–	–
Экзамен (семестр)	–	–	–	–
Зачет (семестр)	3	–	–	–
Практические (семинарские)	–	–	–	–
Лабораторные занятия, ч	18	–	–	–
Расчетно-графические (семестр)	–	–	–	–
Контрольные работы (семестр)	–	–	–	–
Курсовая работа (семестр/ч)	–	–	–	–
Курсовой проект(семестр/ч)	–	–	–	–
Управляемая самостоятельная работа	–	–	–	–

### Лекционный курс

Наименование разделов и тем лекций, их содержание	Количество часов			
	Д		З	
	П	С	П	С
<i>1</i>	2	3	4	5
<b>3 семестр</b>				
<b>Раздел 1. Общая геология.</b> 1.1. Предмет «Геология» и его подразделения. Методы в геологии. 1.2. Земля, как планета. Происхождение и строение земли. 1.2.1. Строение и состав Земли. 1.2.2. Геологическая хронология	2	–	–	–
<b>Раздел 2. Горные породы.</b> 2.1. Магматические горные породы. 2.2. Наименование структур и текстур магматических горных пород различного генеза. 2.3. Метаморфические горные породы	2	–	–	–
<b>Раздел 3. Грунты.</b> 3.1. Тип скальных грунтов. 3.2. Нескальные грунты. 3.3. Почвы. 3.4. Искусственные грунты.	2			
<b>Раздел 4. Залегания горных пород.</b> 4.1. Элементы, формы и сочетания слоев осадочных пород. 4.2. Формы нарушенного залегания осадочных пород. 4.3. Определение положения слоя в пространстве. 4.4. Значения данных о залегании горных пород	2	–	–	–

Окончание табл.

1	2	3	4	5
<b>Раздел 5. Сейсмические явления</b> 5.1. Общие сведения. 5.2. Моретрясения (цунами). 5.3. Землетрясения. 5.4. Оценка силы землетрясений. 5.5. Строительство в сейсмических районах	2	–	–	–
<b>Раздел 6. Вулканизм.</b> 6.1. Общие сведения. 6.2. Характер извержения вулканов. 6.3. Проформы извержения вулканов	2	–	–	–
<b>Раздел 7. Подземные воды.</b> 7.1. Круговорот воды в природе и происхождение подземных вод. 7.2. Водные свойства пород. 7.3. Физические свойства и химический состав подземных вод	2	–	–	–
<b>Раздел 8. Характеристики типов подземных вод.</b> 8.1. Классификация подземных вод. 8.2. Верховодка. 8.3. Грунтовые воды. 8.4. Межпластовые подземные воды	2	–	–	–
<b>Раздел 9. Режим грунтовых вод.</b> 9.1. Факторы, влияющие на уровень и качество грунтовых вод. 9.2. Карты грунтовых вод	1	–	–	–
<b>Раздел 10. Движение грунтовых вод.</b> 10.1. Основной закон движения. 10.2. Методы борьбы с грунтовыми водами	1	–	–	–
<b>Раздел 11. Склоновые процессы.</b> 11.1. Осыпи. 11.2. Курумы	1	–	–	–
Итого	18			

### Лабораторные занятия

Наименование лабораторной работы	Количество часов			
	Д		З	
	П	С	П	С
Изучение породообразующих минералов.	3	–	–	–
Изучение горных пород.	4	–	–	–
Построение гидрогеологической карты.	3	–	–	–
Построение геологического разреза	8	–	–	–
Итого	18	–	–	–

# ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

## 1. ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

### 1.1. Предмет «Геология» и его подразделения

Человеку свойственно стремление к познанию мира, к использованию ресурсов природы для удовлетворения жизненных потребностей. Опыт, накопленный при поиске руд, выплавке из них металлов, разработке камня для строительства, наблюдения за землетрясениями, извержениями вулканов, способствовал становлению геологии.

Начиная с 18 века, геология активно развивается в разных направлениях. По этой причине в геологии образовалась разветвленная система геологических наук. Эти науки складывались постепенно. Для получения металлов было необходимо уметь распознавать различные камни, изучать и систематизировать их свойства. Зародилась *минералогия* – наука о природных химических соединениях – *минералах*.

В результате различных геологических процессов минералы образуют закономерные скопления – горные породы. Наука, изучающая слагающие земную кору горные породы, их состав, структуру, условия образования и залегания, называется *петрографией*.

Активно развивались науки, изучающие строение земной коры и происходящие в них процессы. *Вулканология* – наука, изучающая извержения вулканов, их строение и состав продуктов вулканических извержений.

*Сейсмология* – наука, изучающая землетрясения и причины, их вызывающие.

Важное значение имеет *геотектоника* – наука о закономерностях строения и движения земной коры и процессах, происходящих в подкоровых глубинах земли.

В комплексе геологических наук имеются такие, которые имеют определенную практическую направленность: геология нефти и газа, геология пластовых, жильных и россыпных полезных ископаемых – изучающая образование, строение и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых.

*Гидрогеология* изучает условия залегания, формирования и химический состав подземных вод.

*Инженерная геология* изучает условия инженерного освоения и преобразования геологической среды – среды производства строительных работ и эксплуатации сооружений.

Инженерная геология разрабатывает широкий круг научных геологических проблем и решает практические задачи, возникающие при проектировании и строительстве всевозможных сооружений.

Основной задачей инженерной геологии всегда был прогноз изменения природных условий в связи со строительством. Одной из задач инженерной геологии является изучение динамики земной коры под влиянием инженерной деятельности человека.

В инженерной геологии выделяют три основные инженерно-геологические дисциплины:

- *грунтоведение* изучает горные породы как грунты;
- *инженерная геодинамика* – геологические, инженерно-геологические процессы и явления;
- *региональная инженерная геология* – закономерности пространственно-временной изменчивости инженерно-геологических условий в зависимости от истории развития земной коры и современных физико-географических условий.

## **1.2. Земля как планета. Происхождение и строение Земли**

Земля – одна из планет Солнечной системы. Характерной особенностью всех планет Солнечной системы является оболочечное строение: каждая планета состоит из концентрических сфер, которые различаются составом и состоянием вещества.

Земля окружена мощной газовой оболочкой – атмосферой. В строении газовой оболочки выделяется несколько сфер, отличающихся составом и физическими свойствами. Основная масса газового вещества находится в тропосфере; на экваторе верхняя граница располагается на высоте 17 км, у полюсов – 8 – 10 км. Выше в стратосфере и мезосфере увеличивается разреженность газов, меняются термические условия. На высоте от 80 до 800 км располагается ионосфера – область сильно разреженного газа. Самую наружную часть газовой оболочки образует экзосфера, простирающаяся до высоты 1800 км.

### **1.2.1. Строение и состав Земли**

Масса Земли равна  $5,98 \cdot 10^{27}$  г, объем –  $1,083 \cdot 10^{27}$  см<sup>3</sup>. Средняя плотность планеты составляет около  $5,5$  г/см<sup>3</sup>, но плотность доступных горных

пород равна  $2,7 - 3,0 \text{ г/см}^3$ . Из этого следует, что плотность вещества Земли неоднородна.

Главнейшие методы изучения внутреннего строения Земли – геофизические. Производятся наблюдения за скоростью распространения сейсмических волн, образующихся от взрывов и землетрясений. Различают волны продольные и поперечные.

Продольные волны распространяются как в твердом, так и в жидком веществе; поперечные – только в твердом. Продольные волны распространяются в твердом веществе с большей скоростью, чем поперечные. Следовательно, если через тело проходят оба типа сейсмических волн, значит, тело в твердом состоянии. Если при прохождении сейсмических волн через какое либо тело, будет обнаружено, что оно не пропускает поперечные волны, можно считать, что тело – в жидком состоянии.

Скорость волн увеличивается с возрастанием плотности вещества. Скорость волн будет скачкообразно меняться при резком изменении плотности вещества. В результате изучения распространения сейсмических волн через Землю обнаружено, что имеется несколько определенных границ скачкообразного изменения скоростей волн. Предполагают, что Земля состоит из нескольких концентрических оболочек – геосфер.

На основании трех главных границ раздела выделяют три главных геосферы: земная кора, мантия, ядро.

Первая граница раздела получила название Мохоровичича, или граница М. Она отделяет земную кору от мантии. Плотность вещества земной коры  $2,7 - 3,0 \text{ г/см}^3$ . Первая граница раздела характеризуется скачкообразным увеличением скоростей продольных сейсмических волн от  $6,7$  до  $8,1 \text{ км/с}$ . Граница М расположена под континентами на глубине от  $30$  до  $80 \text{ км}$ , а под дном океанов – от  $4$  до  $10 \text{ км}$ .

*Земная кора* представляет собой тонкую пленку на поверхности планеты, составляющую менее  $1 \%$  ее общей массы и примерно  $1,5 \%$  ее объема.

*Мантия* – самая мощная из геосфер Земли. Распространяется до глубины  $2\ 900 \text{ км}$ , занимает  $82,26 \%$  объема планеты. В мантии сосредоточено  $67,8 \%$  массы Земли. С глубиной плотность вещества мантии в целом возрастает с  $3,32$  до  $5,69 \text{ г/см}^3$ .

Вещество мантии на контакте с земной корой находится в твердом состоянии, поэтому земную кору вместе с самой верхней частью мантии называют *литосферой*.

Агрегатное состояние вещества мантии ниже литосферы недостаточно изучено и по этому поводу имеются различные мнения. Предполагается

тельно вещество мантии находится в особом высокоплотном состоянии, которое на поверхности Земли невозможно.

Мантию подразделяют на верхнюю, простирающуюся до глубины 400 км (слой В), промежуточную – от 400 до 1 000 км (слой С), нижнюю – от 1 000 до 2 900 км (слой Д).

На границе мантии и ядра в интервале глубин 2 700 – 2 900 км – в переходном слое – происходит зарождение гигантских тепловых струй – *плюмов*, периодически пронизывающих всю мантию и проявляющихся на поверхности Земли в виде обширных вулканических полей.

*Ядро Земли* – центральная часть планеты. Вещество ядра находится в каком-то совершенно особом состоянии, т.к. здесь давление составляет несколько миллионов атмосфер. В этих условиях происходит полное или частичное разрушение электронных оболочек атомов. Вещество металлизировано, т.е. приобретает свойства, характерные для металлов, в т.ч. высокую электропроводность.

Вещество ядра неоднородно. На глубине около 5 100 км скорость распространения сейсмических волн возрастает с 8 100 м/с до 11 000 м/с, поэтому предполагают, что центральная часть ядра твердая.

Непосредственно изучена земная кора. Она состоит преимущественно из силикатов, а 99,5 % ее массы составляют 8 химических элементов: кислород, кремний, алюминий, железо, магний, кальций, натрий и калий. Все остальные химические элементы в сумме составляют около 1,5 %. О составе более глубоких сфер Земного шара можно судить, используя геофизические данные.

### **1.2.2. Геологическая хронология**

Главной задачей в истории развития Земли является установление времени ее возникновения, периодизация всех геологических событий.

Деление истории по отношению одних временных единиц к другим называется *относительной геохронологией*.

Наука, изучающая слои земной коры, их взаиморасположение и последовательность возникновения, называется *стратиграфией* (лат. *стратум* – слой, *графо* – пишу, описываю). Из стратиграфического анализа вытекает стратиграфический метод относительной геохронологии.

Относительный возраст осадочных горных пород в пределах какого-то обнажения при ненарушенном их залегании определяется просто. Нижележащие пласты старше по возрасту, чем вышележащие.

При нарушенном залегании пород, особенно при залегании в виде складок, при надвиге и других формах устанавливать их относительный возраст таким путем трудно, а иногда и невозможно. Практически невозможно сопоставить возраст пород, слагающих участки, удаленные один от другого.

Определение относительного возраста пород независимо от места их распространения основывается на данных *палеонтологии* – науки, устанавливающей закономерности развития жизни на земле путем изучения останков животных и растительных организмов (окаменелости), имеющих в толщах осадочных пород. Основой палеонтологического метода определения относительного возраста горных пород является учение Дарвина о развитии жизни на Земле. В процессе развития жизни, ее эволюции некоторые формы исчезали, их сменяли другие. Следовательно, чем древнее породы, тем в большей мере организмы, остатки которых эти породы включают, отличались от современных. Время образования пород соответствует времени гибели организмов, остатки которых оказались захороненными при накоплении осадков.

Абсолютный возраст горных пород выражается в годах.

Для определения абсолютного возраста горных пород используют явление радиоактивности. Некоторые из элементов, распространенных в природе, имеют радиоактивные изотопы, отличающиеся неустойчивостью. При распаде этих изотопов образуются новые, более устойчивые элементы. Время, необходимое для того, чтобы некоторое количество какого-нибудь изотопа распалось наполовину, называется периодом полураспада. Период полураспада изотопа урана  $U^{238}$  – 4,5 млрд. лет, изотопа углерода  $C^{14}$  – 5 568 лет. Соотношение количество совместно находящихся исходного радиоактивного изотопа и образовавшегося из него устойчивого элемента дает представление о возрасте вмещающей их породы. Таким образом, определено, что возраст магматических и метаморфических пород кристаллического фундамента Русской равнины равен 2,5 – 3,5 млрд. лет, а возраст наиболее древних осадочных пород составляет 500 – 600 млн. лет.

Определение количества углерода  $C^{14}$  дает возможность установить возраст органических остатков, имеющих в сравнительно молодых породах, и тем самым установить возраст вмещающих их пород.

Определение абсолютного возраста горных пород – весьма трудная задача, поэтому при поисках и разведках полезных ископаемых при использовании метода аналогий для оценки строительных свойств горных пород обычно используют данные относительного возраста.

## 2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Строители в своей практической деятельности, как при производстве строительных работ, так и в процессе проектирования сооружений, постоянно имеют дело с горными породами, которые представляют собой минеральный агрегат и служат средой, основанием и материалом для возведения различных сооружений. Как известно, в этом случае горные породы называют грунтами. Разные горные породы обладают различными свойствами и в то же время для каждой из них эти свойства достаточно выдержаны. При использовании горных пород как строительных материалов или оснований сооружений накоплены обширные знания об их свойствах. Наличие у горных пород сходных признаков позволило объединить их в классы, группы и виды. Классификация горных пород построена по генетическому признаку: магматическое, осадочное и метаморфическое происхождение.

### 2.1. Магматические горные породы

Магматические горные породы возникают в результате кристаллизации магмы (силикатного расплава) при ее остывании в недрах Земли и на ее поверхности. В зависимости от условий образования выделяются: глубинные (интрузивные), жильные, излившиеся (эффузивные) и вулканогенные (пирокластические) породы (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Магматические горные породы

Условия образования	Структура	Текстура
Глубинные	Полнокристаллическая (крупно-, средне-, мелкокристаллическая); неравномерно кристаллическая (порфировидная)	Массивная (однородная, гнездовая, компактная)
Жильные	Полнокристаллическая (пегматитовая, эолитовая)	Массивная
Излившиеся	Неполнокристаллическая (порфировая, офитовая), стекловатая	Пористая (ноздреватая, микропористая, миндалевидная, пузыристая)
Вулканогенные	Обломочная, стекловатая, зернисто-угольная, пепловая	Пористая (пенистая, туфовая, пузыристая)

Глубинные (интрузивные) породы формируются внутри ранее образованных пород в условиях высокого давления, медленного и равномерного остывания магмы нередко при деятельном участии растворенных в ней газов и паров. В этом случае происходит спокойная кристаллизация магмы, и образуются полнокристаллические или яснокристаллические структуры пород и массивная текстура.

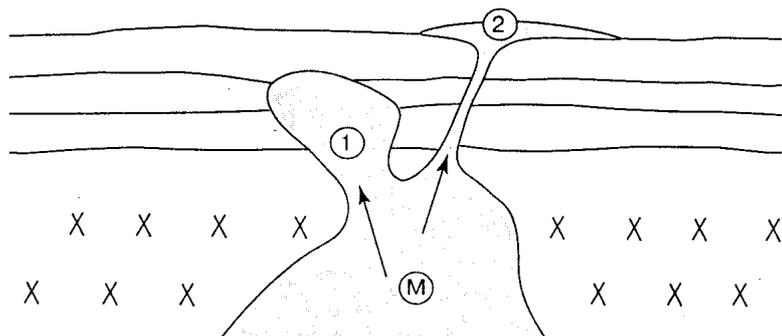


Рис. 1. Залегание магматических пород:  
1 – глубинные, 2 – излившиеся, М – магма

Установлено, что минералы кристаллизуются в определенном порядке в зависимости от химического состава исходной магмы (основная или кислая), температуры плавления и ряда других факторов.

Кристаллизация основной магмы происходит в следующем порядке: оливин – пироксен – амфиболы – биотит – калиевый полевой шпат – мусковит – кварц; кислой магмы: анортит – плагиоклазы – калиевый полевой шпат – мусковит – кварц.

Жильные породы образуются при кристаллизации магмы в трещинах горных пород, зачастую в гидротермальных условиях. Кристаллизация обычно происходит без дифференциации магмы, что приводит к образованию характерной полнокристаллической структуры и массивной текстуры.

Излившиеся (эффузивные) породы образуются на поверхности Земли при низких давлениях и температурах, при быстром охлаждении и дегазации расплава магмы. В таких условиях невозможна полная дифференциация, часть расплава застывает в виде аморфной стекловатой массы, и образуются неполнокристаллические породы порфировой структуры.

Часто кристаллизация имеет две фазы: медленную – в глубине земной коры, когда образуются отдельные кристаллы минералов, а затем быструю – на поверхности, когда происходит интенсивное остывание расплава. В этом случае образуется неравномерно-кристаллическая (порфировидная) структура. При образовании излившихся пород формируются и другие виды структур (афанитовая, офитовая, ортофирровая и др.). Зачастую излившиеся породы обладают повышенной пористостью (пористая текстура).

## 2.2. Наименование структур и текстур магматических горных пород различного генезиса

Вулканогенные породы образуются при вулканических извержениях как на континентах, так и в морских бассейнах. Расплав магмы быстро ос-

тывает с одновременной интенсивной потенцией растворенных газов и паров. В данных условиях образуются вулканические высокопористые породы, а также специфические рыхлые породы (пепел, куски застывшей лавы, обломки пород).

Пирокластические породы представляют собой скопление осевшего на поверхность материала, выброшенного при вулканических взрывах.

Особенности строения магматических горных пород определяют в значительной степени их инженерно-геологические свойства. Строение же горных пород определяется структурой и текстурой. Под структурой понимают размер, форму, характер поверхности слагающих горную породу элементов (минеральных частиц или их агрегатов), характер и степень взаимосвязи между ними.

По агрегатному состоянию компонентов различают структуры: кристаллические (гранит), стекловатые (вулканическое стекло), смешанные (порфириды).

По размеру частиц выделяют крупно- (больше 5 мм), средне- (1 – 5 мм) и мелкокристаллические (меньше 1 мм) структуры. Если составные части различимы только в микроскопе, то к названию структуры добавляется слово «микро»; к кристаллическим структурам часто добавляется слово «скрыто». Своеобразным является порфировый тип структуры, отличающийся наличием частиц различных размеров. Как правило, в преобладающую мелко- и скрытокристаллическую массу такой породы вкраплены крупные кристаллы отдельных минералов (кварцевый порфир).

Под текстурой горных пород понимают особенности их строения, обусловленные пространственным расположением слагающих породу элементов. Текстура характеризует способ заполнения пространства горной породой, расположение и распределение компонентов породы в заполняемом ею пространстве.

По способу (степени) заполнения пространства различаются текстуры: плотные, или массивные (гранит), полосчатые (пегматит) и пористые (базальт).

По расположению компонентов породы в пространстве выделяют однородные и неоднородные текстуры. Текстура называется однородной, если все компоненты в образце горной породы расположены относительно равномерно, без явной ориентировки или группировки. В неоднородных текстурах в зависимости от условий образования та или иная группировка или ориентировка компонентов в пространстве существует. Среди неоднородных текстур различают, к примеру, слоистую, флюидальную (при этом различные минералы «выстроены» в одном направлении – виден застывший поток магмы – лавы), полосчатую и др.

Излившиеся породы по степени измененности делятся на кайнотипные, имеющие свежий, не измененный состав и строение, и палеотипные – измененные породы. Название палеотипных пород образуется путем присоединения к названию соответствующей кайнотипной породы слова «порфи», если в составе преобладают калиево-натриевые полевые шпаты, или «порфирит», если преобладают плагиоклазы. При распознавании кайно- и палеотипных пород надо обращать внимание на следующие черты их строения:

- 1) текстура кайнотипных пород часто бывает пористой, палеотипных – плотной (вторичное уплотнение, заполнение пор вторичными минералами);
- 2) вулканическое стекло, характерное для кайнотипных пород, в палеотипных часто раскристаллизовывается и возникает очень мелкозернистая кристаллическая структура;
- 3) кристаллические вкрапления в палеотипных породах обычно сильно изменены.

Одной из наиболее важных характеристик, определяющих свойства магматических пород, является их химический состав, формирующий минералогический состав и облик породы.

В основу классификации магматических пород по химическому составу положены данные о содержании в них двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$  (в % по массе). В связи с этим выделяют породы ультракислого, кислого, среднего, основного и ультраосновного состава. Схематическая классификация магматических пород по составу и условиям образования приведена в табл. 2.

Для глубинных магматических пород характерными формами являются батолит, лакколлит, штоки, дайки, для жильных – жилы секущие и напластования; для излившихся пород – покровы, потоки, купола.

Для рационального использования горных пород в строительной практике в качестве оснований инженерных сооружений проводят инженерно-геологические исследования, включающие определения физических, водных, прочностных и деформационных свойств горных пород. Комплексные инженерно-геологические исследования осуществляются как в лабораторных условиях, так и в полевых. Состав исследований определяют в зависимости от генезиса пород и их строения с учетом сложности общих геологических условий, а также в зависимости от типа проектируемого сооружения и стадии его проектирования. Согласно общепринятой инженерно-геологической классификации грунтов (ГОСТ 25100-82 Грунты) все магматические горные породы относятся к классу скальных грунтов (грунтов с жесткими структурными связями).

## Классификация магматических пород по составу и условиям образования

Состав горной породы		Породы по условиям образования				
химический $\Sigma \text{SiO}_2$ %	минеральный (главные минералы)	глубинные (интрузивные)	излившиеся (эффузивные)		жильные	вулканогенные
			палеотипные	кайнотипные		
Ультракислые (более 75)	Ортоклаз (или кислый плагиоклаз), кварц, биотит	–	–	–	Пегматит	Обсидан, пемза, туф, пепел
Кислые (65 – 75)	Ортоклаз (или кислый плагиоклаз), кварц, слюды, роговая обманка	Гранит	Кварцевый порфир	Липарит		
Средние (55 – 65)	Ортоклаз (или нефелин), слюды, роговая обманка	Сиенит (нефелиновый сиенит)	Ортофир	Трахит		
	Средний плагиоклаз, роговая обманка, авгит (иногда кварц)	Диорит	Порфирит	Андезит		
Основные (45 – 55)	Основной плагиоклаз (Лабрадор), авгит, роговая обманка (иногда оливин)	Габбро (лабрадорит)	Диабаз	Базальт		
Ультраосновные (менее 45)	Авгит, оливин, роговая обманка, рудные минералы	Пироксенит, перидотит				

В связи с этим все магматические породы с точки зрения использования их в строительстве имеют много общего. Общность их физико-механических свойств обусловлена наличием структурных кристаллизационных связей между минеральными зернами. Все магматические породы имеют высокую прочность, значительно превосходящую нагрузки, известные в инженерной практике, не растворяются в воде и практически водонепроницаемы, если они монолитны (без трещин).

В то же время трещиноватость и склонность массивов к выветриванию резко ухудшают строительные свойства магматических пород. У различных типов магматических пород эти свойства различны.

