

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Е.Д. Ломачевская

ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 270800.62 Строительство

Оренбург

2012

УДК 55 (075.8)

ББК 26.3я7

Л 74

Рецензенты

профессор, доктор геолого-минералогических наук А.Я. Гаев

кандидат геолого-минералогических наук О.М. Севастьянов

Л 74 **Ломачевская, Е.Д.**
Геология с основами инженерной геологии и гидрогеологии :
учебно-методическое пособие / Е.Д. Ломачевская; Оренбургский
гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 201 с: ил.
ISBN

В учебно-методическом пособии изложены методические основы выполнения практических заданий студентами очной формы обучения в соответствии с рабочей программой. В пособии кратко изложены основные теоретические сведения, которые дополнены примерами и задачами (упражнениями) с решением. Задачи и упражнения многовариантны, что позволяет использовать их в проведении практических занятий, в качестве домашних заданий, при приеме зачетов и экзаменов, для контроля текущей успеваемости студентов. В приложениях приведены классические таблицы описания минералов и горных пород и другой справочный материал. Предлагаются контрольные вопросы и тесты для усвоения дисциплины.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по профилям подготовки – «Промышленное и гражданское строительство», «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Городское строительство и хозяйство», «Экспертиза и управление недвижимостью» и «Автомобильные дороги и аэродромы».

УДК 55 (075.8)

ББК 26.3я7

ISBN

© Ломачевская Е.Д., 2012

© ОГУ, 2012

Содержание

	с.
Введение	6
1 Общие положения	9
2 Структура работы и методические рекомендации по ее выполнению	10
3 Требования к содержанию и изложению практической работы ...	11
4 Правила оформления работы	12
5 Сроки сдачи работы	13
6 Темы практических занятий. Порядок выбора вариантов работ ...	14
7 Породообразующие минералы	15
7.1 Породообразующие минералы, их основные свойства	15
7.1.1 Понятие о минералах	15
7.1.2 Основные свойства минералов	17
7.2 Минералы, их классификация	24
7.3 Диагностика основных породообразующих минералов	26
7.3.1 Исходный материал для определения диагностических признаков минералов	26
7.3.2 Методика пользования определителем породообразующих минералов	28
7.3.3 Практические занятия по определению минералов	30
7.3.4 Практика и пример определения диагностических признаков минералов	32
8 Основные горные породы	33
8.1 Образование минералов и горных пород	33
8.2 Типы горных пород и их свойства. Понятие термина «грунты» ...	34
8.3 Методы изучения горных пород	37
8.4 Генетическая и инженерно-геологическая характеристика основных типов горных пород	46
8.4.1 Исходный материал для определения диагностических признаков горных пород	46
8.4.2 Магматические горные породы	47
8.4.3 Осадочные горные породы	52
8.4.4 Метаморфические горные породы	61
8.5 Инженерно-геологическая классификация грунтов. ГОСТ 25100	66
8.6 Свойства горных пород	69
8.6.1 Физические свойства	71
8.6.2 Водные свойства	74
8.6.3 Механические свойства	77
8.7 Инженерно-геологическое изучение массивов горных пород	78
8.8 Инженерно-строительные особенности горных пород	79
8.8.1 Магматические горные породы	81
8.8.2 Осадочные горные породы	83
8.8.3 Метаморфические горные породы	89

9	Физические свойства и химический состав подземных вод	90
9.1	Химический состав подземных вод и способы его определения ..	90
9.2	Формы выражения химического состава подземных вод	91
9.3	Практические задания	93
9.3.1	Пример обработки, систематизации и классификации результатов химического анализа подземных вод	93
9.3.2	Практика обработки, систематизации и классификации результатов химического анализа подземных вод. Оценка агрессивных свойств воды	99
10	Физические основы динамики подземных вод. Фильтрация жидкости в пласте	104
10.1	Основные понятия	104
10.2	Основной закон движения подземных вод. Закон Дарси	106
10.3	Элементы фильтрационного потока	108
10.4	Практические задания	110
10.4.1	Определения коэффициента фильтрации в лабораторных условиях	110
10.4.2	Практика и пример определения коэффициента фильтрации по результатам опыта для грунтов разной степени водопроницаемости	110
11	Условия залегания грунтовых вод. Построение и анализ карт гидроизогипс. Определение расхода подземного потока	117
11.1	Общие положения	117
11.2	Указание по построению карты гидроизогипс	118
11.3	Практика построения карты гидроизогипс	121
11.4	Определение расхода подземного потока	129
11.4.1	Пример определения расхода подземного потока	129
11.4.2	Практика определения расхода потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре	130
12	Движение подземных вод к искусственным дренажным сооружениям при установившейся фильтрации	132
12.1	Общие сведения	132
12.2	Приток воды к водозаборным сооружениям	133
12.3	Прогноз водопритокков к водозаборным сооружениям	136
12.4	Практические задания. Гидрогеологические расчеты	137
12.4.1	Общие сведения	137
12.4.2	Практика и пример определения коэффициента фильтрации по данным одиночных опытных откачек из пластов с грунтовыми водами	138
13	Геологические карты, разрезы, колонки	141
13.1	Геологическая карта	141
13.1.1	Общие понятия	141
13.1.2	Типы и масштабы геологических карт	142
13.1.3	Разновидности геологических карт	143
13.1.4	Чтение геологической карты	143

13