Для оценки степени выветрелости используют отношение объемной массы образца выветрелого грунта к объемной массе невыветрелого образца того же грунта ( $K_w$ ). По степени выветрелости грунты бывают: невыветрелые –  $K_w = 1$  (залегает в виде сплошного массива); слабовыветрелые, трещиноватые –  $1 > K_w > 0,9$  (залегает в виде несмещенных глыб); выветрелые –  $0,9 > K_w > 0,8$  (залегает в виде скопления отдельных глыб); сильновыветрелые –  $K_w < 0,8$  (залегает в массиве в виде отдельных кусков).

Прочность магматических горных пород оценивается по пределу прочности при одноосном сжатии и в водонасыщенном состоянии ( $R_c$ , МПа): очень прочные ( $R_c > 120$ ), прочные ( $120 > R_c > 50$ ), средней прочности ( $50 > R_c > 15$ ), малопрочные ( $15 > R_c > 5$ ).

Прочность интрузивных пород колеблется в довольно значительных пределах. Так, прочность грунтов, не затронутых выветриванием, от 50 до 270 МПа, а средние значения, как правило, выше 100 МПа.

Как указывалось ранее, прочность всех магматических горных пород существенно зависит от того, находятся эти породы в виде монолита или являются трещиноватыми. В зависимости от трещиноватости прочность магматической горной породы, например, гранита, может изменяться в широких пределах: от  $R_c = 186$  МПа (для массивного образца) до  $R_c = 10$  МПа при  $K_w > 0,85$  и  $R_c = 1,0$  МПа при  $K_w = 0,7$ .

Прочность излившихся пород в значительной степени зависит также от их пористости. Наиболее прочными породами (временное сопротивление сжатия достигает 500 МПа) являются скрытокристаллические базальты. Особую группу пород составляют вулканические туфы, среди которых встречаются как очень слабые ( $R_c = 5$  МПа), так и прочные ( $R_c > 50$  МПа).

Осадочные горные связные породы, к которым относятся лессовые, глинистые и биогенные (лесс, супесь, суглинок, глина и торф), обладают целым рядом свойств, существенно отличающих их от других осадочных пород. Наиболее характерной особенностью этих пород является изменение

их свойств в зависимости от влажности. В частности, величина их механической прочности сильно изменяется при изменении влажности. С ростом влажности величина механической прочности уменьшается, а при большом содержании воды порода вообще может потерять механическую прочность и перейти в текучее состояние. Связные осадочные породы при определенной влажности становятся пластичными и липкими, они набухают при увлажнении и дают усадку при высыхании. Пористость их, как правило, высокая, но, несмотря на это, водопроницаемость этих пород незначительна, т.к. преобладают микропоры. Глины являются хорошим водупором. Некоторые физико-механические свойства осадочных нецементированных, пылеватых и глинистых (связных) горных пород приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

**Значение физических свойств некоторых рыхлых обломочных грунтов  
(по данным В.В. Охотина)**

Название породы (генезис)	Естественная влажность	Пористость $n$ , %	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Угол естественного откоса, град	
					в воздушно-сухом состоянии	под водой
Гравий (морской)	5 – 20	22 – 30	1,3 – 1,55	60 – 100	31 – 42	30 – 35
Песок мелкозернистый (водно-ледниковый)	5 – 24	26 – 40	1,4 – 1,7	2 – 3	32 – 40	24 – 33
Песок пылеватый (аллювиальный)	12 – 35	30 – 48	1,45 – 1,8	0,5 – 1	32 – 41	21 – 29

Таблица 4

**Значение некоторых физико-механических свойств  
осадочных обломочных связных грунтов**

Порода	Коэффициент пористости $e$	Естественная влажность $W$ , %	Плотность скелета, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Число пластичности $I_p$	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Модуль деформации общей $E_0$ , МПа	Относительная просадочность при $p = 0,3$ МПа
Супесь	0,50 – 0,70	16 – 26	1,35 – 1,60	1 – 7	0,08 – 0,5	16 – 33	–
Суглинок	0,65 – 0,80	23,35	1,44 – 1,70	7 – 17	0,004 – 0,01	10 – 22	–
Глина	0,75 – 1,5	35 – 60	1,67 – 1,75	больше 17	менее 0,001	6 – 18	–
Лесс	0,75 – ,0	9 – 13	1,25 – 1,50	4 – 17	0,1 – 0,5	12 – 20	0,05 – 0,15

Особо следует сказать о торфе. Торф – своеобразная, геологически молодая, не прошедшая стадии диагенеза, биогенная горная порода, образующаяся в результате отмирания болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа кислорода. Отличительными особенностями торфа являются его чрезвычайно высокая влажность и пористость, достигающая в массиве 500 – 1 000 % и даже 2 000 %, и исключительная сжимаемость под нагрузкой, которая в десятки раз превышает величины сжимаемости минеральных грунтов. Наблюдается четкая зависимость физико-механических свойств торфа от его состава, степени разложения и зольности. Торф является водопроницаемым, но несмотря на высокую пористость коэффициент фильтрации его крайне незначителен.

*Осадочные скальные (с жесткими связями)* горные породы, цементированные согласно классификации, представлены обломочными, пылеватыми и глинистыми, цементированными химическими и биохимическими разновидностями.

Для цементированных пород инженерно-геологические свойства существенно зависят от состава цементированных обломков и типа цемента. Наиболее высокими прочностными свойствами обладают мелкозернистые песчаники, цементированные кремнистым цементом ( $R_c < 200$  МПа). Наименее прочными ( $R_c = 2 - 3$  МПа) являются обломочные породы, цементированные глинистым цементом. Породы с карбонатным и глинистым цементом могут резко терять свою прочность при водонасыщении. Эти породы отличаются малой пористостью ( $n = 0,5 - 25$  %), слабой морозостойкостью и практически водонепроницаемы.

Химические и биохимические породы в зависимости от структуры и текстуры обладают существенно разными физико-механическими свойствами. Так, кремнистые породы обладают высокой пористостью, большой влагоемкостью, слабой морозостойкостью, сравнительно высокой прочностью в сухом состоянии.

Карбонатные породы (известняки) имеют высокие показатели физико-механических свойств. Наиболее прочными являются массивные мелкозернистые окварцованные известняки и доломиты ( $R_c = 100 - 240$  МПа). Прочность массивов, сложенных карбонатными породами, определяется их трещиноватостью. Характер и интенсивность выветривания известняков (особенно их растворимость в воде) зависят во многом от структурно-текстурных особенностей. Наиболее интенсивно карстуются карбонатные породы с высокой пористостью (крупнозернистые, плитчатые и др. разновидности), а также с высокой трещиноватостью. Некоторые инженерно-геологические особенности скальных пород приведены в табл. 5.

**Значения некоторых инженерно-геологических свойств  
осадочных горных пород с жесткими связями**

Порода	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Пористость $n$ , %	Предел прочности породы на сжатие $R_c$ , МПа	
			сухой	водонасыщенный
Конгломерат (цемент известково-железистый)	2,30 – 2,65	8 – 20	18 – 20	15 – 30
Песчаник разномзернистый (цемент глинистый)	2,05 – 2,35	10 – 20	3 – 10	1,5 – 5
Песчаник кварцевый среднезернистый (цемент карбонатный)	2,50 – 2,70	1,5 – 7,0	45 – 70	45 – 65
Песчаник кварцевый мелкозернистый (цемент кремнеземистый)	2,60 – 2,75	0,5 – 4,0	130 – 300	130 – 280
Аргиллит	2,15 – 2,30	8 – 20	30 – 75	15 – 40
Известняк	2,35 – 2,65	5 – 20	40 – 120	35 – 60
Доломит	2,80 – 2,90	0,0	80 – 200	80 – 200
Мергель	2,15 – 2,50	15 – 45	10 – 15	35 – 10
Мел	2,00 – 2,25	35 – 60	6 – 11	0,5 – 5
Ангидрид	2,80 – 3,00	14 – 20	50 – 90	–

По отношению к воде скальные осадочные горные породы подразделяются на размягчаемые и неразмягчаемые. К скальным неразмягчаемым относятся породы с жесткими кристаллизационными и прочными цементационными связями, водонепроницаемые или водопроницаемые по трещинам, водостойкие. Для оценки размягчаемости используют коэффициент размягчаемости  $K_{pz}$ , являющийся отношением сопротивлений сжатию образцов скального грунта в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях. Для скальных неразмягчаемых грунтов  $K_{pz} > 0,75$ . Такими породами являются магматические (за исключением рыхлых вулканокластических), метаморфические (кроме глинистых сланцев), осадочные (доломиты, кремнистые песчаники, брекчии, конгломераты).

К скальным размягчаемым ( $K_{pz} < 0,75$ ) относятся породы с ослабленными связями, пористые или трещиноватые, некоторые из них растворимы. В эту группу пород входят алевролиты, аргиллиты, известняки, гипс, ангидрит, мергель, опоки, сильновыветрелые магматические и метаморфические горные породы.

Прочность осадочных скальных (с жесткими связями) грунтов оценивается по временному сопротивлению их сжатию ( $R_c$ , МПа). В зависимости от трещиноватости временное сопротивление сжатию может изменяться от

250 МПа (для нетрещиноватых образцов) для песчаника до 2 – 3 МПа для песка.

### 2.3. Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы образуются в результате преобразования осадочных и магматических пород под действием высоких температур и давлений под влиянием внедрения магмы в ранее сформированные породы, а также под воздействием поверхностно-активных веществ (ПАВ). К числу основных факторов метаморфизма относят температуру, давление, флюиды. *Флюиды* – жидкие или газообразные компоненты магмы или циркулирующие в глубинах Земли насыщенные газами растворы. Эти факторы вызывают изменения первоначального строения пород, их химического и минерального состава. Процессы преобразования пород происходят без расплавления последних. Характер изменения пород различен: от уплотнения до полной перекристаллизации минералов, слагавших исходные породы. Метаморфические породы являются вторичными. Степень метаморфизма различна, поэтому существует довольно большое число переходных пород.

Различают следующие типы метаморфизма:

1. *Контактовый*, который развивается на границе интрузии расплава магмы с осадочными породами (рис. 2). Возникающие здесь давление

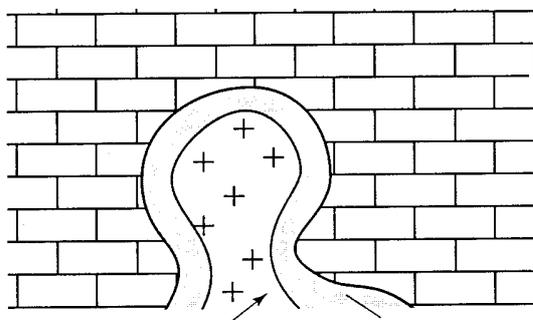


Рис. 2. **Контактовый метаморфизм**

и повышение температуры за счет магмы существенно меняют приконтактовые вмещающие породы (например, известняки переходят в мраморы, скарны). Нередко формируется сложная горная порода магматит, образующаяся из неоднородной смеси магмы и твердых кусков вмещающей породы. Этому способствуют инъекции и пронизывание магмой приконтактных вмещающих горных пород (большой частью вдоль трещин плоскостей слоистости или сланцеватости).

Строение пород контактового метаморфизма кристаллическое, сахаровидное, массивное, слабослоистое. Минеральный состав часто существенно изменяется.

2. *Глубинный (региональный)* метаморфизм развивается при совместном взаимодействии на больших глубинах температур, высокого давления и флюидов (рис. 3). В этом случае минеральный состав пород иногда существ-

венно меняется. Породы приобретают характерное кристаллическое, сланцевое, полосчатое, плотное строение. Наличие сланцеватости и полосчатости существенно сказывается на силе структурных связей в различных направлениях, что обуславливает анизотропию свойств пород;

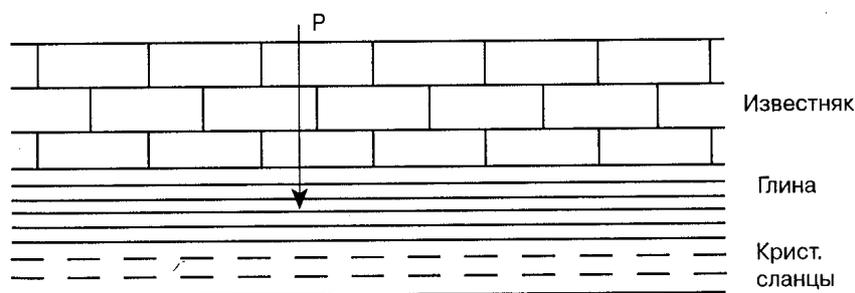


Рис. 3. Глубинный метаморфизм

3. *Динамометаморфизм*, который вызывается высоким давлением при горообразовательных (тектонических) процессах (рис. 4). При динамометаморфизме образуются мощные зоны смятия, возникают сложные складки. Формируются специфические горные породы – катаклазиты и милониты, возникающие при разрывных нарушениях в зонах дробления, без явлений перекристаллизации и минералообразования.

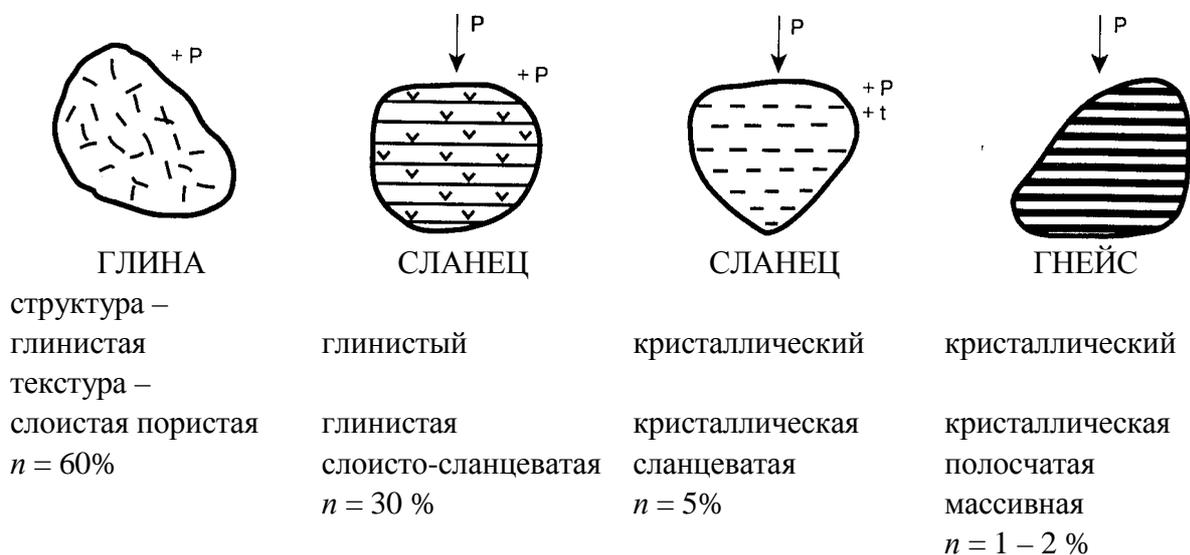


Рис. 4. Динамометаморфизм

Метаморфические породы чаще всего сохраняют форму залегания исходной породы и встречаются в виде пластов, линз, жил, а иногда локальных неправильных форм близ контакта с интрузиями магмы. Классификация метаморфических горных пород приведена в табл. 6.

## Классификация метаморфических горных пород

Исходные (материнские) породы	Тип метаморфизма	Метаморфические породы	Минеральный состав
Гранит, глинисто-песчаные породы	Глубинный (региональный) и динамометаморфизм	Гнейсы	Кварц, полевые шпаты, роговая обманка, слюды
Различные магматические породы и глинистые породы		Сланцы кристаллические	Слюды, тальк, роговая обманка, хлорит, графит, кварц и др.
Песчаники кремнистые (кварцевые)		Кварциты, яшмы	Кварц и примеси
Известняки, доломиты		Мраморы, филлиты	Кальцит, доломит
Глинистые породы		Глинистые сланцы	Каолинит, кварц, слюды
Глинистые породы, алевролиты	Контактовый	Роговики	Кварц, полевые шпаты, биотит, роговая обманка
Известняки, доломиты		Скарны	Кальцит, роговая обманка, рудные минералы
		Мраморы	Кальцит, доломит и примеси

Физико-механические свойства метаморфических горных пород во многом близки к магматическим, что обусловлено наличием у них жестких, преимущественно кристаллизационных, связей. Все метаморфические породы, не будучи измененными (сильно выветрелыми, трещиноватыми), имеют прочность, значительно превышающую нагрузки, существующие в строительной практике. Метаморфические породы практически водонепроницаемы и, за исключением карбонатных разновидностей (мраморы, скарны), не растворяются в воде. Деформируемость и фильтрация этих пород возможны только по трещинам, а также в выветрелых зонах. Для большинства метаморфических пород характерна анизотропность свойств, обусловленная их сланцеватостью. Прочность на сжатие – сопротивление сдвигу, модуль упругости значительно ниже вдоль сланцеватости, чем перпендикулярно ей.

Свойства метаморфических пород зависят от условий метаморфизма. Наиболее прочными и устойчивыми к выветриванию являются породы регионального метаморфизма, особенно кварциты. Сопротивление кварцитов сжатию превышает 150 – 200 МПа, их пористость ничтожна: величина их водопоглощения и водонасыщения составляет 0,2 – 0,3 %. Кварциты морозостойки и очень слабо выветриваются. Близки по свойствам к кварцитам

гнейсы, хотя и обладают меньшей морозостойкостью. Так, величина временного сопротивления на сжатие после испытания гнейсов может уменьшиться в 1,5 – 2 раза (с 100 – 120 до 45 – 80 МПа).

Наименее устойчивы к выветриванию глинистые сланцы. Они могут разрушаться при водонасыщении, неморозостойки, хотя устойчивы к химическому выветриванию.

Физические и механические свойства мраморов зависят от их структуры и текстуры. Чем более крупнозернистая структура мрамора, тем ниже величина его сопротивления сжатию (от 100 МПа для мелкозернистого до 50 – 60 МПа для крупнозернистого). Прочность мрамора снижается при водонасыщении и после испытания на морозостойкость. Мрамор очень слабо растворяется в воде, содержащей углекислоту. Существенное влияние на физико-механические (прочностные и деформационные) свойства метаморфических пород оказывает их трещиноватость. Как и для ранее рассмотренных магматических и осадочных пород повышение трещиноватости массива метаморфических пород ведет к резкому снижению их прочностных свойств. Некоторые физико-механические свойства метаморфических пород приведены в табл. 7.

### 3. ГРУНТЫ

Грунтоведение – основное научное направление инженерной геологии и изучает горные породы как грунты, где ведется строительство. Грунтоведение изучает состав, состояние, строение, свойства грунтов и условия их формирования, зависимости свойств грунтов от условий формирования и их изменения в процессе инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Грунты – это любые горные породы, почвы и техногенные образования, обладающие определенными генетическими признаками и рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы, находящиеся под воздействием инженерной деятельности человека (Е.М. Сергеев).

Грунты – весьма разнообразны по своему происхождению, составу, строению, типу структурных связей, физическому состоянию и свойствам (рис. 5). Естественным геологическим признаком для подразделения различных горных пород, встречающихся в земной коре, является их происхождение. В генетической классификации выделяются три типа пород – магматические (изверженные), осадочные и метаморфические. Важнейшее значение имеет выделение генетических типов пород, особенно осадочных (обломочных) – континентальных (элювиальных, гляциальных, эоловых, аллювиальных и др.) и морских (прибрежных, шельфовых, глубоководных).

Таблица 7

## Физико-механические свойства метаморфических горных пород

Породы	Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Плотность минеральных частиц $\rho_s$ , т/м <sup>3</sup>	Пористость $n$ , %	Временное сопротивление сжатию $R_c$ перпендикулярно слоям, МПа	Коэффициент Пуассона $\mu$	Модуль упругости $E \cdot 10^4$ , МПа
Гнейс	2,65 – 3,00	2,67 – 3,05	0,5 – 5,5	160 – 280	0,09 – 0,29	1,6 – 3,4
Кварцит	2,68 – 2,70	2,69 – 2,72	0,2 – 3,0	150 – 300	0,26 – 0,35	5,5 – 7,6
Мрамор	2,66 – 2,70	2,68 – 2,71	2,5 – 4,0	60 – 180	0,20 – 0,31	4,2 – 6,8
Сланец глинистый	2,63 – 2,69	2,66 – 2,70	1,6 – 4,2	20 – 40	0,07 – 0,18	1,2 – 1,7
Сланец кварц-хлорит- биотитовый	2,66 – 2,69	2,69 – 2,72	0,8 – 3,0	45 – 90	0,09 – 0,28	2,0 – 2,9
Сланец кварц-мус- ковитный	2,66 – 2,68	2,70 – 2,74	0,5 – 2,1	80 – 160	0,10 – 0,30	1,4 – 3,1

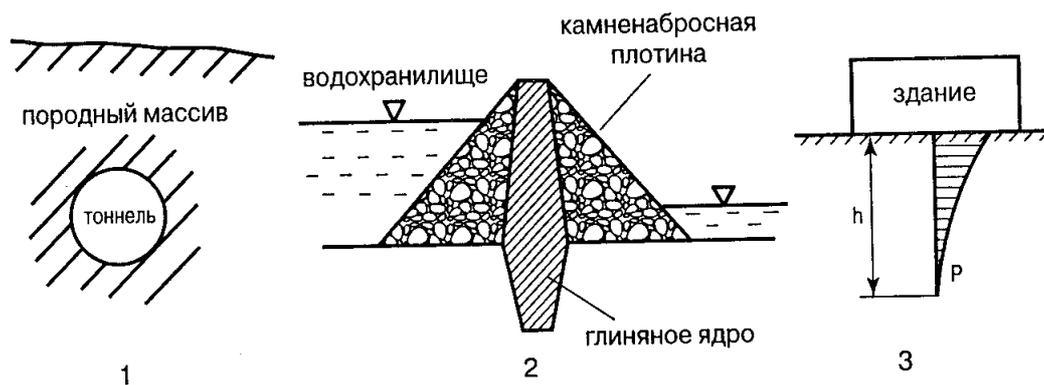


Рис. 5. Роль грунта в строительстве:

1 – среда, 2 – материал, 3 – основание (эпюра распределения нагрузки)

Генетическая классификация определяет необходимость выделения на геологических картах и разрезах однотипных по происхождению горных пород, позволяет судить о первичных формах залегания их в геологической среде, косвенно оценивать состав, строение, свойства, а также подверженность горных пород разнообразным геологическим процессам – выветриванию, карсту, суффозии, эрозии, оползням, пучению, набуханию, просадкам и др. Вместе с тем, эта классификация является основной для выделения петрографических типов пород, определяет подходы к изучению их в массиве в условиях естественного залегания.

Общая инженерно-геологическая классификация грунтов представлена в ГОСТ 25100-95, распространяется на все грунты и устанавливает их классификацию, обязательную к применению при производстве инженерно-геологических изысканий, а также при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Классификация грунтов включает шесть таксономических единиц, выделяемых в соответствии с указанными выше принципами по следующим группам признаков: *класс* – по характеру структурных связей; *группа* – по происхождению (генетическое подразделение первого порядка); *подгруппа* – по условиям образования (генетическое подразделение второго порядка); *тип* – по петрографическому составу, гранулометрическому составу и степени его неоднородности, числу пластичности; *вид* – по структуре, текстуре, составу цемента, плотности сложения, относительному содержанию и степени разложения органических веществ, способу преобразования и степени уплотнения от собственного веса; *разновидность* – по физическим, физико-механическим, химическим свойствам и состоянию.

Важным в инженерно-геологической классификации является выделение двух классов: *скальных* (включая полускальные) и *нескальных* пород.

В основу этих подразделений положены различия выделенных классов (групп) пород по характеру структурных связей между минеральными частицами и их агрегатами, которые во многом определяют различия физико-механических свойств пород.

### 3.1. Тип скальных грунтов

Тип скальных грунтов устанавливается по их петрографическому составу на основании качественных характеристик (минеральный состав, структурно-текстурные признаки). Так, например, среди интрузивных грунтов выделяются граниты, сиениты, диориты, габбро и др.; среди эффузивных – липариты, кварцевые порфиры, трахиты, андезиты, порфириты, диабазы, базальты и др.; среди метаморфических – кристаллические сланцы, гнейсы, кварциты, мраморы и др.; среди осадочных обломочных сцементированных – брекчии, конгломераты, гравелиты, песчаники, туфиты, алевролиты, аргиллиты; среди химических – ангидрит, гипс, каменная соль и др.; среди биохимических – опоки, трепела, диатомиты и др.; среди органических – известняки.

Вид скальных грунтов устанавливается также по качественным показателям – структурно-текстурным признакам, составу цемента и примесей. Так, например, по структуре выделяются грунты крупно-, средне и мелкокристаллические; по текстуре – массивные, полосчатые, слоистые, сланцеватые; по составу цемента – кремнистые, железистые, карбонатные, глинистые, гипсовые и др.; по составу примесей – окремненные, ожелезненные, глинистые и др.

Все разновидности скальных грунтов разделяются по количественным критериям, характеризующим прочность, степень засоленности, размягчаемость и растворимость в воде, температуру и содержание льда в грунте. Далее приведены классификации скальных грунтов по этим признакам.

Грунты различаются по пределу прочности в водонасыщенном состоянии  $R_c$ , МПа:

- очень прочные – более 120;
- прочные – от 120 до 50;
- средней прочности – от 50 до 15;
- малопрочные – от 15 до 5;
- пониженной прочности – от 5 до 3;
- низкой прочности – от 3 до 1;
- весьма низкой прочности – менее 1.

Как видно, все грунты от очень прочных до малопрочных относятся к категории скальных по инженерно-геологической классификации горных пород, а менее прочные – к полускальным по той же классификации.

По степени засоленности полускальные фунты подразделяются на незасоленные (содержание легко- и среднерастворимых солей менее 2 % от массы абсолютно сухого грунта) и засоленные (содержание таких солей 2 % и более от массы абсолютно сухого грунта).

По степени размягчаемости в воде, характеризуемой коэффициентом размягчаемости  $K_{pz}$ :

- неразмягчаемые – более или равно 0,75;
- размягчаемые – менее 0,75.

По степени растворимости в воде, г/л, грунты подразделяются:

- на нерастворимые – растворимость менее 0,01;
- труднорастворимые – от 0,01 до 1;
- среднерастворимые – от 1 до 10;
- легкорастворимые – более 10.

По температуре грунта, °С, и содержанию льда:

- немерзлые, талые – 0 и более;
- мерзлые, содержащие в трещинах и пустотах включения льда – менее 0;
- морозные, не содержащие включений льда – менее 0.

Приведенные классификации разновидностей скальных грунтов по количественным значениям указанных показателей основаны на изучении отдельных образцов грунта. Для оценки свойств массивов скальных грунтов важное значение имеет установление степени выветрелости и трещиноватости грунтов. Поэтому приходится использовать ряд дополнительных показателей. В табл. 8 – 11 приведены классификации массивов скальных грунтов по их выветрелости, трещиноватости, водопроницаемости и деформируемости согласно СНиП 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений».

Таблица 8

**Классификация массивов скальных грунтов по степени выветрелости**

Степень выветрелости	Коэффициент выветрелости $K_w$
Сильновыветрелые	менее 0,8
Выветрелые	от 0,8 до 0,9
Слабовыветрелые	0,9 – 1,0
Невыветрелые	1,0

**Примечание.**  $K_w$  – отношение плотности выветрелого образца грунта к плотности невыветрелого образца того же грунта.

Таблица 9

**Классификация массивов скальных грунтов по трещиноватости**

Степень трещиноватости	Модуль трещиноватости $M_j$	Показатель качества породы $RQD$ , %
Очень слаботрещиноватые	менее 1,5	90 – 100
Слаботрещиноватые	1,5 – 5	75 – 90
Среднетрещиноватые	5 – 10	50 – 75
Сильнотрещиноватые	10 – 30	25 – 50
Очень сильнотрещиноватые	свыше 30	0 – 25

**Примечание.**  $M_j$  – число трещин на 1 м линии измерения нормально главной или главным системам трещин;  $RQD$  – отношение общей длины сохранных кусков керна длиной более 10 см к длине пробуренного интервала в скважине.

Таблица 10

**Классификация массивов скальных грунтов по водопроницаемости**

Степень водопроницаемости	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут	Удельное водопоглощение $q$ , л/мин
Практически водонепроницаемые	менее 0,005	менее 0,01
Слабоводопроницаемые	от 0,005 до 0,3	от 0,01 до 0,1
Водопроницаемые	от 0,3 до 3	от 0,1 до 1
Сильноводопроницаемые	от 3 до 30	от 1 до 10
Очень сильноводопроницаемые	свыше 30	свыше 10

Таблица 11

**Классификация массивов скальных грунтов по деформированности**

Степень деформируемости	Модуль деформации массива $E$ , $10^3$ МПа
Очень слабдеформируемые	свыше 20
Слабдеформируемые	от 10 до 20
Среднедеформируемые	от 5 до 10
Сильнодеформируемые	от 2 до 5
Очень сильнодеформируемые	менее 2

**3.2. Нескальные грунты**

Нескальные грунты являются дисперсными, т.е. состоят из обломков (частиц) различной крупности. Значительный диапазон размеров частиц (от нескольких микрон до 100 мм и более), разнообразное соотношение компонентного состава, различная природа структурных связей и многообразие структурно-текстурных особенностей нескальных грунтов различного генезиса обуславливают исключительно широкий диапазон свойств (физических, физико-химических, физико-механических, водных) этих грунтов, подверженность разнообразным геологическим процессам.

Важное значение имеет гранулометрический состав дисперсных грунтов, т.е. содержание в них (в % от массы абсолютно сухого грунта) частиц различных размеров – размерных фракций (табл. 12).

Таблица 12

**Классификация фракций грунтов**

Наименование фракций	Размер обломков (частиц), мм
Валунная (глыбовая)	более 200
Галечная (щебенистая)	от 10 до 200
Гравийная (дресвяная)	от 2 до 10
Песчаная	от 0,05 до 2
Пылеватая	от 0,005 до 0,05
Глинистая	менее 0,005

Это нашло свое отражение в ГОСТ 25100-95 и обуславливает целесообразность отдельного рассмотрения в классификации грунтов крупнообломочных, песчаных, пылеватых, глинистых и искусственных, а также почв.

Тип *крупнообломочных грунтов* устанавливается по гранулометрическому составу согласно следующим критериям:

- валунный (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый) – масса частиц крупнее 200 мм более 50 %;
- галечниковый (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый) – масса частиц крупнее 10 мм более 50 %;
- гравийный (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный) – масса частиц крупнее 2 мм более 50 %. Наименование грунтов устанавливается по первому удовлетворяющему признаку (сверху вниз).

Вид крупнообломочных грунтов выделяется по наличию и составу заполнителя: при наличии песчаного заполнителя более 40 % или пылеватого и глинистого заполнителя более 30 % общей массы абсолютно сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта должно содержаться наименование заполнителя (например, щебенистый грунт с песчаным заполнителем). Состав заполнителя устанавливается после удаления из образца крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм. Для частиц крупнее 2 мм необходимо указать их петрографический состав (например, щебенистый грунт из обломков гранита и диорита с глинистым заполнителем).

Разновидности крупнообломочных грунтов выделяются по четырем признакам – степени влажности, степени засоленности, температуре грунта и льдистости, степени цементации льдом.

По степени влажности  $S_r$ :

- маловлажные – от 0 до 0,5;
- влажные – 0,5 – 0,8;
- насыщенные водой – 0,8 – 1.

По степени засоленности – суммарное содержание легко- и средне-растворимых солей (от массы абсолютно сухого грунта):

- незасоленные:
  - менее 2 % при содержании песчаного заполнителя до 40 % или пылеватого и глинистого заполнителя до 30 %;
  - менее 0,5 % при содержании песчаного заполнителя 40 % и более;
  - менее 5 % при содержании пылеватого и глинистого заполнителя 30 % и более;
- засоленные – содержание легко- и среднерастворимых солей превышает значения, указанные для незаселенных грунтов.

По температуре грунта  $t$ , °С, и льдистости  $i_i$ :

- немерзлые, талые –  $t$  более или равно 0;
- мерзлые, льдистые –  $t$  менее 0 и  $i_i$  0,4 и менее;
- мерзлые, сильнольдистые –  $t$  менее 0 и  $i_i$  более 0,4.

По степени цементации льдом:

- твердомерзлые –  $t$  менее 0 °С и суммарная влажность  $W_{tot}$  более 3 %;
- сыпучемерзлые –  $t$  менее 0 °С и суммарная влажность  $W_{tot}$  3 % и менее.

По степени выветрелости  $K_w$ :

- прочные – менее 0,5;
- слабовыветрелые – 0,5 – 0,75;
- сильновыветрелые – 0,75 – 1.

Коэффициент выветрелости  $K_w$  – это сопротивление обломков истиранию при испытаниях на крошимость. Значение коэффициента выветрелости определяют по формуле

$$K_w = K_t - K_0/K_t,$$

где  $K_t$  – отношение массы частиц размерами менее 2 мм к массе частиц более 2 мм после испытания на крошимость;

$K_0$  – то же до испытания на крошимость (в природном состоянии).

Тип *песчаных грунтов* выделяется по гранулометрическому составу (по крупности песков) и степени их гранулометрической неоднородности.

По гранулометрическому составу песок подразделяется:

- на гравелистый – масса частиц крупнее 2 мм более 25 %;
- крупный – масса частиц крупнее 0,5 мм более 50 %;
- средней крупности – масса частиц крупнее 0,25 мм более 50 %;
- мелкий – масса частиц крупнее 0,1 мм 75 % и более;
- пылеватый – масса частиц крупнее 0,1 мм менее 75 %.

По степени неоднородности гранулометрического состава  $C_v$ :

- однородный – менее 3;
- неоднородный – 3 и более.

Виды песчаных грунтов выделяются по плотности сложения (коэффициенту пористости  $e$ ) и относительному содержанию органических веществ  $I_{от}$ .

По плотности сложения песок подразделяют:

- на гравелистый, крупный или средней крупности:
  - плотный – менее 0,55;
  - средней плотности – от 0,55 до 0,70;
  - рыхлый – более 0,70;
- мелкий:
  - плотный – менее 0,6;
  - средней плотности – от 0,6 до 0,75;
  - рыхлый – более 0,75;
- пылеватый:
  - плотный – менее 0,6;
  - средней плотности – от 0,6 до 0,8;
  - рыхлый – более 0,8.

По относительному содержанию органических веществ:

- без примесей органических веществ – 0,03 и менее;
- с примесью органических веществ – от 0,03 до 0,1.

Разновидности песчаных грунтов выделяются по степени влажности, степени засоленности, температуре грунта и льдистости, по степени цементации льдом.

По степени влажности  $S_r$  подразделяются также, как разновидности крупнообломочных грунтов.

По степени засоленности – по суммарному содержанию легко- и среднерастворимых солей (от массы абсолютно сухого грунта):

- незасоленные – менее 0,5 %;
- засоленные – 0,5 % и более.

Песчаные грунты в мерзлом состоянии относятся к засоленным, если содержание легкорастворимых солей превышает 0,1 %. По температуре

грунта  $t$  и льдистости  $i_i$ ; песчаные грунты подразделяются также, как разновидности крупнообломочных грунтов.

По степени цементации льдом:

- твердомерзлые крупные и средней крупности при  $t = -0,1$  °С;
- твердомерзлые мелкие и пылеватые при  $t = -0,3$  °С;
- пластичномерзлые – выше значений, указанных для твердомерзлых грунтов;
- сыпучемерзлые –  $t$  ниже 0 °С и суммарная влажность менее или равна 3 %.

В подгруппе *пылеватых* и *глинистых грунтов* согласно ГОСТ 25100-95 выделяются следующие типы: супеси, суглинки и глины; лессовые грунты.

Тип этих грунтов устанавливается по числу пластичности  $I_p$ , %:

- супеси – от 1 до 7;
- суглинки – от 7 до 17;
- глины – более 17.

Вид этих грунтов выделяется по относительному содержанию органических веществ:

- без примесей органических веществ – 0,05 и менее;
- с примесью органических веществ – от 0,05 до 0,1.

Разновидности пылеватых и глинистых грунтов выделяются по консистенции, относительному набуханию, относительной просадочности, степени засоленности, температуре грунта и льдистости, степени цементации льдом.

По консистенции грунта  $I_L$ :

- супеси твердые – менее 0;
- супеси пластичные – от 0 до 1;
- супеси текучие – более 1;
- суглинки и глины
  - твердые – менее 0;
  - полутвердые – от 0 до 0,25;
  - тугопластичные – 0,25 – 0,50;
  - мягкопластичные – 0,50 – 0,75;
  - текучепластичные – 0,75 – 1,00;
  - текучие – более 1,00.

По относительному набуханию без нагрузки  $\epsilon_{sw}$ :

- ненабухающие – менее 0,04;
- слабонабухающие – от 0,04 до 0,08;
- средненабухающие – 0,08 – 0,12;
- сильнонабухающие – более 0,12.

По относительной просадочности  $S_{SL}$ :

- грунты непросадочные – менее 0,01;
- грунты просадочные – 0,01 и более.

По степени засоленности супеси и суглинки:

- незасоленные – суммарное содержание легко- и среднерастворимых солей (от массы абсолютно сухого грунта) менее 5 %;
- засоленные – суммарное содержание тех же солей 5 % и более.

Супеси, суглинки и глины в мерзлом состоянии относятся к засоленным, если содержание легкорастворимых солей (от массы абсолютно сухого грунта) превышает: для супесей 0,15 %; суглинков 0,2 %; глин 0,25 %.

По температуре грунта  $t$  и льдистости  $i_i$  глинистые грунты различаются также, как крупнообломочные. По степени цементации льдом:

- твердомерзлые – температура грунта ниже: для супесей – минус 0,6 °С; суглинков – минус 1 °С; глин – минус 1,5 °С;
- пластичномерзлые – температура грунта выше значений, указанных для твердомерзлых грунтов.

Пылеватые и глинистые грунты с примесью органических веществ  $I_{om}$ , от 0,05 до 0,1 по степени цементации льдом выделяются также, как разновидности заторфованных пылеватых и глинистых грунтов.

### 3.3. Почвы

В рассматриваемом ГОСТе почвы выделены в отдельную подгруппу осадочных несцементированных грунтов. Это обусловлено не только их специфическими свойствами, но также требованиями охраны и рекультивации почв при производстве строительных работ. В ряде регионов запрещается использовать их в качестве основания зданий и сооружений, а общим требованием является удаление почв из-под сооружений с их последующей рекультивацией.

Типы почв выделяют по их составу, руководствуясь следующими критериями:

- почвы щебенистые, дресвяные и песчаные – по гранулометрическому составу так же, как типы крупнообломочных и песчаных грунтов;
- почвы пылеватые и глинистые – по числу пластичности также, как типы пылеватых и глинистых грунтов.

Виды почв выделяются по трем признакам:

- по составу заполнителя так же, как виды крупнообломочных грунтов (применительно к щебенистым и дресвяным почвам);

- по плотности сложения так же, как виды песчаных грунтов (применительно к песчаным почвам);
- по наличию включений частиц крупнее 2 мм так же, как виды пылеватых и глинистых грунтов (применительно к пылеватым и глинистым почвам).

Разновидности почв выделяются по признакам, которые можно условно объединить в две группы:

- по значению водородного показателя pH:
  - кислые – менее 7;
  - нейтральные – 7;
  - щелочные – более 7;
- по степени влажности, консистенции, относительной просадочности, относительному набуханию, степени засоленности, температуре грунта и степени цементации льдом – так же, как разновидности крупнообломочных, песчаных, пылеватых и глинистых и торфянистых грунтов.

### **3.4. Искусственные грунты**

*Искусственные грунты* – это грунты природного происхождения, закрепленные и уплотненные различными методами, насыпные и намывные грунты, а также твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека. Поэтому искусственные грунты включены и в класс скальных, и в класс нескальных грунтов. Базовое классифицированное подразделение искусственных грунтов на группы, подгруппы и типы – в табл. 13.

*Виды искусственных скальных грунтов* выделяются по способу преобразования естественных грунтов в природном залегании. Поскольку для искусственного формирования жестких структурных связей в разных исходных грунтах требуются различные способы их преобразования, то все виды искусственных скальных грунтов выделяются дифференцированно в зависимости от типа исходных грунтов:

- скальные – закрепленные цементными растворами, жидким силикатом, глинисто-силикатными растворами, расплавленными битумами и т.п.;
- крупнообломочные нескальные – закрепленные цементными и песчано-цементными растворами, расплавленным битумом, способом замораживания и т.п.;
- песчаные несцементированные – закрепленные цементом, известью, жидким силикатом, карбамидными смолами, способом замораживания и т.п.;

- пылеватые и глинистые несцементированные – закрепленные известью, золами, жидким силикатом, способами термической обработки, замораживания и т.п.

Таблица 13

**Группы и подгруппы и типы искусственных грунтов**

Группа	Подгруппа	Типы грунтов
Искусственные скальные	Преобразованные	Магматические, метаморфические и осадочные цементированные (трещиноватые)
		Крупнообломочные несцементированные
		Песчаные несцементированные
		Пылеватые и глинистые
Искусственные нескальные	Уплотненные	Песчаные
		Пылеватые и глинистые, биогенные грунты и почвы
	Насыпные	Крупнообломочные, песчаные, пылеватые глинистые, заторфованные грунты, торфы. Отходы производства (шлаки, золы, формовочная земля и др.), строительные и твердые бытовые отходы
		Намывные

*Виды искусственных нескальных грунтов* выделяются по дифференцированным признакам применительно к указанным в табл. 13 подгруппам и типам. Виды грунтов, уплотненных в природном залегании, выделяются по способам их преобразования:

- для типов песчаных грунтов – уплотненные методами трамбования, укатки, осушения, оттаивания, кальматации, камуфлетных взрывов, глубинного виброуплотнения и т.п.;
- для типов пылеватых и глинистых, биогенных грунтов и почв – уплотненные с использованием электроосмоса, поверхностно-активных веществ, методами трамбования, укатки, камуфлетных взрывов, оттаивания, осушения песчаными дренами в совокупности с пригрузкой и т.п.

*Виды насыпных и намывных грунтов* выделяются по степени уплотнения от собственного веса:

- слежавшиеся – процесс уплотнения закончился;
- неслежавшиеся – процесс уплотнения продолжается.

*Разновидности искусственных скальных грунтов* выделяются по пределу прочности на одноосное сжатие (после закрепления) в водонасыщен-

ном состоянии  $R_c$  и по температуре (и содержанию льда также, как разновидности магматических, метаморфических и осадочных сцементированных грунтов). Разновидности искусственных нескальных грунтов выделяются по показателям, устанавливаемым техническими заданиями на производство работ.

## 4. ЗАЛЕГАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

### 4.1. Элементы, формы и сочетание слоев осадочных пород

Главным признаком осадочных пород является слоистость, которая образуется в процессе периодического накопления осадков и представляет собой последовательное чередование различных горных пород в виде слоев.

В составе слоя может быть *микрослоистость*, отражающая зависимость осадконакопления от смены времен года на суше. Микрослоистость характерна для озерных пород, встречается среди речных и иногда морских отложений. При резком различии слоев по их составу, например, известняка и песка, слои называют *пластами*. В этих случаях слои обычно ограничены с двух сторон четко выраженными поверхностями, которые принято называть *плоскостями напластования*.

К элементам слоя (рис. 6) относят плоскости напластования, из которых верхняя называется кровлей, нижняя – подошвой. Расстояние между кровлей и подошвой называют мощностью слоя (пласта).

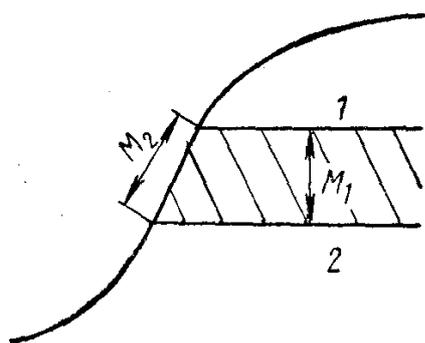


Рис. 6. Элементы слоя:

1 – кровля; 2 – подошва;

$M_1$  – истинная и  $M_2$  – кажущаяся мощности

Для того чтобы при осмотре естественных обнажений не допускать ошибок, различают мощность истинную и кажущуюся. Истинная – представляет собой кратчайшее расстояние между кровлей и подошвой слоя, а кажущаяся – наблюдаемая непосредственно в обнажении.

Мощность пластов бывает разнообразной и определяется интенсивностью и длительностью процесса осадконакопления. Наибольшей мощно-

стью обладают морские отложения (десятки и сотни метров). Континентальные отложения четвертичной системы, залегающие непосредственно под почвенным слоем и перекрывающие коренные морские породы дочетвертичного возраста, обладают, как правило, относительно небольшой мощностью – порядка 10 – 50 м.

Условия осадконакопления весьма разнообразны. Осадки накапливаются в морях, озерах, в процессе деятельности рек и т.д. Это обуславливает образование слоев различной формы в плане и по вертикали (рис. 7). *Нормальными* называют слои большой мощности и протяженности. Кровля у них параллельна подошве.

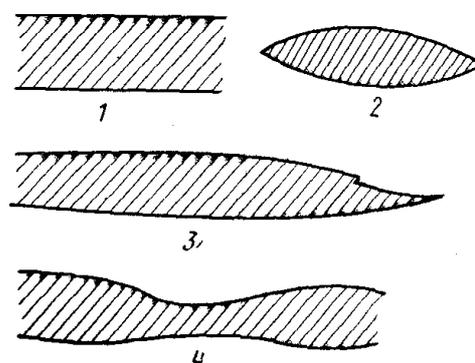


Рис. 7. Форма слоев осадочных пород:  
1 – нормальный слой; 2 – линза; 3 – слой с выклиниванием; 4 – слой с пережимом

Для *линз* характерно резкое падение мощности от центра к периферии на сравнительно небольшой площади. Часто встречаются слои с *выклиниванием*, *пережимами*, в виде *пропластков*, которым свойственна небольшая мощность, но большая протяженность, и *прослоев*, имеющих ограниченное распространение и небольшую мощность.

С инженерно-геологической точки зрения наряду с изменяемостью по вертикали и мощностью пластов большое значение имеет их протяженность, т.е. распространение пластов по площади.

Наибольшую протяженность пластов, измеряемую иногда сотнями километров, имеют осадки морского происхождения. Граница распространения этих осадков определяется очертанием морского бассейна, в котором они отлагались. Пласты континентальных отложений, образовавшихся на суше (в том числе и в водотоках), обычно быстро выклиниваются, сменяются отложениями другого вида. Исключение составляют лессовые отложения, занимающие огромные площади в пустынях и засушливых степях.

Группу слоев (пластов) различной мощности, объединяемых сходством состава или возрастом, называют *толщей*. Кроме того, по характеру залегания слоев относительно друг друга выделяют залегания: согласное и несогласное (рис. 8). В первом случае слои располагаются параллельно друг другу. При несогласном залегании вся толща пород разделяется на две час-

ти: нижнюю и верхнюю. В пределах каждой части породы залегают согласно. Между собой они залегают несогласно, т.к. слои верхней части не параллельны слоям нижней. Причины несогласного залегания слоев кроются в геологической истории данной территории. Между верхней и нижней частью толщи был перерыв в осадконакоплении. Нижняя часть подвергалась воздействию тектонических процессов. Верхние слои отложились позже и сохраняют первоначальное залегание.

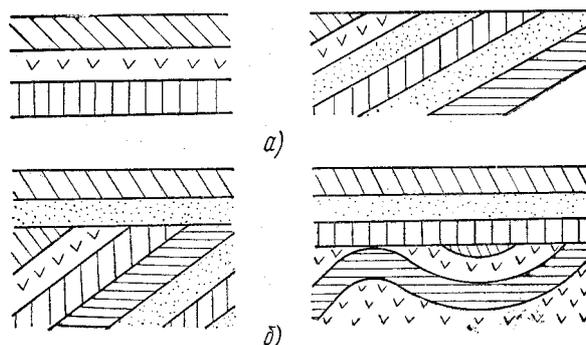


Рис. 8. Сочетание слоев:  
а – согласное; б – несогласное

#### 4.2. Формы нарушенного залегания осадочных пород

Осадочные породы первоначально залегают горизонтально или почти горизонтально. Это положение сохраняется даже при колебательных движениях земной коры. Так сейчас залегают, например, осадочные породы на равнинах европейской части СНГ.

Тектонические движения выводят пласты из горизонтального, положения, нарушают их первоначальное залегание. Возникают дислокации. Дислокации в зависимости от вида тектонических движений разделяют на складчатые и разрывные.

**Складчатые дислокации.** Все формы дислокаций образуются без разрыва сплошности слоев (пластов). Это является их характерной особенностью.

К складчатым дислокациям относятся моноклираль, складка и флексура.

*Моноклираль* является самой простой формой нарушения первоначального залегания пород и выражается в общем наклоне слоев по отношению к горизонту. Различают слои слабонаклоненные ( $0 - 16^\circ$ ), полого наклоненные ( $16 - 31^\circ$ ), сильно наклоненные ( $31 - 76^\circ$ ), крутые ( $76 - 81^\circ$ ) и оставленные на голову ( $81 - 90^\circ$ ).

Складка представляет собой один сплошной перегиб слоев, возникающий в результате воздействия на породы тангенциальных тектонических сил. Выделяют два главных типа: антиклиналь – складка, обращенная своей вершиной вверх, и синклинали – вершина, обращенная вниз (рис. 9). Бока складок называют крыльями, а вершину – замком. В антиклиналях замок получил наименование седла, а в синклиналях – мульды. Выделяют также ось складки.

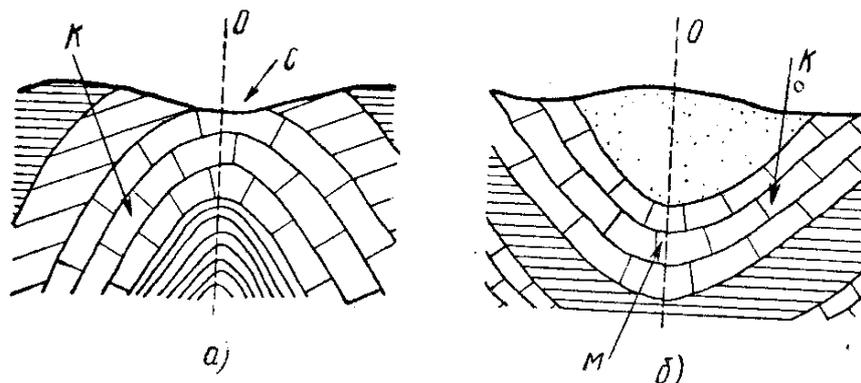


Рис. 9. Складки и их элементы:  
*a* – антиклиналь; *б* – синклинали;  
*K* – крыло; *O* – ось складки; *C* – седло; *M* – мульда

В зависимости от формы и угла наклона крыльев и положения осевой плоскости складки делят на прямые, косые, лежачие, опрокинутые, а также веерообразные, сундучные и т.д. (рис. 10).

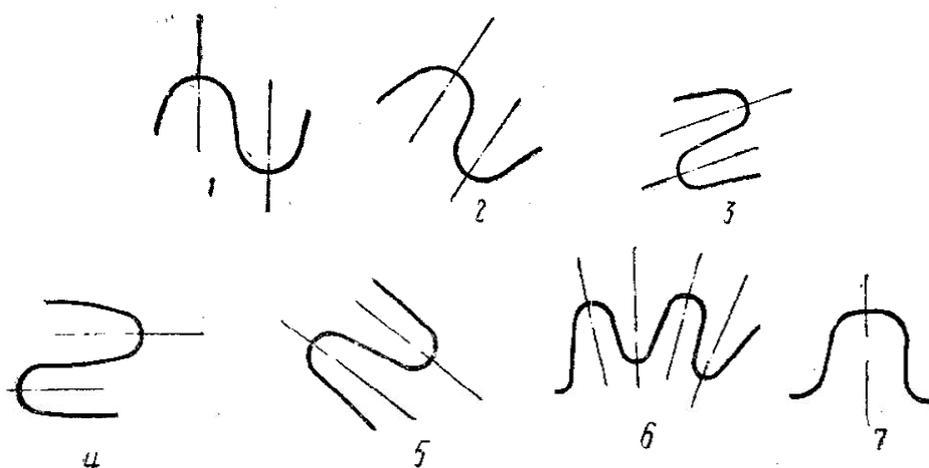


Рис. 10. Формы складок:  
 1 – прямая; 2, 3 – наклонная; 4 – лежачая; 5 – опрокинутая;  
 6 – веерообразная; 7 – сундучная

*Флексура* представляет собой коленоподобную складку, образовавшуюся при смещении одной части толщи пород относительно другой без разрыва сплошности (рис. 11).

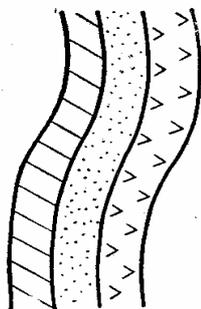


Рис.11. Флексура

При оценке строительных площадок со складчатыми дислокациями следует помнить, что породы в вершинах складок всегда трещиноваты, а иногда даже раздроблены.

**Разрывные дислокации.** Возникают в результате интенсивных тектонических движений, которые приводят к разрыву сплошности пород и смещению разорванных частей слоев относительно друг друга.

Смещение происходит по плоскости разрыва, которая проявляется в виде трещин. Величина амплитуды смещения бывает различной – от сантиметров до километров (при ширине трещин – от сантиметров до метров). Трещины почти всегда оказываются заполненными обломками разрушения горных пород.

К разрывным дислокациям относят сбросы и взбросы, горсты и грабены, сдвиги и надвиги.

*Сброс* образуется в результате опускания одной части толщи пород относительно другой (рис. 12). Если при разрыве происходит поднятие, то образуется *взброс*. Иногда на одном участке образуется серия разрывов, следующих друг за другом. В этом случае возникают ступенчатые сбросы (или взбросы).

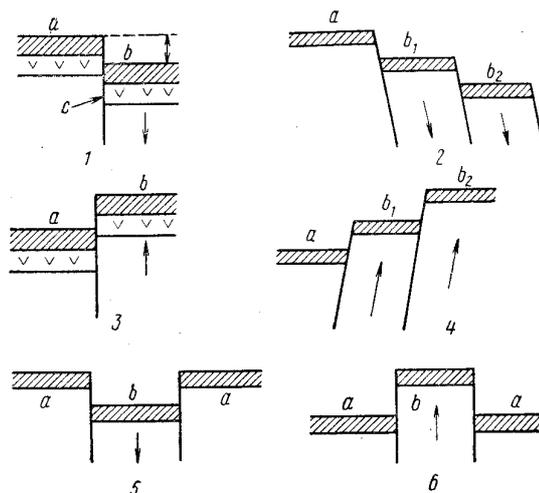


Рис. 12. Формы разрывных дислокаций, образованных вертикальными перемещениями пластов: 1 – сброс; 2 – ступенчатый сброс; 3 – взброс; 4 – ступенчатый взброс; 5 – грабен; 6 – горст; *a* – неподвижная часть толщи; *b* – смещенная часть; *c* – плоскость разрыва

*Грабен* возникает, когда участок земной коры опускается между двумя крупными разрывами (см. рис. 12). Таким путем образовались Байкал и впадина, где располагается Красное море.

*Горст* – форма, обратная грабену (см. рис. 12).

*Сдвиг* и *надвиг* в отличие от предыдущих форм разрывных дислокаций возникают при смещениях толщ пород в горизонтальной (сдвиг) и по сравнительно наклонной (надвиг) плоскости (рис. 13, 14). В результате надвига молодые отложения могут быть перекрыты породами более древнего возраста.

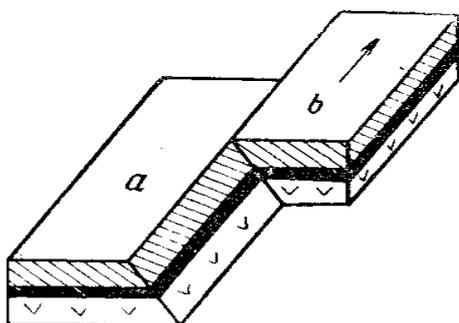


Рис 13. Блок-диаграмма сдвига

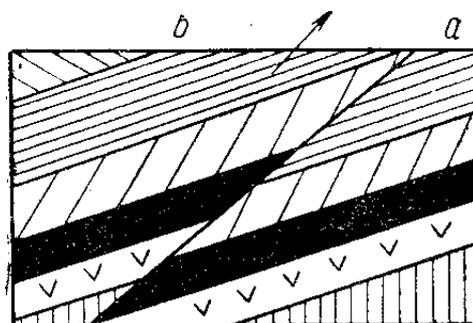


Рис. 14. Схема надвига

### 4.3. Определение положения слоя (пласта) в пространстве

При изучении геологии строительных площадок необходимо установить пространственное положение слоев и отразить это на геологических картах.

Пространственное положение слоя определяется элементами залегания – азимутами простираения и падения слоя и углом падения.

Простираение показывает протяженность слоя по отношению сторон света и характеризуется линией простираения, которая образуется пересечением поверхности слоя с горизонтальной плоскостью.

Угол падения ( $\alpha$ ) характеризует наклон слоя по отношению к горизонтальной поверхности. Его величина лежит в пределах от 0 до 90°. Для его определения используют линию падения, которая проводится на поверхности слоя в сторону его падения и перпендикулярно линии простираения.

Для определения элементов залегания слоев применяют специальный горный компас. С его помощью определяют угол падения и азимуты линии простираения и линии падения, которые отличаются друг от друга ровно на 90° (рис. 15).

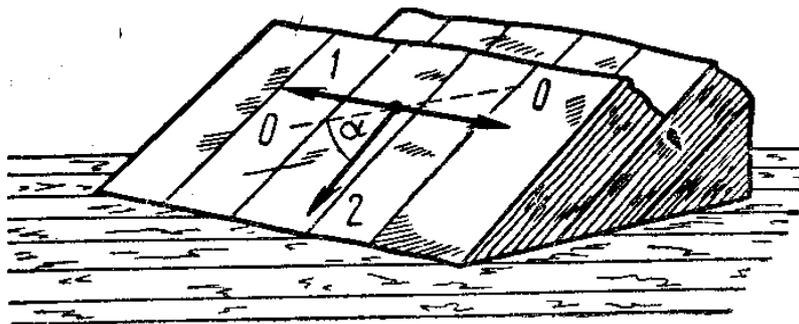


Рис. 15. Элементы залегания слоя:  
 1 – линия простирания; 2 – линия падения;  
 0-0 – горизонтальная линия;  $\alpha$  – угол падения слоя

Конечные замеры элементов залегания какого-то слоя могут иметь такой вид: СВ  $50^\circ$ ,  $\alpha$   $25^\circ$ . По этой записи можно видеть, что слой имеет падение на северо-восток и его плоскость напластования располагается по отношению к горизонтальной плоскости под углом в  $25^\circ$ . Чтобы узнать азимут простирания, достаточно прибавить или отнять  $90^\circ$ .

На геологических картах элементы залегания обозначают стрелками, а угол падения – в цифровом выражении.

Элементы залегания слоя вместе с абсолютными (или относительными) отметками его кровли и подошвы в какой-то точке дают исчерпывающую характеристику положения слоя в пространстве. Абсолютные отметки кровли и подошвы определяют с помощью буровых скважин. Наиболее просто это при горизонтальном залегании слоев, когда угол падения слоя равен  $0^\circ$ .

При этом достаточно произвести замеры отметок в одной точке (рис. 16).

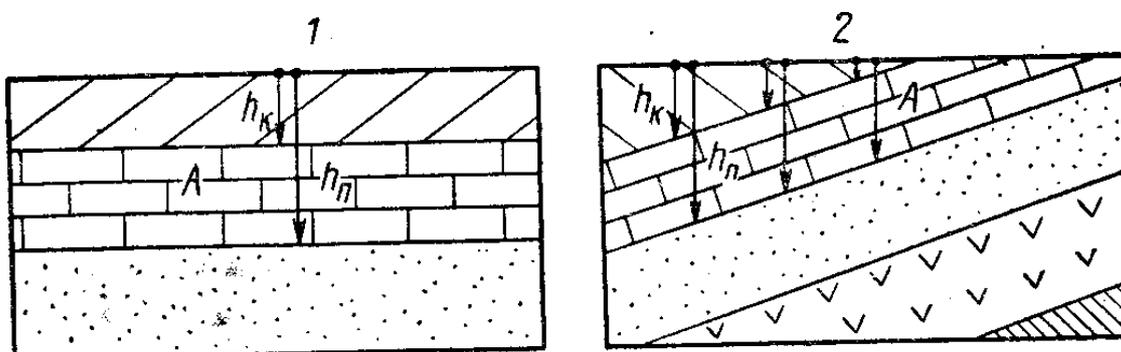


Рис. 16. Определение глубины залегания слоев: 1 – при горизонтальном залегании; 2 – при наклонном залегании;  $h_k$  – глубина залегания кровли слоя  $A$  и  $h_n$  – глубина залегания его подошвы

При наклонных слоях положение плоскостей напластования (кровли и подошвы) можно определить лишь с помощью серии буровых скважин.

Определение положения слоев в пространстве позволяет решить вопросы глубины, мощности и характера их залегания, дает возможность выбрать слои в качестве основания зданий и сооружений, оценить запасы полезных ископаемых в месторождениях строительных материалов и т.д.

#### 4.4. Значение данных о залегании горных пород

С инженерно-геологической точки зрения наиболее благоприятным является горизонтальное залегание слоев, большая их мощность, однородность состава (рис. 17). В этом случае фундаменты зданий и сооружений располагаются в однородной грунтовой среде, создается предпосылка для равномерной сжимаемости пластов под весом сооружения. В таких условиях сооружения получают наибольшую устойчивость.

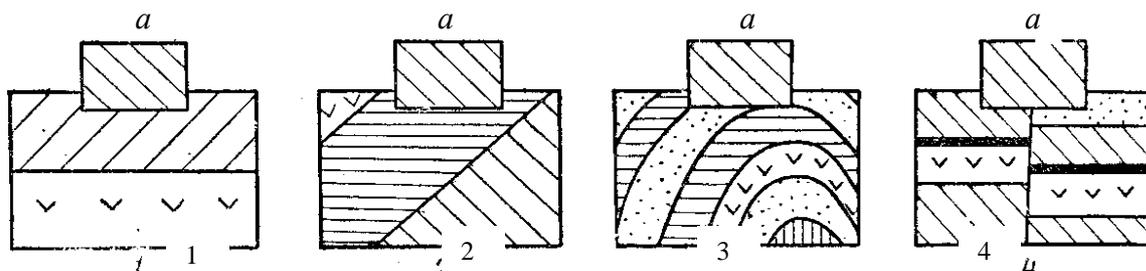


Рис. 17. Размещение здания (*a*) на строительных площадках различного геологического строения: 1 и 2 – благоприятные участки; 3 – малоблагоприятные; 4 – неблагоприятные

Наличие дислокаций резко изменяет и усложняет инженерно-геологические условия строительных площадок – нарушается однородность грунтов оснований сооружений, образуются зоны дробления, снижается прочность пород, по трещинам разрывов периодически происходят смещения, циркулируют подземные воды. Пласты приобретают наклонное положение.

Крутизна падения пластов имеет большое инженерно-геологическое значение. При крутом падении пластов разные части сооружения могут располагаться на различных породах. Это может вызвать неравномерную сжимаемость пластов и деформацию самого сооружения вследствие неравномерной осадки различных его частей.

Сооружение может оказаться в неблагоприятных условиях при сложном характере складок и малых их размерах. При достаточно крутом паде-

нии пластов, в состав которых входят те или иные виды глинистых пород, на склонах нередко возникают оползневые явления.

Складчатые дислокации нередко сопровождаются сбросами и надвигами. При наличии сброса или надвига большой протяженности следует выбирать место для сооружения в удалении от линии разлома. Ставить сооружение, перекрывая линию разлома, нежелательно.

При инженерно-геологической оценке строительных площадок, имеющих тектонические нарушения, необходимо учитывать историю формирования всего горного района.

## 5. СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

### 5.1. Общие сведения

Сейсмические (от греч. – *сотрясение*) явления проявляются в виде упругих колебаний земной коры. Это грозное явление природы типично районам геосинклиналей, где активно действуют современные горообразовательные процессы.

Сейсмические сотрясения земли происходят почти непрерывно. Специальные приборы регистрируют в течение года более 100 тысяч землетрясений, но из них всего около 100 приводит к разрушительным последствиям и отдельные – к катастрофам с гибелью людей, массовыми разрушениями зданий и сооружений.

Землетрясения возникают также в процессе извержения *вулканов* (Камчатка), возникновении *провалов* в связи с обрушением горных пород в крупные подземные пещеры, узкие глубокие долины, а также в результате мощных *взрывов*, производимых, например, в строительных целях. Разрушительное действие таких землетрясений (денудационных) невелико и они имеют местное значение, а наиболее разрушительными являются *тектонические сейсмические явления*, захватывающие, как правило, большие площади.

В ночь с 29 февраля на 1 марта 1960 г. в марокканском городе Агадир произошло землетрясение силой в 8 баллов, длившееся 4 секунды, в результате были разрушены целые кварталы, похоронив под обломками тысячи людей.

История знает и еще более катастрофические землетрясения, когда погибали десятки тысяч людей и разрушались целые города или их большая часть (г. Лиссабон – 1755 г., г. Токио – 1923 г., г. Сан-Франциско – 1906 г., Чили и Сицилия – 1968 г. и т.д.).

Исключительное по силе катастрофическое землетрясение произошло 4 декабря 1956 г. в МНР, смежных районах СНГ и Китая. Это землетрясение сопровождалось огромными разрушениями. Один из горных пиков раскололся пополам. Часть горы высотой в 400 м обрушилась в ущелье. Образовалась сбросовая впадина длиной до 18 км и шириной 800 м. На поверхности земли появились трещины шириной до 20 м. Главная из этих трещин протянулась на 250 км. Сила землетрясения достигла приблизительно 11 баллов.

В СНГ землетрясения неоднократно возникали в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии, Прибайкалье и в других районах. Наиболее разрушительные последствия вызвали землетрясения, которые произошли в октябре 1948 г. в районе Ашхабада и в апреле 1966 г. в Ташкенте.

Землетрясение в Ташкенте произошло в связи с подвижкой горных пород по разлому в земной коре на глубине около 8 км. Сила землетрясения составила 9 баллов. Больше всего разрушилось зданий, возведенных на лесовых грунтах вблизи многочисленных каналов и в местах неглубокого залегания уровня грунтовых вод. Меньше пострадали здания, возведенные на галечниках. Около трети всех зданий, построенных из кирпича-сырца, были полностью разрушены. Достаточно хорошо сохранились здания, построенные с учетом норм сейсмического строительства. Сейсмические толчки продолжались в течение мая месяца (4 – 7 баллов) и в течение почти всего года (4 – 5 баллов).

Тектонические сейсмические явления возникают как на дне океанов, так и на суше. В связи с этим различают моретрясения (цунами) и землетрясения.

## **5. 2. Моретрясения (цунами)**

Моретрясения возникают в глубоких океанических впадинах Тихого, реже Индийского и Атлантического океанов. Быстрые поднятия и опускания дна океанов вызывают смещение крупных масс горных пород и порождают на поверхности океана огромные волны, высотой до 15 – 20 м, которые именуется японским словом *цунами*.

Цунами перемещаются на расстояния в сотни и тысячи километров со скоростью 500 – 800 и даже более 1 000 км/ч. По мере уменьшения глубины моря крутизна волн резко возрастает, и они со страшной силой обрушиваются на берега, вызывая разрушение сооружений и гибель людей. При землетрясении 1896 г. в Японии были отмечены волны высотой 30 м. В результате удара о берег они разрушили 10 500 домов, погибло более 27 тыс. человек.

От цунами чаще всего страдают Японские, Индонезийские, Филиппинские и Гавайские острова, а также тихоокеанское побережье Южной Америки. В СНГ это явление наблюдается на восточных берегах Камчатки и Курильских островах. Цунами возникают сравнительно редко. За 200 лет на побережье Камчатки и Курильских островов наблюдалось всего 14 цунами, из которых четыре были катастрофическими.

В СНГ на побережье Тихого океана созданы специальные службы наблюдения, которые оповещают о приближении цунами. Это позволяет вовремя предупредить и укрыть людей от опасности. Для борьбы с цунами возводят инженерные сооружения в виде защитных насыпей, железобетонных молв, волноотбойных стенок, создают искусственные отмели. Здания размещают на высокой части рельефа. В Японии, например, вдоль берега располагают лесополосы, в задачу которых входит снижение силы волны.

### 5.3. Землетрясения

Очаг зарождения сейсмических волн называется гипоцентром (рис. 18). По глубине залегания гипоцентра различают землетрясения: *поверхностные* – от 1 до 10 км глубины, *коровые* – 30 – 50 км и *глубокие* (или *плутонические*) – от 100 – 300 до 700 км. Последние находятся уже в мантии земли и связаны с движениями, происходящими в глубинных зонах планеты. Такие землетрясения наблюдались на Дальнем Востоке, в Испании и Афганистане.

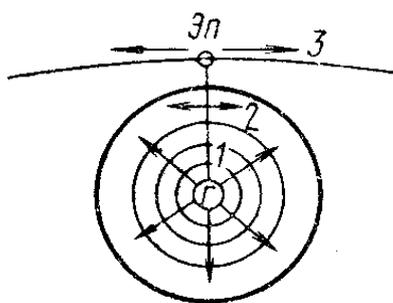


Рис. 18. Гипоцентр (Г), эпицентр (Эп) и сейсмические волны:

1 – продольные; 2 – поперечные; 3 – поверхностные

Наиболее разрушительными являются поверхностные коровые землетрясения.

Непосредственно над гипоцентром на поверхности земли располагается эпицентр. На этом участке сотрясение поверхности происходит в первую очередь и с наибольшей силой.

От гипоцентра во все стороны расходятся сейсмические волны, по своей природе являющиеся упругими колебаниями. Различают два основных типа волн: *продольные* и *поперечные*. Продольные волны вызывают расши-

рение и сжатие пород в направлении их движения. Они распространяются во всех средах – твердых, жидких и газообразных. Скорость их зависит от вещества пород (табл. 14). Поперечные колебания перпендикулярны продольным, распространяются только в твердой среде и вызывают в породах деформации сдвига. Скорость поперечных волн примерно в 1,7 раза меньше, чем продольных.

На поверхности земли от эпицентра во все стороны расходятся волны особого рода – *поверхностные*, являющиеся по своей природе волнами тяжести (подобно морским валам). Скорость их распространения ниже, чем у поперечных, но они оказывают на сооружения не менее пагубное влияние.

Таблица 14

**Скорость распространения продольных ( $a_0$ ) и поперечных ( $b_0$ ) волн в различных породах и в воде, км/с**

Породы	$a_0$	$b_0$
Скальные (граниты, гнейсы, песчаники, известняки и др.)	1,5 – 5,6	0,9 – 3,6
Полускальные (гипсы, мергели, глинистые сланцы)	1,4 – 3,0	0,9 – 1,8
Крупнообломочные (галечники, гравий и др.)	1,1 – 2,1	0,5 – 1,1
Песчаные (пески разной крупности)	0,7 – 1,6	0,35 – 0,85
Глинистые (глины, суглинки, супеси)	0,5 – 1,5	0,35 – 0,8
Насыпные грунты и почвы	0,2 – 0,5	0,1 – 0,27
Мерзлые (песчано-глинистые)	1,0 – 2,5	0,5 – 1,25
Вода	1,43 – 1,48	–
Лед	2,0	1,0

Действие сейсмических волн или, иначе говоря, продолжительность землетрясений, обычно проявляется в течение нескольких секунд, реже минут. Так, например, длительность основного подземного толчка Ашхабадского землетрясения составила всего 8 – 10 сек. Иногда наблюдаются длительные землетрясения. Например, на Камчатке в 1923 г. землетрясение продолжалось с февраля по апрель месяц (195 толчков). В районе г. Алма-Аты, начиная с 1887 г., землетрясение продолжалось около трех лет и дало более чем 600 толчков.

#### 5.4. Оценка силы землетрясений

В настоящее время за землетрясениями ведутся постоянные наблюдения при помощи специальных приборов – сейсмографов, которые обеспечивают автоматическую запись колебаний земли в виде сейсмограмм. Инст-

рументальные измерения позволяют качественно и количественно оценить силу землетрясений.

Для оценки силы землетрясений в СНГ используется шкала, состоящая из 12 баллов. Каждому баллу отвечает определенная величина сейсмического ускорения  $a$ , мм/с<sup>2</sup>, вычисляемая по формуле

$$a = A \frac{4\pi^2}{T^2},$$

где  $A$  – амплитуда колебаний, мм;

$T$  – период колебаний сейсмической волны, с.

По величине  $a$  вычисляют коэффициент сейсмичности

$$K_S = a/g,$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, мм/с<sup>2</sup>.

Величина  $K_S$  необходима для расчета добавочной горизонтальной силы  $Q$  при оценке прочности сооружения

$$Q = PK_S,$$

где  $P$  – вес сооружения.

По предложению института физики Земли АН для математической оценки силы землетрясений стали использовать величину относительного упругого смещения  $X_0$ , мм, сферического маятника сейсмометра.

В табл. 15 приведена современная сейсмическая шкала, где каждому баллу соответствует определенная величина  $X_0$  и дана характеристика землетрясений. В целях сравнения приводятся также значения величин сейсмического ускорения  $a$ .

Во второй части этой таблицы показано влияние землетрясений на грунты, подземные и наземные воды.

По материалу здания подразделяют на три группы:  $A$  – одноэтажные дома со стенами из кирпича-сырца, самана и т.д.;  $B$  – здания каменные и  $B$  – здания деревянные.

Повреждения и разрушения оценивают следующими понятиями.

*Легкие повреждения* – тонкие трещины в штукатурке, кладке печей и т.д.

*Значительные повреждения* – от штукатурки откалываются куски, тонкие трещины в стенах, повреждения дымовых труб, печей и т.д.

*Разрушения* – большие трещины в стенах, расслоения каменной кладки, обрушение отдельных участков стен, падение карнизов и парапетов, падение дымовых труб и т.д.

*Обвалы* – обрушение стен, перекрытий и т.п.

Не пригодны для строительства участки, расположенные вблизи тектонических разрывов (сбросов, сдвигов и т.д.). Не рекомендуется возводить

здания на тех участках, где подошва фундамента может достигнуть уровня подземных вод, т.к. при 7 баллах и выше здесь возникает гидростатический удар большой силы, способной разрушить сооружение.

Таблица 15

**Сейсмическая шкала**

Балл	Название землетрясений	$X_0$ , мм	$a$ , мм/с <sup>2</sup>	Характеристика землетрясений
1	Незаметное	–	–	Колебания почвы отмечаются высокочувствительными приборами
2	Очень слабое	–	–	В отдельных случаях колебания ощущаются людьми, находящимися в спокойном состоянии
3	Слабое	–	–	Колебания отмечаются немногими людьми
4	Умеренное	< 0,5	< 100	Землетрясение отмечается многими людьми. Возможно колебание окон, дверей
5	Довольно сильное	0,5 – 1,0	100 – 250	Качание висячих предметов, скрип полов, дребезжание стекол, осыпание побелки
6	Сильное	1,1 – 2,0	250 – 500	Легкие повреждения в зданиях; тонкие трещины в штукатурке, трещины в печках и т.д.
7	Очень сильное	2,1 – 4,0	500 – 1 000	Значительные повреждения в зданиях: тонкие трещины в штукатурке и откалывание; отдельных кусков, тонкие трещины в стенах
8	Разрушительное	4,1 – 8,0	1 000 – 2 000	В некоторых зданиях обрушение стен, перекрытий, кровли
9	Опустошительное	8,1 – 16	2 000 – 4 000	Разрушение в зданиях (большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб)
10	Уничтожающее	16,1 – 32	> 4 000	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах шириной 1 м
11	Катастрофа	> 32	–	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах
12	Сильная катастрофа	–	–	Значительные изменения в рельефе

**5.5. Строительство в сейсмических районах**

В районах, где землетрясение не превышает 5 баллов, строительство ведется без учета сейсмичности. При 6 баллах строительство проводят с по-

зиций повышенных требований к качеству строительных материалов и строительных работ.

На территориях, где сейсмичность превышает 7 баллов, проектирование и строительство выполняют в соответствии с положениями «Норм и правил строительства в сейсмических районах», утвержденных Госстроем СНГ.

В этих районах здания или сооружения стремятся разместить на равнинных участках, в местах, где основаниями могут быть массивные скальные породы или мощные толщи осадочных пород с глубоким залеганием уровня грунтовых вод.

Конструкции зданий и сооружений должны быть *антисейсмическими*, что достигается в основном за счет увеличения их жесткости, повышения устойчивости к сейсмическим воздействиям, особенно со стороны горизонтальной составляющей сейсмического удара.

Большое внимание уделяется конструкции и типу фундаментов зданий, поскольку они колеблются вместе с грунтом и являются «проводниками» сейсмических ударов. Большую опасность представляет явление резонанса, когда совпадают периоды колебаний здания и сейсмических волн. Это обычно вызывает полное разрушение зданий.

Антисейсмические мероприятия удорожают строительство, поэтому выбор мероприятий и оценка сейсмической опасности зависит от назначения здания и его долговечности. Наиболее сложных и дорогостоящих мероприятий требуют здания I категории (особо капитальные и т.д.), меньше – здания II и III категорий. Временные здания имеют расчетную сейсмичность в 6 баллов и антисейсмических мероприятий не требуют.

Особые требования в сейсмических районах предъявляют к планировке городов, высоте и форме зданий. Город должен иметь несколько больших площадей, где при землетрясениях могли бы собираться люди, укрываясь от возможных обрушений в зданиях. Необходимо предусматривать водоемы для тушения пожаров и снабжения жителей водой на случай выхода из строя водопроводной сети.

Большое практическое значение в инженерной сейсмологии имеет предсказание момента начала землетрясения и его силы. В этом направлении уже сделаны первые шаги, – например, установлено, что перед землетрясением происходят изменения наклонов поверхности земли, напряженности электрического и магнитного полей и т.д. Работа над этой проблемой продолжается, и можно надеяться, что она в дальнейшем будет решена.

## 6. ВУЛКАНИЗМ

### 6.1. Общие сведения

Большую роль в формировании земной коры играет магматизм, под которым понимают процессы возникновения магмы в глубинах литосферы и перемещения ее в верхние горизонты земной коры, к поверхности земли. Выделяют магматизм интрузивный, или глубинный, и эффузивный, или поверхностный вулканизм.

При интрузивном магматизме магма застывает в глубинах земной коры.

При эффузивном – прорывает всю земную кору и, извергаясь на поверхность, образует вулканы. Отсюда возникло название этого процесса – вулканизм.

*Вулканы* – это геологические образования в виде гор и возвышений конусовидной, овальной и других форм, возникшие в местах прорыва магмы на земную поверхность.

Вулканизм проявляется, в основном, в районах геосинклиналей. Наибольшее количество вулканов расположено вдоль побережий Азии и Америки, на островах Тихого и Индийского океанов. Вулканы имеются также на некоторых островах Атлантического океана (у побережья Америки), в Антарктиде и Африке, Европе (Италия и Исландия). Различают вулканы действующие и потухшие.

Действующими называют те вулканы, которые постоянно или периодически извергаются; потухшими – которые прекратили свое действие и об их извержениях нет данных. В ряде случаев потухшие вулканы снова возобновляют свою деятельность. Так было с Везувием, неожиданное извержение которого произошло в 79 г. н. э.

Число действующих вулканов на земном шаре насчитывается свыше 540, потухших – более 4 000. Из числа действующих 76 вулканов располагается на дне океанов и морей.

На территории СНГ вулканы известны на Камчатке и на Курильских островах. На Камчатке располагается до 129 вулканов, из них 28 действующих. Наибольшую известность получил вулкан Ключевская сопка (высота 4 850 м), извержение которого повторяется приблизительно через каждые 7 – 8 лет. Активно действуют вулканы Авачинский, Карымский, Безымянский. Отличаются значительной высотой потухшие вулканы – Кроноцкая и Лупанова сопки.

На Курильских островах известно 20 вулканов, из которых около половины действующих.

Крупные, но потухшие вулканы известны на Кавказе – Казбек, Эльбрус, Арарат. Казбек, например, еще действовал в начале четвертичного периода. Его лавы во многих местах покрывают район Военно-Грузинской дороги. В пределах Витимского нагорья располагаются потухшие вулканы имени И.В. Мушкетова и В.А. Обручева.

## 6.2. Характер извержения вулканов

Извержения вулканов происходят по-разному. Это в большой мере зависит от типа магмы, которая извергается. Кислая и средняя магмы, будучи очень вязкими, дают извержения с взрывами, выбросом камней, пепла и т.д. Излияние магмы основного типа обычно происходит спокойно, без взрывов.

По характеру извержения вулканы делят на следующие типы: кракатау, пелейский, гавайский и везувийский.

1. *Тип Кракатау.* Вулкан такого наименования располагается между островами Ява и Суматра. Извержение сопровождается мощными подземными толчками. Вулкан со взрывом выбрасывает колоссальное количество газов и обломков в виде пепла. Лаву вулкан не изливает.

Извержение этого вулкана в 1883 г. породило гигантские волны (цунами), достигшие высоты 35 м и обошедшие все океаны мира. Вулканический пепел был поднят на высоту 60 – 80 км и в течение трех лет постоянно носился в верхних слоях атмосферы. В момент извержения в 100 – 200 км от вулкана слой пепла на палубах кораблей достигал 1,5 м.

2. *Тип Пеле.* Эталон извержения этого типа может быть вулкан Мон-Пеле на о. Мартиника Мало-Антильского архипелага. Извержение начинается с подземных толчков, далее следует взрыв и выделение тяжелых раскаленных газовых масс с большим содержанием сернистых компонентов.

Извержение этого вулкана в 1902 г. выбросило на высоту 4 км пеплогазовую тучу с температурой до 800 °С. Со скоростью 150 м/сек туча скатилась по склону вулкана и в несколько минут уничтожила город Сен-Пьер с тридцатитысячным населением.

3. *Гавайский тип* вулканов весьма своеобразен. Это пологие возвышенности с большими, озероподобными кратерами (рис. 19), из которых спокойно, почти без толчков и взрывов, выливается лава и стекает по склонам. Так изливаются вулканы Килауэа, Мауна-Лоа и др.

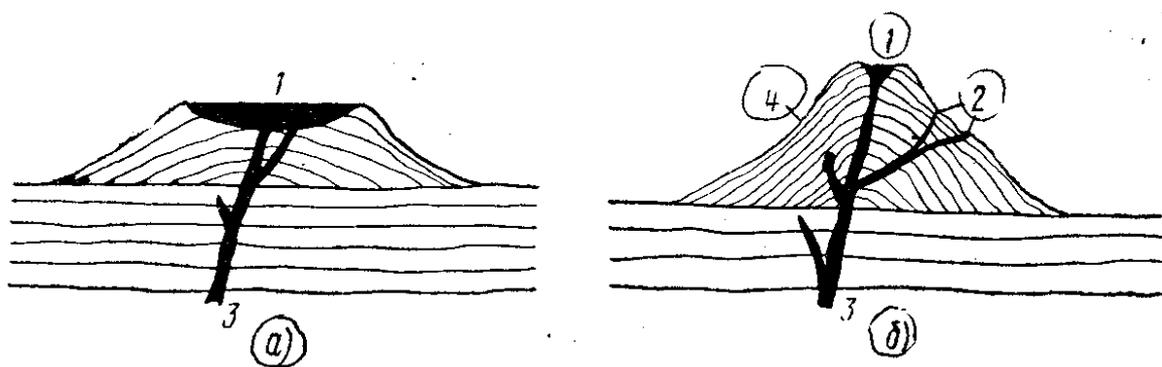


Рис. 19. Разрез вулканов:

*a* – гавайский тип; *б* – тип Везувия;

1 – кратер; 2 – побочные кратеры; 3 – жерло; 4 – вулканическая гора (конус)

4. *Тип Везувия.* Извержение этого типа характерно для Везувия и Этны, расположенных в районе Средиземного моря. Склоны этих вулканов крутые, сложены слоями остывшей лавы. Извержение этого типа начинается с подземных толчков, далее следуют многочисленные взрывы с выбросом больших масс тепла и водяных паров и уже после этого изливается раскаленная лава.

Следует отметить, что извержения типа Везувия наблюдаются у большинства ныне действующих вулканов на земном шаре. Так происходят извержения на Камчатке и Курильских островах.

Извержение Ключевской сопки в 1944 – 1945 гг. сопровождалось образованием над кратером раскаленного конуса высотой до 1 500 м, выбросом раскаленных газов и обломков пород. После этого произошло излияние лавы. Извержение сопровождалось землетрясением в 5 баллов.

Для извержения вулканов типа Везувия характерно выпадение обильных дождей за счет конденсации водяных паров. Возникают исключительные по силе и грандиозности грязевые потоки, которые, устремляясь вниз по склонам, приносят огромные разрушения и опустошения. Также может действовать вода, получившаяся в результате таяния снегов вулканических кратеров и склонов, и вода озер, расположенных на месте кратера.

Кроме вышеуказанных типов в отдельную группу выделяют грязевые вулканы, имеющие иную природу, чем магматические. Это невысокие конической формы холмы, из кратера которых время от времени выбрасываются газ, вода и грязь.

Высота грязевых вулканов колеблется от нескольких до сотен метров. Так, например, грязевой вулкан Лок-Ботан в Азербайджане имеет высоту 650 м; Горелое-Пекло на Таманском полуострове – 280 м.

Грязевые вулканы (грязевые сопки) широко распространены в области нефтяных месторождений Туркмении и Азербайджана (Апшеронский

полуостров), на Таманском и Керченском полуостровах, а также в Румынии, Италии и других странах.

В ряде случаев грязевые вулканы бывают приурочены к линиям разломов земной коры. Температура грязи таких вулканов значительно выше.

### 6.3. Продукты извержения вулканов

Строительство зданий и сооружений в вулканических районах имеет определенные трудности. Землетрясения обычно не достигают разрушительной силы, но продукты, выделяемые вулканом, могут пагубно сказаться на целостности зданий и сооружений и их устойчивости. Вулканы опасны для людей.

*Газообразные продукты* разнообразны – водород, кислород, углекислота, пары воды, газы, содержащие серу, хлор и т.д. Основная масса газов выделяется во время извержения. Многие газы, например, сернистые, опасны для людей. Конденсация паров воды вызывает катастрофические ливни и грязевые потоки.

Пар и горячая вода, выходящие на поверхность в вулканических районах, могут быть использованы для тепловых электростанций, обогрева квартир и иных целей. Примеры такого использования имеются на Камчатке, в Исландии и Италии.

*Жидкие продукты* – это лавы с температурой выше 1 000 °С. Стекая по поверхности конуса вулкана, лава образует потоки, ширина и длина которых зависят от уклона и рельефа местности. Известны случаи, когда длина лавового потока достигла 80 км (Исландия), а мощность – 10 – 50 м. Скорость течения основных лав составляет 30 км/ч, кислых 5 – 7 км/ч.

*Твердые продукты* – вулканические пеплы (пылеватые частицы), песок, лапилли (1 – 3 см в диаметре), бомбы (от сантиметров до нескольких метров). Все они представляют собой застывшую лаву и при извержении вулкана разлетаются на различные расстояния, засыпают поверхность земли многометровым слоем обломков, обрушивают кровли зданий весом скопившихся на них пеплов, разрушают здания.

## 7. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

### 7.1. Круговорот воды в природе и происхождение подземных вод

Воды, находящиеся в верхней части земной коры, носят название *подземных вод*. Наука о подземных водах, их происхождении, условиях залега-

ния, законах движения, физических и химических свойствах, связи с атмосферными и поверхностными водами называется *гидрогеологией*.

Для строителей подземные воды в одних случаях служат источником водоснабжения, а в других – выступают как фактор, затрудняющий строительство. Особенно сложным является производство земляных и горных работ в условиях притока подземных вод, затапливающих котлованы, карьеры, траншеи. Подземные воды ухудшают механические свойства рыхлых и глинистых пород, могут выступать в роли агрессивной среды по отношению к строительным материалам, вызывают растворение многих горных пород (гипс, известняк и др.) с образованием пустот и т.д.

Строители должны изучать подземные воды и использовать их в производственных целях, уметь бороться с ними при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Вода в условиях земной поверхности находится в постоянном движении. Испаряясь с поверхности морей, океанов и суши, она в парообразном состоянии поступает в атмосферу. При соответствующих условиях пары конденсируются и в виде атмосферных осадков (дождь, снег) возвращаются на поверхность Земли – в морские бассейны и на сушу. Происходит *круговорот* воды в природе. Схематично это показано на рис. 20, где *А* – малый круговорот (море – атмосфера – море), *Б* – большой круговорот (море – атмосфера – суша – море). При большом круговороте после выпадения на сушу вода возвращается в море в основном путем поверхностного стока (*а*) и частично путем подземного стока (*б*) в виде подземных вод.

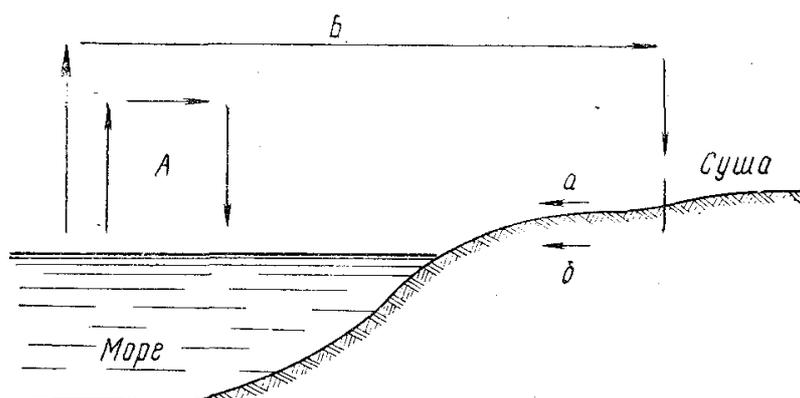


Рис. 20. Схема круговорота воды в природе

Подземные воды образуются преимущественно путем *инфильтрации*. Атмосферные осадки, речные и другие воды под действием силы тяжести просачиваются по крупным порам и трещинам пород. На глубине они встречают водоупорные слои. Вода задерживается и заполняет пустоты пород. Так создаются водоносные горизонты. Количество воды, инфильтрую-

щейся с поверхности, определяется действием многих факторов: характером рельефа, составом и фильтрующей способностью пород, климатом, растительным покровом, деятельностью человека и т.д.

По мере накопления фактов обнаружилось, что в ряде случаев *инфильтрационная теория* не в состоянии объяснить появление подземных вод. Например, в сухих пустынях, где количество осадков незначительно, вблизи поверхности возникают водоносные горизонты. Русский ученый А.Ф. Лебедев доказал, что в образовании подземных вод принимает участие также *конденсация* водяных паров, которые проникают в поры пород из атмосферы. Этот путь образования подземных вод хорошо прослеживается в рыхлых породах, которые служат основанием сооружений. Вследствие того, что эти породы имеют температуру ниже окружающих пород, в них происходит конденсация паров и формирование подвешенного горизонта подземной воды под фундаментом.

Воды земной коры постоянно в течение длительного геологического времени пополняются *ювенильными* водами, которые возникают в глубине земли за счет кислорода и водорода, выделяемых магмой. Прямой выход на поверхность Земли ювенильные воды в виде паров и горячих источников имеют при вулканической деятельности.

## 7.2. Водные свойства пород

Содержание и передвижение воды в горных породах возможно благодаря наличию в них различных пустот (пор, каверн, трещин), соединяющихся между собой. В скальных породах вода располагается, главным образом, в трещинах. Рыхлые и глинистые породы содержат воду в своих порах. В этих случаях взаимосвязь породы с водой зависит от величины пористости, размера и характера пор.

К водным свойствам пород относятся их влажность, влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость.

*Влажность пород* ( $W$ ) – отношение весового количества влаги к весу сухого образца породы

$$W = \frac{q_1}{q_2} \cdot 100\% ,$$

где  $q_1$  – вес влаги в породе, определяемой по разности веса образца влажного и высушенного при  $+105\text{ }^\circ\text{C}$ ;

$q_2$  – вес сухого образца.

Влажность породы нередко называют *естественной влажностью*, подчеркивая этим, что порода содержит воду, полученную в природных ус-

ловиях. Кроме того, различают *степень влажности* или относительную влажность пород ( $G$ ), которая показывает долю заполнения пор водой

$$g = \frac{W\gamma_{ск}}{n},$$

где  $W$  – влажность породы, выраженная в долях единицы, например, при 32 % в формуле записывают 0,32;

$\gamma_{ск}$  – объемный вес скелета породы;

$n$  – пористость, доли единицы.

При  $G \leq 0,5$  (менее 50 % пор заполнено водой) породы относят к маловлажным, при 0,5 – 0,8 – к влажным и при 0,8 – 1,0 – к насыщенным водой. Для сухого песка  $G = 0$ , в сухих на вид глинах  $G = 0,3 - 0,4$ , так как вода сохраняется в закрытых порах.

*Влагоемкость* – способность породы вмещать и удерживать в себе воду. В том случае, когда все поры заполнены водой, порода будет находиться в состоянии полного насыщения. Влажность, отвечающая этому состоянию, называется *полной влагоемкостью* ( $W_{н.в.}$ )

$$W_{н.в.} = \frac{n}{\gamma_{ск}},$$

где  $n$  – пористость;

$\gamma_{ск}$  – объемный вес скелета породы.

Наибольшее значение  $W_{н.в.}$  совпадает с величиной пористости породы. По степени влагоемкости породы подразделяют на *весьма влагоемкие* (торф, суглинки, глины), *слабо влагоемкие* (мергель, мел, рыхлые песчаники, мелкие пески, лёсс) и *невлагоемкие*, не удерживающие в себе воду (галечник, гравий, песок).

*Водоотдача* ( $W_B$ ) – способность пород, насыщенных водой, отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. При этом считают, что физически связанная вода из пор породы не вытекает, поэтому принимают

$$W_B = W_{н.в.} - W_{М.М.В.},$$

где  $W_{М.М.В.}$  – максимальная молекулярная влагоемкость, т.е. вода, удерживаемая молекулярными силами после того, как гравитационная (свободная) вода стечет.

Величина водоотдачи может быть выражена процентным отношением объема свободно вытекающей из породы воды к объему породы или количеством воды, вытекающей из 1 м<sup>2</sup> породы (удельная водоотдача).

Наибольшей водоотдачей обладают крупнообломочные породы, а также пески и супеси, в которых величина  $W_B$  колеблется от 25 до 43 %. Эти

породы под влиянием силы тяжести способны отдавать почти всю имеющуюся в их порах воду. В глинах водоотдача близка к нулю.

*Водопроницаемость* – способность пород пропускать гравитационную воду через поры (рыхлые породы) и трещины (плотные породы). Чем больше размер пор или чем крупнее трещины, тем выше водопроницаемость пород. Не всякая порода, которой присуща пористость, способна пропускать воду, например, глина с пористостью 50 – 60 % воду практически не пропускает.

Водопроницаемость пород (или их фильтрационные свойства) характеризуется *коэффициентом фильтрации*  $K_f$ , представляющим собой скорость движения подземной воды при гидравлическом градиенте, равном единице, см/сек, м/ч или м/сут.

По величине  $K_f$  породы разделяют на три группы:

- водопроницаемые –  $K_f$  больше 1 м/сут (галечники, гравий, песок, трещиноватые породы);
- полупроницаемые –  $K_f$  от 1 до 0,001 м/сут (глинистые пески, лёсс, торф, рыхлые разности песчаников, реже пористые известняки, мергели);
- непроницаемые –  $K_f$  меньше 0,001 м/сут (массивные породы, глины).

Непроницаемые породы принято называть *водоупорами*, а полупроницаемые и водопроницаемые – единым термином *водопроницаемые*.

В фильтрации может принимать участие вода в связанном состоянии. Так, например, в глинах ее приводят в состояние движения увеличением разности напоров (градиента фильтрации), действием электро- и термосмотических сил.

### **7.3. Физические свойства и химический состав подземных вод**

**Физические свойства.** Основными физическими свойствами природных вод являются: температура, цвет, прозрачность, вкус и запах.

Температура подземных вод колеблется в широких пределах, но чаще всего плюс 7 – 11°. Химически чистая вода бесцветна. Окраску воде придают механические примеси (желтоватая, изумрудная и т.д.). Прозрачность воды зависит от цвета и наличия мути. Вкус связан с составом растворенных веществ: соленый – от хлористого натрия, горький – от сульфата магния и т.д. Запах зависит от наличия газов биохимического происхождения (сероводород и др.) или гниющих органических веществ.

**Химический состав подземных вод.** Все подземные воды всегда содержат в растворенном состоянии большее или меньшее количество солей, газов, а также органических соединений.

Растворенные в воде газы (O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S и др.) придают воде определенный вкус и свойства. Количество и тип газов обуславливает степень пригодности воды для питьевых и технических целей. Подземные воды у поверхности земли нередко загрязнены органическими примесями (различные болезнетворные бактерии, органические соединения, поступающие из канализационных систем, и т.д.). Такая вода имеет неприятный вкус и опасна для здоровья людей.

Вода для питьевых целей должна быть бесцветной, прозрачной, не имеющей запаха, приятной на вкус. Количество растворенных солей не должно превышать 1 г/л. Не допускается содержание вредных для здоровья человека химических элементов (уран, мышьяк и др.) и болезнетворных бактерий. Последнее в известной мере может быть нейтрализовано обработкой воды ультразвуком, хлорированием и кипячением. Органические примеси устанавливаются бактериологическим анализом.

**Соли.** В подземных водах наибольшее распространение имеют хлориды, сульфаты и карбонаты. По общему содержанию растворенных солей подземные воды разделяют на пресные (до 1 г/л растворенных солей), солоноватые (от 1 до 10 г/л), соленые (10 – 50 г/л) и рассолы (более 50 г/л). Количество и состав солей устанавливается химическим анализом. Полученные результаты выражают в виде состава катионов и анионов, мг/л или мг-экв/л.

Присутствие солей придает воде такие свойства, как *жесткость* и *агрессивность*.

Жесткость обуславливается значительным количеством растворенных в воде солей кальция и магния. Такая вода дает большую накипь в паровых котлах, плохо мылится и т.д. В настоящее время в СНГ жесткость принято выражать количеством миллиграмм-эквивалентов кальция и магния, 1 мг-экв жесткости соответствует содержанию в 1 л воды 20,04 мг иона кальция или 12,6 мг иона магния. В других странах жесткость измеряют в градусах (1 мг-экв = 2,8°). По жесткости воду разделяют на мягкую (менее 3 мг-экв или 8,4°), средней жесткости (3 – 6 мг-экв или 8,4 – 16,8°), жесткую (6 – 9 мг-экв или 16,8 – 25,2°) и очень жесткую (более 9 мг-экв или 25,2°). Наилучшим качеством обладает вода с жесткостью не более 7 мг-экв/л.

Жесткость бывает *временной* и *постоянной*. Временная жесткость обусловлена присутствием бикарбонатов и может быть устранена кипячением. Постоянная жесткость, обусловленная серноокислыми и хлористыми

солями, кипячением не устраняется. Сумма временной и постоянной жесткости называется *общей жесткостью*.

Агрессивность подземных вод выражается в разрушительном воздействии растворенных в воде солей на строительные материалы, в частности, на портландцемент. Поэтому при строительстве фундаментов и различных подземных сооружений необходимо уметь оценивать степень агрессивности подземных вод и определять меры борьбы с ней. В существующих нормах, оценивающих степень агрессивности вод по отношению к бетону, кроме химического состава воды учитывается коэффициент фильтрации пород. Одна и та же вода может быть агрессивной и неагрессивной. Это обусловлено различием в скорости движения воды – чем она выше, тем больше объемов воды войдет в контакт с поверхностью бетона и, следовательно, значительнее будет агрессивность.

По отношению к бетону различают следующие виды агрессивности подземных вод:

- общекислотная – оценивается величиной рН: в песках вода считается агрессивной, если рН меньше 7, а в глинах – меньше 5;
- сульфатная – определяется по содержанию иона  $\text{SO}_4^{2-}$ ; при содержании  $\text{SO}_4^{2-}$  в количестве более 200 мг/л вода становится агрессивной;
- магниальная – устанавливается по содержанию иона  $\text{Mg}^{2+}$ ;
- карбонатная – связанная с воздействием на бетоны агрессивной углекислоты; этот вид агрессивности возможен только в песчаных породах.

Агрессивность подземных вод устанавливают сопоставлением данных химических анализов воды с требованиями СН 249-63. После этого определяют меры борьбы с ней. При этом используют специальные цементы, производят гидроизоляцию подземных частей зданий и сооружений, понижают уровень грунтовых вод устройством дренажей и т.д.

## **8. ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

### **8.1. Классификация подземных вод**

Единая классификация подземных вод до сих пор не создана. Это связано с большим разнообразием их свойств, условий залегания и т.д. Подземные воды можно подразделить по ряду признаков, например, по температуре: холодные (до  $+20^\circ$ ), теплые ( $+20 - +40^\circ$ ) и горячие (более  $+40^\circ$ ); по солености: пресные, соленые и т.д.

В инженерно-геологических целях подземные воды целесообразно классифицировать по гидравлическому признаку (*безнапорные* и *напорные*) и по условиям залегания в земной коре (*верховодка*, *грунтовые воды*, *межпластовые*) (рис. 21). Все это воды, в основном, инфильтрационного происхождения.

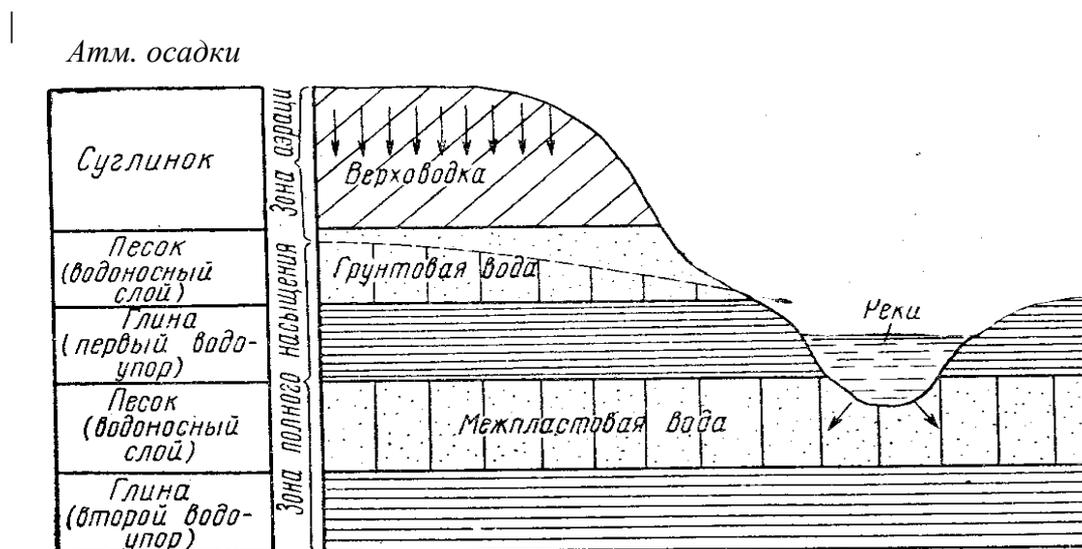


Рис. 21. Классификация подземных вод по условиям залегания

Помимо этих главных типов существует еще ряд своеобразных подземных вод, таких как трещинные, карстовые, минеральные и др.

## 8.2. Верховодка

*Верховодкой* называют временные скопления подземных вод в зоне аэрации. Эта зона располагается на небольшой глубине от поверхности, над горизонтом грунтовых вод, где часть пор пород занята связанной водой, другая часть – воздухом.

Верховодка образуется над случайными водоупорами (или полуводоупорами), в роли которых могут быть линзы глин и суглинков в песке, прослойки более плотных пород и т.д. (рис. 22).

При инфильтрации вода временно задерживается и образует своеобразный водоносный горизонт. Чаще всего это бывает связано с периодами обильного снеготаяния, дождей. В остальное время вода верховодки испаряется и просачивается в нижележащие грунтовые воды.

Другой особенностью верховодки является возможность ее образования даже при отсутствии в зоне аэрации каких-либо водоупорных пропластков. Например, в толщу суглинков обильно поступает вода, но вследствие

низкой водопроницаемости просачивание происходит замедленно и в верхней части толщи образуется верховодка. Через некоторое время эта вода рассасывается.

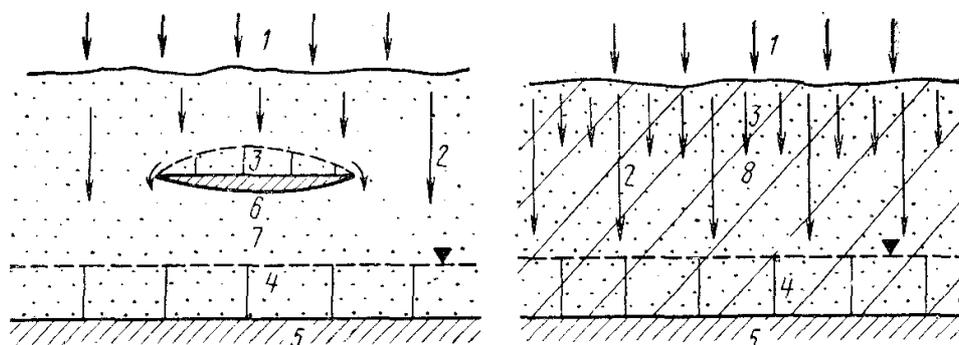


Рис. 22. Верховодка:

1 – атмосферные осадки; 2 – инфильтрация воды; 3 – верховодка; 4 – грунтовая вода;  
5 – водоупор; 6 – линза глины; 7 – песок; 8 – глинистый песок

В целом для верховодки характерны: временный, чаще сезонный характер, небольшая площадь распространения, малая мощность и безнапорность. В легко водопроницаемых породах, например, песках, верховодка возникает сравнительно редко. Для нее наиболее типичны различные суглинки и лёссовые породы.

Верховодка представляет значительную опасность для строительства. Залегая в пределах подземных частей зданий и сооружений (подвалы, котельные и др.), она может вызвать их подтопление, если заранее не были предусмотрены меры дренирования или гидроизоляции. В последнее время в результате значительных утечек воды (водопровод, бассейны и др.) отмечено появление горизонтов верховодок на территориях промышленных объектов и новых жилых районов, расположенных в зоне распространения лёссовых пород. Это представляет серьезную опасность, т.к. грунты оснований снижают свою устойчивость, затрудняется эксплуатация зданий и сооружений.

При инженерно-геологических изысканиях, проводимых в сухое время года, верховодка не всегда обнаруживается. Поэтому ее появление для строителей может быть неожиданным.

### 8.3. Грунтовые воды

*Грунтовыми* называют постоянные во времени и значительные по площади распространения горизонты подземных вод, залегающие на *первом* от поверхности водоупоре. Они характеризуются рядом признаков.

1. Грунтовые воды имеют свободную поверхность, т.е. сверху они не перекрыты водоупорными слоями. Свободная поверхность грунтовых вод называется зеркалом (в разрезе – уровень). Положение зеркала в какой-то мере отвечает рельефу данной местности. Глубина залегания уровня от поверхности различна – от 1 до 50 м и более. Положение уровня по ряду причин непостоянно. Водоупор, на котором лежит водоносный слой, называют водоупорным ложем, а расстояние от водоупора до уровня подземных вод – мощностью водоносного слоя.

Грунтовые воды в силу наличия свободной поверхности безнапорны. Иногда они могут проявить так называемый местный напор, связанный с залеганием линзы глины в уровне зеркала.

2. Питание грунтовых вод происходит, главным образом, за счет атмосферных осадков, а также поступления воды из поверхностных водоемов и рек. Территория, на которой происходит питание, ориентировочно совпадает с площадью распространения грунтовых вод. Грунтовая вода открыта для проникновения в нее поверхностных вод, что приводит к изменению ее состава во времени и нередко к загрязнению различными вредными примесями.

3. Грунтовые воды находятся в непрерывном движении и, как правило, образуют потоки, которые направлены в сторону общего уклона водоупора. В отдельных случаях их залегание имеет форму грунтовых бассейнов.

4. Количество, качество и глубина залегания грунтовых вод зависят от геологии местности и климатических факторов.

В площадном распределении грунтовых вод имеется определенная зональность. Выделяют 4 зоны.

**Грунтовые воды речных долин.** Глубина залегания изменяется от 1 см до 10 – 15 м. Вода залегает в аллювиальных отложениях, слабо минерализована, широко используется для водоснабжения.

**Грунтовые воды ледниковых отложений.** На европейской территории ледниковые отложения представлены разнообразными обломочными породами, среди которых много водоносных слоев. Вода обильная, слабо минерализованная, широко используется для водоснабжения.

**Грунтовые воды полупустынь и пустынь.** Это районы с малым количеством атмосферных осадков (до 200 мм/год) и значительным испарением. Воды обычно мало, залегает она глубоко, имеет высокую минерализацию.

**Грунтовые воды горных областей.** В этих районах выпадает много атмосферных осадков, часть которых проникает в выветрелые и трещинова-

тые породы. Наибольшее количество грунтовых вод хорошего качества скапливается в отложениях предгорных наклонных равнин. Эта вода широко используется для водоснабжения.

Среди зональных располагаются незональные грунтовые воды, например, болотные, карстовые и др. Большими аккумуляторами атмосферных осадков, паводковых и других вод являются болота. Уровень грунтовых вод в болотах всегда совпадает с поверхностью земли, что, собственно говоря, и обуславливает заболоченность местности.

В практике строительства чаще всего приходится встречаться именно с грунтовыми водами. Они создают большие трудности при производстве строительных работ (заливают котлованы, траншеи и т.д.) и мешают нормально эксплуатировать здания и сооружения.

#### 8.4. Межпластовые подземные воды

*Межпластовыми водами* называют водоносные горизонты, располагающиеся между водоупорами. Они бывают ненапорными и напорными, последние иначе называют *артезианскими*.

Межпластовые ненапорные воды встречаются сравнительно редко. Они связаны с горизонтально залегающими водоносными слоями, заполненными водой полностью или частично (рис. 23). По условиям передвижения эти воды аналогичны грунтовым.

Напорные (артезианские) воды связаны с залеганием водоносных слоев в виде синклиналей или моноклиналей (рис. 24 и 25). Площадь распространения напорных водоносных горизонтов называют *артезианским бассейном*.

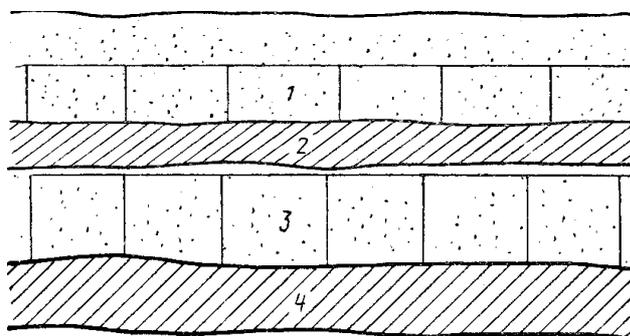


Рис. 23. Межпластовая ненапорная вода:  
1 – грунтовая вода; 2 – первый водоупор; 3 – межпластовая вода;  
4 – второй водоупор

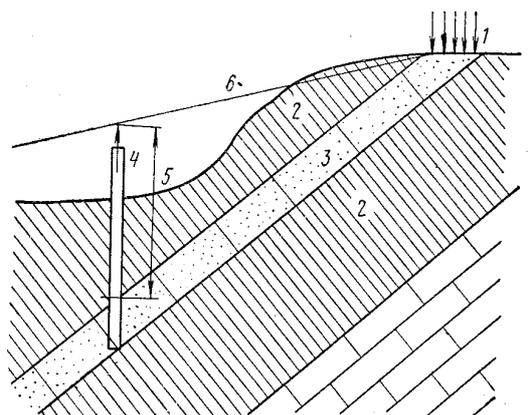


Рис. 24. Артезианская вода при моноклиналильном залегании слоев:  
1 – область питания; 2 – водоупоры

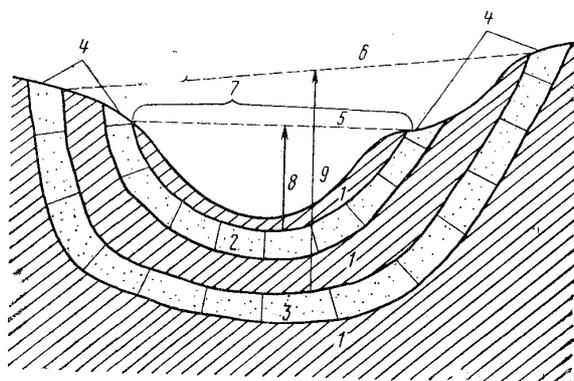


Рис. 25. Артезианская вода при синклиналильном залегании слоев:  
1 – водоупоры; 2 – первый водоносный слой; 3 – второй водоносный слой;  
4 – область питания водоносных горизонтов; 5 – уровень нижнего водоносного слоя;  
6 – пьезометрический уровень нижнего водоносного слоя; 7 – площадь распространения  
верхнего водоносного слоя; 8 – высота напора первого горизонта; 9 – высота напора вто-  
рого водоносного горизонта

Отдельные части водоносных слоев залегают на различных высотных отметках. Это и создает напор подземных вод. Напорных подземных горизонтов может быть несколько. Каждый из них имеет область питания там, где водоносные слои выходят на поверхность и имеют высшие отметки. Область питания, как правило, не совпадает с площадью распространения межпластовых вод.

Напорность вод характеризует пьезометрический уровень. Высотное положение уровня связано с характером залегания водоносных слоев.

Он может быть выше поверхности земли или ниже ее. В первом случае, выходя через буровые скважины, вода фонтанирует, во втором – поднимается лишь до пьезометрического уровня (рис. 26).

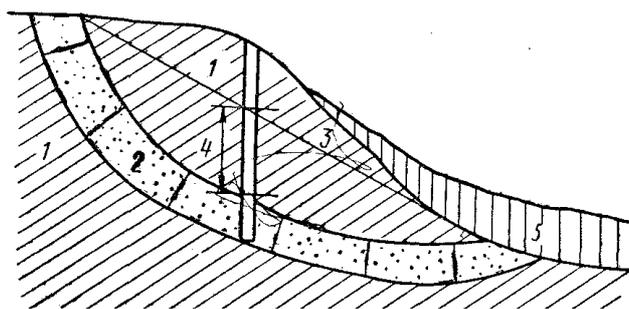


Рис. 26. Артезианская вода с пьезометрическим уровнем ниже поверхности Земли:

1 – водоупоры; 2 – водоносный слой; 3 – пьезометрический уровень; 4 – высота напора

Многие артезианские бассейны, например, Доно-Донецкая впадина, занимают огромные площади, содержат ряд водоносных горизонтов и являются важным источником питьевой и технической воды.

Напорные воды встречаются не только в слоях, залегающих между двумя водоупорами, но и массивах скальных, трещиноватых пород (трещиноватые воды), а также карстовых пустотах (карстовые воды) и вечной мерзлоте.

## 9. РЕЖИМ ГРУНТОВЫХ ВОД

С течением времени происходят изменения положения уровня и характера поверхности грунтовых вод, их температуры и химического состава. Совокупность этих изменений носит название *режима грунтовых вод*. Его изучение является важной задачей, т.к. количественное и качественное изменение грунтовых вод существенно сказывается на условиях строительства и эксплуатации сооружений и должно учитываться при проектировании. Так, например, игнорирование возможности подъема уровня воды может привести к затоплению подвальных помещений, разрушению строительных конструкций, понижению прочности грунтов оснований.

### 9.1. Факторы, влияющие на уровень и качество грунтовых вод

Причины колебания уровня грунтовых вод или, иначе говоря, уменьшение или увеличение их количества, очень разнообразны.

Главными из них являются:

1. метеорологические факторы;
2. гидрологические условия;

3. колебания земной коры;
4. строительная деятельность человека.

Основные *метеорологические факторы* – количество атмосферных осадков, интенсивность испарения воды и величина атмосферного давления. Эти факторы вызывают *сезонные* и *годовые* (многолетние) колебания уровня.

В средней полосе СНГ по сезонам года уровни могут испытывать колебания в 1 – 1,5 м. Наиболее высокое положение уровня приходится на периоды снеготаяния и затяжных дождей. Надо отметить, что подъем уровня начинается лишь через некоторое время после выпадения атмосферных осадков. Этот отрезок времени тем больше, чем меньше водопроницаемость пород и больше глубина залегания грунтовых вод.

Многолетние колебания уровня связаны с переменой климата, т.е. изменениями количества годовых осадков. Средний уровень при этом повышается или понижается на длительное время.

*Гидрологические условия* проявляются в виде влияния на грунтовые воды рек и водохранилищ. Паводки на реках вызывают временный подъем уровней грунтовых вод. Наибольшая величина подъема наблюдается непосредственно у реки, постепенно уменьшаясь по мере удаления от нее. Ширина зоны влияния паводков в хорошо проницаемых песках может достигать 1 – 2 км. Устройство водохранилищ приводит к постоянному поднятию уровней рек и грунтовых вод (рис. 27). Уровни сохраняются на протяжении всего времени существования водохранилища.

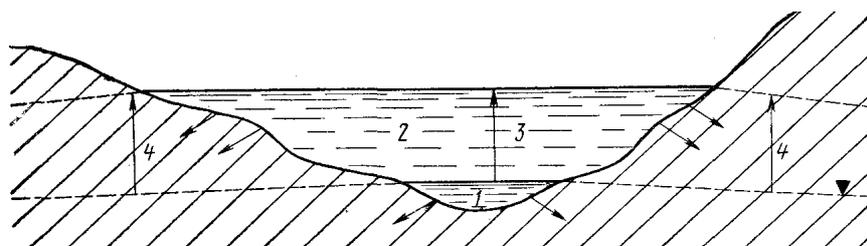


Рис. 27. Влияние уровня водохранилища на грунтовую воду:

1 – река; 2 – водохранилище; 3 – подъем уровня реки;

4 – подъем уровня грунтовой воды

*Колебания земной коры* выражаются в опускании или поднятии отдельных участков суши. Процесс поднятия может приводить к снижению уровней грунтовых вод, т.к. породы лучше дренируются вследствие углубления эрозионных врезов (оврагов, долин и т.д.).

При опускании территории происходит обратный процесс: грунтовые воды слабо фильтруются, накапливаются, уровень их повышается.

*Строительная деятельность человека* в наше время существенно сказывается на положении уровней грунтовых вод. Водоохранилища, пруды, системы орошения, судоходные каналы и многие другие сооружения интенсивно повышают уровни грунтовых вод, приводят к формированию горизонтов верховодок. При проектировании такого типа сооружений необходимо предусматривать возможное влияние подземных вод на ранее построенные сооружения.

В областях распространения лёссовых пород на площадках жилых районов и особенно на участках промышленных сооружений уровень грунтовых вод с течением времени, как правило, повышается. Так, например, на территории завода «Ростсельмаш» г. Ростов-на-Дону грунтовые воды за последние 40 лет поднялись на 18 – 20 м. Глубина залегания зеркала от поверхности земли в ряде случаев составляет 1 – 3 м. Это связано с утечками воды из водопроводных и канализационных систем, уменьшением испарения воды вследствие застройки территории и т.д. В тех случаях, когда лёссовые основания подстилаются хорошо проницаемыми породами (пески, галечники и др.), накопления грунтовых вод не происходит, однако в самой лёссовой толще, по крайней мере, в ее верхней части, возможно формирование верховодок.

Резкое понижение уровня грунтовых вод вызывают различные откачки (из колодцев, скважин, шахт и т.д.). Это может снижать уровни на больших территориях.

Качество грунтовых вод оценивается количеством и видом солей, а также присутствием различных примесей органического характера. В силу различных причин состав грунтовых вод с течением времени может изменяться. В первую очередь, это отражается на питьевой оценке подземных вод.

Наиболее распространенными причинами, вызывающими изменения качества грунтовых вод, являются:

1. фильтрация воды через породы различного состава, например, то через пески, то через засоленные суглинки;
2. интенсивная откачка воды, приводящая к засасыванию, например, соленой воды из других горизонтов;
3. за счет уменьшения количества атмосферных осадков в сухое время года минерализация воды увеличивается;
4. производственная деятельность человека, приводящая к проникновению в подземные воды вредных примесей минерального и органического характера (рис. 28).

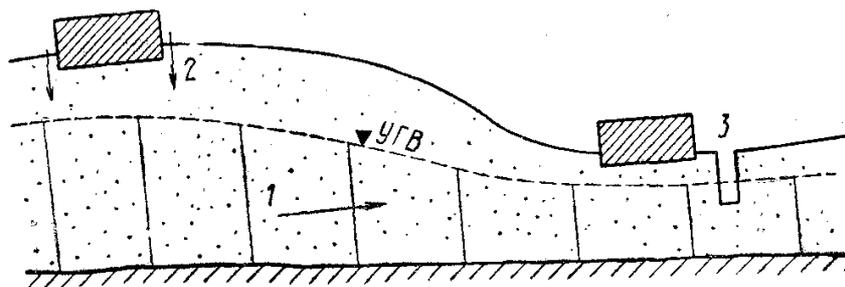


Рис. 28. Изменение качества грунтовых вод:

1 – грунтовый поток; 2 – просачивание воды с вредными примесями (завод, животноводческая ферма и т.д.); 3 – колодец для населенного пункта, в который поступает вода с вредными примесями

## 9.2. Карты грунтовых вод

Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод составляется *карта гидроизогипс* (рис. 29). *Гидроизогипсами* называют линии, соединяющие точки с равными абсолютными отметками зеркала грунтовых вод. Эти линии аналогичны горизонталям рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала вод.

Для построения карты гидроизогипс измеряют уровни грунтовых вод в скважинах, которые на изучаемой территории располагают по сетке. Сечение гидроизогипс зависит от ряда причин и чаще всего бывает равно 0,5 – 1 м. Карта может отражать наиболее высокий или наиболее низкий уровень грунтовых вод, поэтому во всех случаях на картах указывается дата проведения замеров глубины залеганий зеркала.

Аналогично карте гидроизогипс строится *карта гидроизопьез* для оценки поверхности напорных вод.

Карта гидроизогипс широко используется для установления направления потока грунтовых вод, величины напорного градиента, глубины залегания воды, выбора места под колодцы и дренажные устройства. Карта дает возможность найти наиболее благоприятные участки для строительства зданий с глубоко залегающими фундаментами. По куполообразным поднятиям зеркала можно установить места, где происходят интенсивные утечки из подземных водоводов.

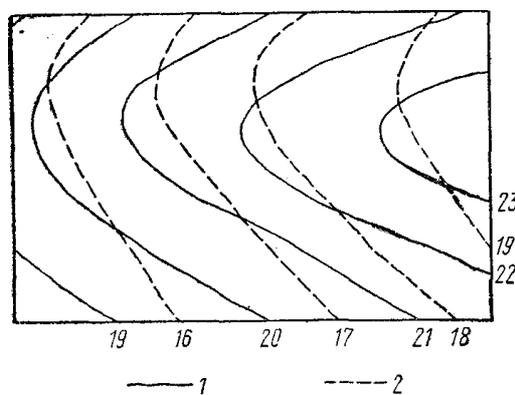


Рис. 29. Карты гидроизогипс:  
1 – горизонтали; 2 – гидроизогипсы

## 10. ДВИЖЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД

### 10.1. Основной закон движения

Передвижение воды в горных породах зависит, в основном, от водных свойств пород и насыщенности их водой. Ненапорные подземные воды в зоне полного насыщения передвигаются при наличии разности гидравлических напоров (уровней) от мест с более высоким к местам с низким напором (уровнем). Это можно видеть на рис. 30.

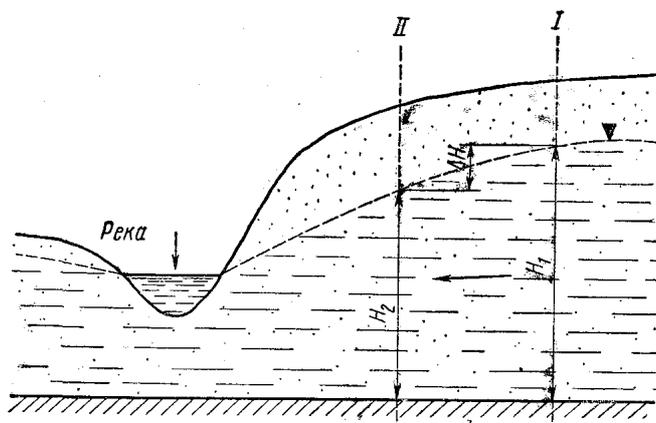


Рис. 30. Схема безнапорной фильтрации

Разность напоров  $\Delta H = H_1 - H_2$  в сечениях I и II обуславливает движение воды в направлении сечения II. Скорость движения грунтового потока зависит от величины разности напора (чем больше  $\Delta H$ , тем больше скорость) и длины пути фильтрации.

Отношение разности напора  $\Delta H$  к длине пути фильтрации  $l$  называют *гидравлическим уклоном* (или гидравлическим градиентом)  $i = \Delta H/l$ .

Движение грунтового потока в водоносных слоях (галечнике, песке, супеси, суглинке) имеет параллельноструйчатый или так называемый *ламинарный* характер и подчиняется закону Дарси. Ламинарный характер движения воды наблюдается также в трещиноватых породах, но при скорости движения не более 300 – 400 м/сут.

При наличии крупных пустот и трещин движения воды в породах может носить вихревой или *турбулентный* характер, но это наблюдается сравнительно редко.

Современная теория движения подземных вод основывается на применении закона Дарси, что выражается формулой

$$Q = K_{\phi} F \frac{\Delta H}{l} = K_{\phi} F l i,$$

где  $Q$  – расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени, м<sup>3</sup>/сут;

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$F$  – площадь поперечного сечения потока воды, м<sup>2</sup>;

$\Delta H$  – разность напоров, м;

$l$  – длина пути фильтрации, м.

Разделив обе части уравнения на площадь  $F$  и обозначив  $Q/F$  через скорость фильтрации  $v$ , получаем

$$v = Q/F \text{ или } v = K_{\phi} i.$$

Уравнение показывает, что при ламинарном движении скорость фильтрации пропорциональна напорному градиенту  $i$  в первой степени.

Если принять  $i = 1$ , то уравнение  $v = K_{\phi} i$  получит вид  $v = K_{\phi}$ , т.е. при напорном градиенте  $i = 1$  коэффициент фильтрации численно равен скорости фильтрации. В силу этого его размерность та же, что и скорость движения воды, м/сут, см/сек и т.д.

Скорость фильтрации (или ламинарного потока) по формуле  $v = Q/F$  не отвечает действительной скорости воды в породе. Это связано с тем, что в формулу входит величина  $F$ , отражающая все сечение фильтрующейся породы, а вода, как известно, течет лишь через часть сечения, равную площади пор и трещин породы. Поэтому величина  $v$  является кажущейся.

Действительную скорость воды  $v_{\partial}$  определяют с учетом пористости породы

$$v_{\partial} = \frac{Q}{Fn},$$

где  $n$  – пористость, выраженная в долях единицы.

Сопоставив формулы  $v = K_{\phi} i$  и  $v_{\partial} = \frac{Q}{Fn}$  можно установить, что

$$v_{\partial} = v/n.$$

Формула скорости воды  $v = \frac{Q}{Fn}$  в этом виде в свою очередь правомерна лишь для песков и крупнообломочных пород, где все поры открыты и вода имеет полную свободу движения. В глинистых породах часть пор закрыта и вода передвигается только через открытые поры, поэтому в формулу вводят не  $n$ , а  $n_{акт}$  (активную пористость)

$$n_{акт} = n W_{М.М.В.} \gamma_{ск},$$

где  $W_{М.М.В.}$  – максимальная молекулярная влагоемкость (в долях единицы);  
 $\gamma_{ск}$  – объемный вес скелета.

**Коэффициент фильтрации.** Почти во все формулы, используемые в гидрогеологии, входит коэффициент фильтрации. Величину  $K_{\phi}$  необходимо определять в зависимости от точности расчета тех или иных формул.

Для ориентировочных подсчетов, например, притока воды в траншею или котлован, можно использовать данные, приводимые в литературе (табл. 16).

Таблица 16

**Ориентировочные значения коэффициента фильтрации пород**  
 (по Н.Н. Биндеману)

Порода	Коэффициент фильтрации, м <sup>3</sup> /сут
Суглинок	Менее 0,05
Супесь	0,1 – 5
Лёсс	0,05 – 0,5
Песок пылеватый	0,5 – 1
То же мелкозернистый	1 – 5
То же среднезернистый	5 – 0
То же крупнозернистый	20 – 50
Гравий	50 – 150
Галечник крупный	100 – 1 000

В других случаях бывает необходимо получить более достоверные значения коэффициента фильтрации. Для этого существуют различные методы, которые можно разделить на три группы: расчетные, лабораторные и полевые. Наиболее точные значения  $K_{\phi}$  можно получить с помощью полевых методов, приближенные значения – расчетным путем.

*Расчетным путем* коэффициент фильтрации определяется, главным образом, для песков. Для этого используется одна из многочисленных эмпирических формул, связывающих  $K_{\phi}$  породы с ее гранулометрическим составом. Известны формулы Хазена, Замарина, Терцаги и др. Наиболее простой формулой является  $K_{\phi} = 1\,500 d_{10}^2$ , м/сут, где  $d_{10}$  – действующий диаметр, мм, т.е.  $d_{10}$  соответствует тому диаметру частиц, мельче которых в песке содержится 10 % от общего его веса.

Значение  $d_{10}$  определяют по кривой гранулометрического состава (рис. 31). Для ее построения по оси ординат откладывается процентное содержание частиц менее данного диаметра, а по оси абсцис – диаметр частиц.

Если в составе пород содержатся частицы диаметром менее 0,1 мм, то на оси абсцисс откладывают не значения диаметров, а их логарифмы. Допустим, что  $d_{10} = 0,15$ , тогда  $K_f = 1\,500 \times 0,0225 = 33,7$  м/сут.

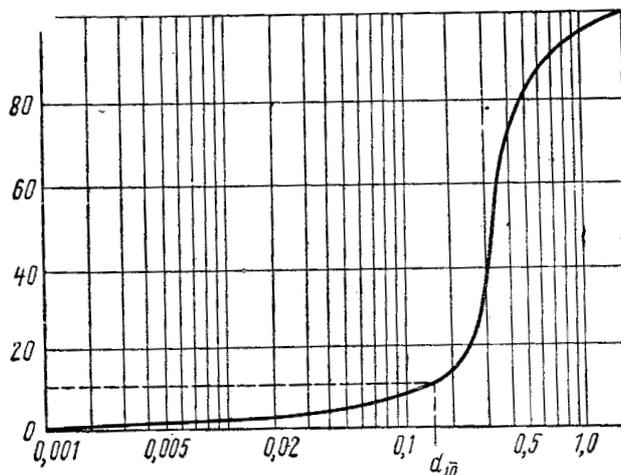


Рис. 31. Кривая гранулометрического состава для определения действующего диаметра

*Лабораторные методы* определения коэффициента фильтрации дают достаточно достоверные результаты. В цилиндрический сосуд помещают испытываемую породу. Через нее фильтруют воду под некоторым напором. Во время опыта замеряют расход профильтровавшейся воды, время и величину гидравлического градиента. Зная сечение образца  $F$ , определив расход  $Q$  и градиент  $i$ , находят коэффициент фильтрации из формул

$$v = Q/F, \quad K_f = vi.$$

Для лабораторного определения коэффициента фильтрации предложены различные приборы. Все они могут быть разбиты на две группы:

- приборы для определения  $K_f$  в образцах необжатых давлением;
- приборы для определения  $K_f$  в образцах, находящихся под определенным давлением.

Для песков наибольшее распространение получили прибор Тима – Каменского и трубка СпецГЕО; для суглинков, супесей, лёссовидных пород – приборы типа ПВГ, позволяющие определять  $K_f$  образцов с нарушенной и ненарушенной структурой. Для глинистых пород наибольшее значение имеет определение  $K_f$  в образцах с ненарушенной структурой, обжатых нагрузкой, под которой грунт будет находиться в основаниях зданий и сооружений.

*Полевые методы* позволяют определять коэффициент фильтрации в условиях строительных площадок. Это обеспечивает более достоверные ре-

зультаты, т.к. не нарушаются структурно-текстурные особенности пород и их природное залегание.

При наличии грунтовых вод  $K_{\phi}$  определяют методом откачки, в случае сухих пород – методом налива в шурфы. В последнем случае чаще всего используют метод проф. А.К. Болдырева (для галечников, песков, трещиноватых пород и др.).

Откачка может производиться как из одной скважины или шурфа (одиночная откачка), так и при наличии группы скважин или шурфов (кустовая откачка). При этом одна из скважин (опытная) используется для откачки, а остальные служат наблюдательными, помогающими установить характер изменения уровня воды на прилегающем участке (рис. 32). Известно, что количество воды  $Q$ , которое откачивается из скважины при определенном понижении уровня  $S$ , зависит от коэффициента фильтрации пород и расстояния, на которое распространяется понижение уровня  $R$  (депресссионное понижение).

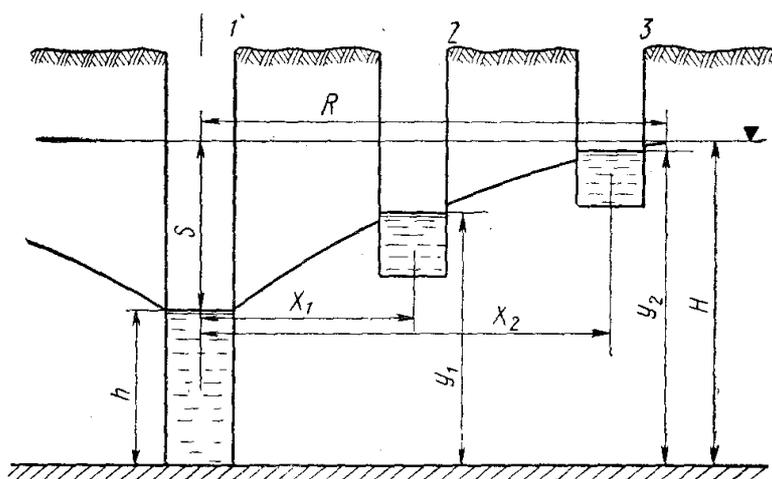


Рис. 32. Определение  $K_{\phi}$  в полевых условиях методом откачки:

1 – опытная скважина, из которой производится откачка;  
2 и 3 – наблюдательные скважины

Значения  $K_{\phi}$ , получаемые при откачке, являются средними для исследуемой толщи.

Для расчета величины  $K_{\phi}$  используют в различной интерпретации выражения вида

$$K_{\phi} = Q \frac{1}{\pi} \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{Y_2^2 - Y_1^2},$$

где  $Q$  – расход воды, откачиваемой из опытной скважины, обеспечивающий постоянство в ней сниженного уровня, м<sup>3</sup>/сут;

$x_1$  и  $x_2$  – соответствующие расстояния двух наблюдательных скважин от опытной скважины, м;

$y_1$  и  $y_2$  – положение уровней в наблюдательных скважинах, м.

## 10.2. Методы борьбы с грунтовыми водами

Гидрогеологические изыскания, проводимые перед проектированием и строительством, устанавливают возможное влияние грунтовых вод на здания и сооружения. Во многих случаях необходимость в этих работах появляется в связи с подъемом уровня грунтовых вод уже на застроенных территориях. В тех случаях, когда грунтовые воды осложняют строительство и будут мешать в дальнейшем, принимают решение о понижении их уровня. Снижение уровня грунтовых вод и поддержание его в нужном положении достигается осуществлением *дренажа*.

При благоприятном рельефе местности водопонижение осуществляется *самотеком воды*, а в противном случае ее подвергают *принудительной откачке*. Водопонижительные дренажи могут быть *совершенными* и *несовершенными*. В первом случае они прорезают весь водоносный слой и сами дренажи лежат на водоупоре. Несовершенные дренажи располагаются в водоносном слое и до водоупора не доходят.

При выборе способа водопонижения учитывают условия залегания и фильтрационную способность пород, источник питания грунтовых вод, характер их потоков, размеры осушаемой зоны и продолжительность водопонижения.

**Типы дренажей.** При дренировании грунтовых вод различают следующие типы дренажей: горизонтальный, вертикальный и комбинированный.

*Горизонтальный тип* дренажа обеспечивает понижение уровня отводом воды с помощью канав (траншей) и подземных галерей. Отток воды происходит самотеком. В большинстве случаев горизонтальные дренажи хорошо работают при небольшой глубине их заложения.

Горизонтальные канавы (траншеи) могут быть открытыми и закрытыми. Наибольшая глубина открытых траншей 5 – 6 м. Разновидностью дренажных траншей являются *откосные дренажи* и *дренажные прорези*. Откосные дренажи представляют собой неглубокие, расположенные поперек откосов траншеи, заполненные фильтрующим материалом. Их задача осушить те откосы, через которые пытается выйти на поверхность грунтовая вода. Дренажные прорези могут иметь глубину до 10 – 15 м. Такого типа траншею, заполненную дренирующим материалом, закладывают поперек или вдоль склонов с целью вскрытия водоносного слоя и удаления из него воды.

*Подземные галереи* применяют на оползневых склонах (рис. 33) с целью их осушения и предотвращения движения грунтовых масс.

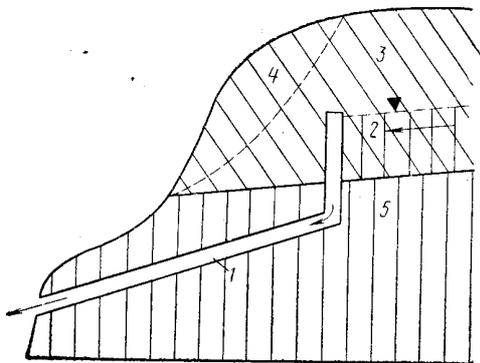


Рис. 33. **Подземная водосборная галерея:**  
1 – водосборная галерея; 2 – поток грунтовой воды; 3 – водоносный суглинок; 4 – возможное оползневое тело; 5 – водоупор

*Вертикальный тип* дренажа обеспечивает понижение уровня грунтовых вод откачкой насосами или пропуском воды самотеком в нижележащие водопроницаемые слои. Из неглубоких строительных котлованов воду можно откачивать открытым способом (рис. 34). Водоотлив, осуществляемый периодически или постоянно, создает в нижележащих грунтах необходимое понижение уровня.

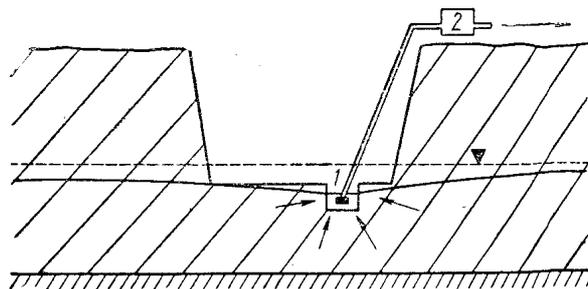


Рис. 34. **Открытый водоотлив из котлована:**  
1 – приямок с фильтром; 2 – насос с водоотводящим лотком

Вертикальный дренаж может осуществляться с помощью водопонижительных скважин и иглофильтровых установок. Водопонижительные скважины оборудуют специальными насосами. Вокруг скважин образуются депрессионные воронки (рис. 35), которые, объединяясь между собой, создают общее понижение уровня грунтовых вод на время работы насосов.

Иглофильтровые установки состоят из систем иглофильтров, которые устанавливаются вокруг котлованов или вдоль траншей в один или несколько рядов. Эти установки могут создавать в грунте известный вакуум, что улучшает приток воды к иглофильтрам и повышает устойчивость откосов котлованов. Работа иглофильтров усиливается воздействием на фильтрацию воды электрического тока. Электродренаж показан на рис. 36. Иглофильтры обеспечивают водопонижение на 4,5 – 5,5 м.

Недостатком всех вертикальных дренажей является непродолжительность срока службы трубчатых колодцев, вследствие загрязнения фильтров.

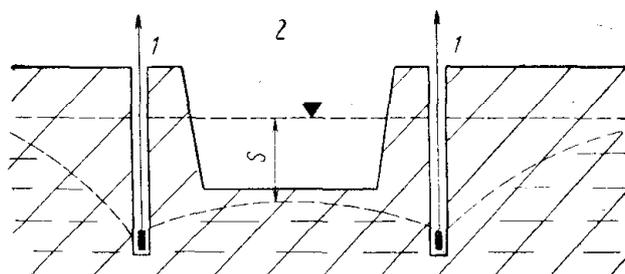


Рис. 35. Схема осушения котлована вертикальными дренажами:

1 – водопонижительные скважины; 2 – строительный котлован; S – понижение уровня

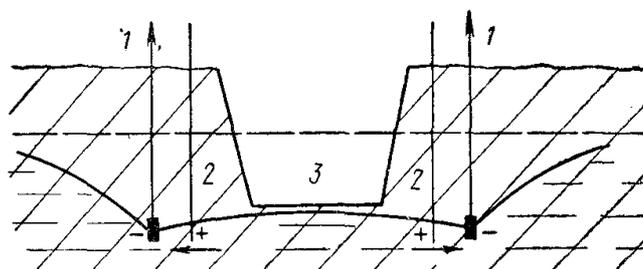


Рис. 36. Иглофильтры с использованием воздействия на фильтрацию воды электрического тока:

1 – иглофильтры; 2 – металлические проводники электрического тока; 3 – котлован

*Поглощающие колодцы (скважины)* устраивают в тех случаях, когда под водоупором грунтовой воды имеется хорошо водопроницающий слой (рис. 37). Грунтовая вода, поступая в этот слой, снижает свой уровень. При устройстве поглощающих систем следует учитывать, что скважины работают хуже колодцев из-за быстрого засорения фильтров.

Комбинированный тип дренажа объединяет вертикальные и горизонтальные дренажи.

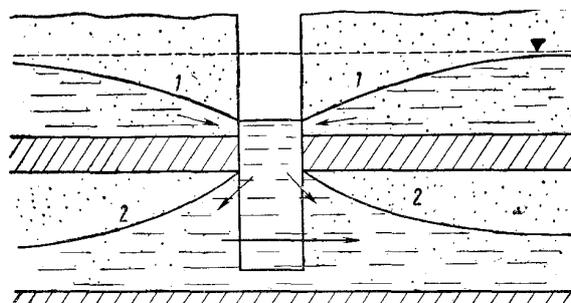


Рис. 37. Поглощающий колодец:

1 – депрессионные кривые; 2 – кривые воронки поглощения

**Виды дренажей.** В зависимости от расположения дренажей в плане и по отношению к направлению движения грунтовых вод различают следующие виды дренажей: систематический, головной, береговой, кольцевой, а также пластовый и вентиляционный. Каждый вид дренажа сопровождается обязательным устройством отвода поверхностных вод с осушаемой территории.

*Систематический дренаж* применяют для равномерного осушения (понижения уровня) значительных территорий (часть территории города, заводские площадки и т.д.).

Этот вид дренажа применяют при небольшой мощности водоносного слоя и при неглубоком залегании грунтовых вод, питание которых осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. В зависимости от геологического строения территории систематический дренаж может быть горизонтальным (рис. 38).

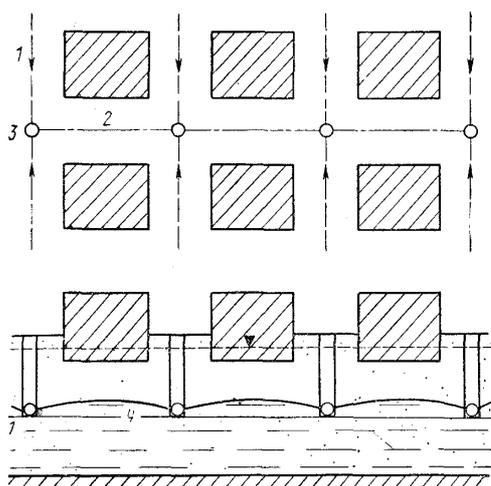


Рис. 38. Систематический дренаж горизонтального типа (в плане и разрезе):  
1 – дрены; 2 – дренажный коллектор; 3 – смотровой колодец; 4 – пониженный уровень

*Головной дренаж* используется для понижения уровня грунтового потока, питание которого осуществляется со стороны. Вода перехватывается горизонтальной дренажной трубой, закладываемой выше по течению грунтовых вод.

При неглубоком залегании водоупора (до 4 – 5 м) дренажная труба перехватывает весь грунтовый поток, но если водоупор расположен глубоко, то лучше устраивать вертикальный дренаж. Головной дренаж обеспечивает равномерное и надежное понижение уровня грунтовых вод.

*Береговой дренаж* применяют в случае, когда уровни рек поднимаются вследствие устройства водохранилищ. Уровень грунтовых вод при этом повышается. Основной задачей берегового дренажа является защита зданий

и сооружений, расположенных на берегу, от фильтрации воды из водохранилищ. Береговые дренажи по условиям своей работы аналогичны головным дренажам.

*Кольцевой дренаж* защищает от подтопления подвальные помещения отдельных зданий или небольшие участки. Чаще всего его применяют в случаях, когда необходимо понизить уровень грунтовой воды на значительную глубину. При глубоком залегании водоупора в слабофильтрующих слоях лучше устраивать вертикальные и комбинированные дренажи.

*Пластовые дренажи* служат для защиты отдельных зданий и дорог от возможного подтопления грунтовыми водами, уровень которых поднимается. По контуру сооружений укладывается дренажный слой из песка (или гравия) с дренажной трубой.

Против накопления влаги в грунтах зоны аэрации (под фундаментами зданий) можно устраивать *вентиляционный дренаж* в виде дырчатых труб или галерей, через которые постоянно движется воздух в целях испарения влаги из грунта основания.

## 11. СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

### 11.1. Осыпи

На крутых склонах, особенно в горных районах, где развиты скальные породы, активно действует процесс физического выветривания. Породы растрескиваются, обломки скатываются и сползают вниз по склонам до места, где склон выполаживается. Этот процесс называется *осыпанием*.

У подножья склонов накапливаются продукты осыпания (глыбы, камни, щебень, более мелкие обломки) и образуют крупные конусы или прерывистые валы-осыпи.

Мощность осыпей различна и колеблется от нескольких до десятков метров.

В состав осыпей входят обломки тех горных пород, которые слагают склоны. Вид породы зачастую определяет крупность обломков осыпи. Так, массивные кристаллические породы дают крупнообломочные (глыбовые) осыпи. Другие массивные, но менее прочные породы, образуют среднеобломочные (щебеночные) и при интенсивном выветривании – мелкообломочные (дресвяные) осыпи. Сланцы и осадочные породы (известняки, мергели, песчаники и др.) порождают разнообломочные накопления, состоящие из обломков различной формы (плитчатой, пластинчатой и т.д.) и размеров.

Характерной особенностью осыпей является их подвижность. По признаку подвижности их подразделяют на действующие, находящиеся в стадии интенсивного движения, затухающие и неподвижные.

Действующие осыпи обнажены и лишены всякой растительности. Масса обломков нарастает и находится в рыхлом, весьма неустойчивом состоянии и приходит в движение за счет увеличения общего веса, сильного увлажнения, подрезки нижней части конуса осыпи, от толчков землетрясений и даже от более мелких сотрясений, возникающих при работе механизмов или движении транспорта.

Интенсивность движения осыпей зависит от ряда факторов. Наибольшие скорости отмечены в период снеготаяния и дождей. Имеющиеся данные наблюдений показывают, что осыпи в послойном разрезе передвигаются с различной скоростью. Скорость верхних слоев может достигать более 1 м/год, нижних слоев и в целом всего массива осыпи – несколько десятков сантиметров в год. На скорость движения влияют также количество поступающего материала, угол естественного откоса материала, из которого состоит осыпь, и угол поверхности осыпи.

Угол естественного откоса материала зависит от его крупности. В сухом состоянии крупно- и среднеобломочный материал имеет средний угол откоса  $\varphi = 35 - 37^\circ$ , а мелко- и разнообломочный –  $30 - 32^\circ$ . Величина угла поверхности осыпи связана с крутизной склонов, количеством поступающего материала и его влажностью. Зависимость между углами поверхности осыпи  $\alpha$  и величиной естественного откоса  $\varphi$  обломочного материала характеризует степень подвижности осыпи

$$K = \alpha/\varphi$$

где  $K$  – коэффициент подвижности осыпи.

По величине  $K$ , согласно П.И. Пушкину, осыпи разделяют на 4 типа (табл. 17).

Осыпи первого и второго типа относят к действующим. Они представлены свежей, неуплотнившейся массой обломков. «Живые» осыпи характерны для склонов круче  $65^\circ$ , достаточно подвижны осыпи с крутизной от  $45$  до  $65^\circ$ .

Для затухающих осыпей свойственно развитие растительности (кустарники, слабый дерновый слой). Неподвижные осыпи полностью задернованы, покрыты кустарником и даже лесом.

Иногда осыпи превращаются в *осовы* – разновидность оползней. Это происходит при насыщении осыпей водой. При смачивании масса обломков уменьшает угол естественного откоса,  $K$  увеличивается, и вся масса осыпи осовывается по смоченной поверхности склона.

**Классификация осыпей по величине  $K$** 

Тип	Характеристика осыпей	Коэффициент подвижности $K$
I	Подвижные, «живые»	1,0
II	Достаточно подвижные, признаков затухания обычно нет	0,7 – 1,0
III	Слабоподвижные, затухающие, имеющие слабое питание	0,5 – 0,7
IV	Относительно неподвижные, уплотнившиеся, поступления нового материала не наблюдается	Менее 0,5

Осыпи значительно осложняют строительство. Обломочный материал засыпает сооружения, полезные площади. Для решения вопроса о защите сооружений от осыпей очень важно знать скорость их движения. Обычно ее удается определить длительными наблюдениями. С небольшими щебеночными осыпями борьба ведется довольно простыми способами, которые сводятся к уборке той части обломочного материала, который расположен выше сооружения по склону. Этот способ достаточно трудоемок и применяется при большой подвижности осыпей и особой значимости сооружений.

Из инженерных сооружений применяют улавливающие и подпорные стенки, устраивают козырьки или сетки над дорогами, но эти мероприятия спасают лишь от отдельных падающих камней.

В особо опасных местах, где развиты мощные медленно соскальзывающие осыпи, устраивают галереи и тоннели для дорог. При борьбе с осовами, кроме всех прочих мероприятий, применяют методы осушения, особенно в тех случаях, когда источник замачивания располагается в верхней части склона.

На особо опасных участках организуют службу наблюдения.

Осыпи обломочно-щебенистого состава часто находят широкое применение как хороший строительный материал.

## 11.2. Курумы

В результате разрушения скальных пород у подошвы склонов скапливаются крупные обломки и глыбы. По своему местоположению обломки более всего тяготеют к пологим склонам, что свойственно ложбинам и днищам долин. Так образуются *каменные россыпи* или *курумы*.

Иногда курумы сливаются с элювиальными накоплениями пород на верхних частях склонов, образуя с ними единую массу глыб от вершины до подошвы склона. Мощность каменных россыпей колеблется от нескольких метров до 15 м на дне долин.

Курумы распространены в тех же районах, что и осыпи, но особенно они грандиозны в области вечной мерзлоты (Восточная Сибирь, Дальний Восток) и в местностях с суровым климатом (Урал, Алтай, Саяны и т.д.).

Характерной особенностью курумов является передвижение. Море обломков, огромных глыб постоянно ползет вниз по склону. Это обусловлено своеобразным вертикальным строением курумника. Многочисленные глыбы лежат на глинисто-суглинистом слое.

Пространство между глыбами свободно или заполнено суглинисто-щебенистым материалом. В результате смачивания водой глинистой подстилки, что заставляет быть ее пластичной, глыбы получают возможность под действием собственного веса смещаться вниз по склонам. Когда курум движется по ложбинам, его называют каменным потоком.

Скорость движения курумов различна – от сантиметров до десятков сантиметров (даже 1 м/год) – и зависит от местных условий. Наибольшая скорость свойственна участкам с обильным смачиванием водой.

Согласно Ф.А. Никитенко, курумы целесообразно подразделять на *действующие*, *затухающие* и *затухшие*. В первом случае курумы очень подвижны. Пустоты между глыбами незаполнены. Растительность отсутствует. В затухших курумах никаких следов движения нет. Россыпь задернована, покрыта растительностью.

Курумы при своем движении разрушают сооружения, засыпают выемки и полезные площади. Легче всего остановить движение отдельных глыб. Значительно труднее удержать многослойную толщу курума, занимающего большую площадь и имеющего выходы грунтовых вод. Наиболее часто в борьбе с курумами используют взрывные работы и новый способ разрушения глыб при помощи мощных электрических импульсов.

Остановить курумы можно осушением их глинистой подстилки. Для этого в верхней части склона отводят ручьи, перехватывают поверхностные воды нагорными канавами, в отдельных случаях используют дренажи.

В районе подвижных курумов дороги переносят на другие склоны, иногда их проводят в тоннелях или галлереях под курумами.

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

## Лабораторная работа № 1

### ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Цель: изучить основные породообразующие минералы.

Время: 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с коллекцией минералов.
2. Изучить основные диагностические признаки.

**Литература**

1. Пашковский, Л.И. Инженерная геология / Л.И. Пашковский, Т.М. Переокова. – М.: Выс. шк., 1982.
2. Определитель минералов.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислить основные характеристики минералов.
2. По основным характеристикам определить минералы.

## Лабораторная работа № 2

### ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ МАГМАТИЧЕСКИХ ГЛУБИННЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель: изучить основные породообразующие минералы.

Материалы и принадлежности: коллекция минералов, шкалы твердости Мооса, бисквиты, определители.

Время: 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с коллекцией образцов.
2. Определить твердость минералов.
3. Описать основные диагностические признаки.

### **Литература**

1. Пашковский, Л.И. Инженерная геология / Л.И. Пашковский, Т.М. Переокова. – М.: Высш. шк., 1982.
2. Определитель минералов.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить основные характеристики минералов.
2. По основным характеристикам определить минералам.

## **Лабораторная работа № 3**

### **ПОСТРОЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ**

По данным двенадцати буровых скважин, расположенных в плане в углах квадратной сетки на расстоянии 25 м друг от друга, построить гидрогеологическую карту. Масштаб изображения 1:500, сечение горизонталей и гидроизогипс через 1 м. На карте показать направление потока и выделить участки с глубиной залегания уровня грунтовых вод, равной двум и менее метрам.

Для составления гидрогеологической карты в заданном масштабе наносят на миллиметровую бумагу план расположения скважин, обозначая их кружками диаметром 2 мм. Слева от каждой скважины записывают ее номер, справа – в числителе – абсолютную отметку устья, а в знаменателе – абсолютную отметку уровня грунтовых вод (УГВ). Абсолютную отметку УГВ в каждой скважине вычисляют как разность между отметкой устья и глубиной залегания УГВ. Путем интерполяции между абсолютными отметками, кратными выбранному сечению (по заданию сечение горизонталей и гидроизогипс равно 1 м). Соединив точки с одинаковыми отметками плавными линиями, получают горизонталы рельефа земной поверхности. Используя абсолютные отметки УГВ каждой скважины, аналогично путем интерполяции находят точки с одинаковыми абсолютными отметками УГВ. Соединив эти точки плавными линиями, получим гидроизогипсы – линии равных высот поверхности водного потока.

Для выделения участков с глубиной залегания УГВ менее 2 м находят точки пересечения горизонталей и гидроизогипс с разностью отметок 2 м. Линия проведения через эти точки – гидроизобата – будет границей участка. Участок с глубиной залегания УГВ менее 2 м заштриховывается зеленой тушью. Горизонталы изображаются черной тушью, гидроизогипсы – синей. На чертеже должны быть указаны: масштаб изображения, сечение горизонталей и гидроизогипс, условные обозначения.

## Лабораторная работа № 4

### ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

Построить геологический разрез по линии, указанной в соответствующем варианте, с использованием геологической карты масштаба 1:5000 и описания буровых скважин. Для построения разреза принять горизонтальный масштаб 1:5000, вертикальный 1:500.

Геологический разрез строится на миллиметровой бумаге в следующем порядке. В нижней части листа делают три горизонтальные графы (профильную сетку), в которых указывают расстояние между скважинами, номер скважины и абсолютную отметку устья скважины в метрах. Намечают начало и длину разреза в принятом масштабе. Выбрав условный горизонт, у начала разреза строят шкалу абсолютных отметок с таким расчетом, чтобы максимальная отметка была несколько выше самой верхней точки рельефа, а минимальная – ниже забоя самой глубокой скважины по разрезу.

Далее приступают к построению топографического профиля. Откладывают в заданном масштабе расстояния от начала разреза до его пересечения с каждой горизонталью и точками отмечают абсолютные отметки соответствующих горизонталей. После этого откладывают от начала разреза расстояния от каждой скважины и проводят вертикальный штрих в верхней графе профильной сетки. Под штрихами подписывают номера скважин и их абсолютные отметки (являющиеся дополнительными данными для построения профиля земной поверхности), а между вертикальными штрихами – расстояния между скважинами.

Соединив все точки плавными линиями, получают топографический профиль земной поверхности по заданному направлению. На построенный профиль наносят колонки буровых скважин. Разрез ствола скважины обозначают вертикальным отрезком. На нижнем конце отрезка, соответствующем абсолютной отметке низшей точки пробуренной скважины (забоя), ставят короткий поперечный штрих. Справа от штриха записывают абсолютную отметку забоя, вычисляемую как разность между абсолютной отметкой устья и глубиной скважины. Вдоль линии скважины различают границы слоев и проставляют их абсолютные отметки, которые вычисляют как разность абсолютной отметки устья скважины и глубин залегания соответствующих слоев.

В интервале каждого слоя (на полосе шириной 1 – 2 см) условными обозначениями отмечают состав и относительный возраст пород.

Рассмотрев состав и возраст пород, анализируют историю геологического развития изучаемого участка и завершают рисовку разреза, используя при этом как границы слоев, вскрытые скважинами, так и стратиграфические границы, перенесенные на топографический профиль с карты. Условными обозначениями показывают состав и индексами – относительный возраст.

## **Лабораторная работа № 5**

### **ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Цель: изучение минералов экзогенных процессов.

Материалы и принадлежности: коллекция минералов, шкалы твердости Мооса, определители.

Время: 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с коллекцией минералов.
2. Изучить основные диагностические признаки.

**Литература**

1. Пашковский, Л.И. Инженерная геология / Л.И. Пашковский, Т.М. Переокова. – М.: Высш. шк., 1982.
2. Определитель минералов.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислить основные характеристики минералов.
2. По основным характеристикам определить минералы.

## **Лабораторная работа № 6**

### **ИЗУЧЕНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Цель: изучение магматических горных пород

Материалы: коллекция горных пород, определители горных пород.

Время: 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с коллекцией горных пород магматического происхождения.

2. Изучить структуры и текстуры минералов.
3. Описать основные диагностические признаки.

#### **Литература**

1. Ананьев, В.П. Инженерная геология / В.П. Ананьев, В.И. Коробкин. – М.: Высш. шк., 1973.
2. Таблицы для определения горных пород магматического происхождения.

#### **Контрольные вопросы**

1. Определить структуру и текстуру горных пород.
2. По диагностическим признакам дать название горных пород.
3. Классификация магматических горных пород.

### **Лабораторная работа № 7**

## **ИЗУЧЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ЭКЗОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Цель: изучение основных горных пород экзогенного происхождения.

Материалы и принадлежности: коллекция горных пород, определители горных пород, раствор соляной кислоты (HCl).

Время: 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с коллекцией образцов.
2. Определить структуру и текстуру изучаемых образцов.
3. Изучить основные диагностические признаки.

#### **Литература**

1. Ананьев, В.П. Инженерная геология / В.П. Ананьев, В.И. Коробкин. – М.: Высш. шк., 1973.
2. Таблицы для определения горных пород осадочного происхождения.

#### **Контрольные вопросы**

1. Определить структуру и текстуру горных пород.
2. По диагностическим признакам дать названия горных пород.
3. Классификация осадочных горных пород.

## Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите главные типы вулканов по характеру извержений.
2. Формы глубинных интрузий.
3. Что представляют собой твердые продукты вулканических извержений и как они называются?
4. Что такое магнитуда землетрясений?
5. Что называется гипоцентром, эпицентром землетрясений? Какие типы других колебаний возникают при землетрясениях?
6. Какова общая классификация подземных вод?
7. Чем пластовые воды отличаются от грунтовых, а грунтовые – от верховодки?
8. Как образуются напорные пластовые воды?
9. Что такое артезианский бассейн?
10. Дайте классификацию осадочных горных пород.
11. Как классифицируются грубообломочные породы?
12. Виды метоморфизма.
13. Главные факторы метаморфизма.
14. Какие структуры и текстуры характерны для метаморфических пород?
15. Два типа земной коры.
16. Какое строение имеет земная кора континентов?
17. Какое строение имеет океаническая земная кора?
18. Где находится большая часть осадочных пород – в пределах океанической или континентальной коры?
19. Дайте генетическую классификацию магматических горных пород.
20. От чего зависят первичные формы залегания магматических горных пород?
21. Какие дислокации относятся к складчатым?
22. Какие дислокации относятся к разрывным?
23. Факторы, влияющие на уровень и качество грунтовых вод.
24. Типы дренажей.
25. Виды дренажей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев, В.П. Основы геологии, минералогии и петрографии: учеб. для вузов / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 398 с.
2. Ананьев, В.П., Коробкин В.И. Инженерная геология: учеб. для строит. Вузов / В.П. Ананьев, В.И. Коробки. – М.: Высш. шк., 1973. – 300 с.
3. Анпилов, В.Е. Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях / В.Е. Анпилов. – М.: Недра, 1976. – 183 с.
4. Бондарев, В.П. Геология. Курс лекций: учеб. пособие / В.П. Бондарев. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 224 с.
5. Денисов, Н.Я. Инженерная геология / Н.Я. Денисов. – М.: Госстройиздат, 1960. – 404 с.
6. Калинин, Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование: учеб. / Э.В. Калинин. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 256 с.
7. Колпашников, Г.А. Инженерная геология / Г.А. Колпашников. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – 134 с.
8. Короновский, Н.В. Общая геология: учеб. / Н.В. Короновский. – М.: КДУ, 2006. – 528 с.
9. Короновский, Н.В. Практическое руководство по общей геологии / Н.В. Короновский. – М.: Академия, 2004. – 160 с.
10. Кузин, М.Ф. Полевой определитель минералов / М.Ф. Кузин, Н.И. Егоров. – М.: Недра, 1974. – 232 с.
11. Макарова, Н.В. Геоморфология: учеб. пособие / Н.В. Макарова, Т.В. Суханова; отв. ред. В.И. Макаров, Н.В. Короновский. – М.: КДУ, 2007. – 414 с.
12. Передельский, Л.В. Инженерная геология: учеб. для студ. строит. спец. вузов / Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко. – Ростов на Дону: Феникс, 2006. – 448 с.
13. Платов, Н.А. Основы инженерной геологии: учеб. / Н.А. Платов. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 173 с.
14. Смольянинов, Н.А. Практическое руководство по минералогии / Н.А. Смольянинов; под науч. ред. Б.Е. Карского. – 2-е изд., испр. и доп.. – М.: Недра, 1972. – 360 с.
15. Суворов, Ф.К. Геология с основами гидрологии / Ф.К. Суворов. – М.: КолосС, 2007. – 207 с.
16. Чернышев, С.Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии / С.Н. Чернышев, А.Н. Чумаченко, И.Л. Ревели. – М.: Высш. шк., 2002.

*Учебное издание*

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальностей

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,

1-70 02 02 «Управление и экспертиза недвижимости»,

1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция

и охрана воздушного бассейна»

и слушателей ИПК

Составитель

ЛЕОНОВА Людмила Васильевна

*Редактор Т.А. Дарьянова*

*Дизайн обложки И.С. Васильевой*

---

Подписано в печать 17.06.08. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 5,34. Уч.-изд. л. 5,22. Тираж 220. Заказ № 1008.

---

Издатель и полиграфическое исполнение –  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30. 04. 04

ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29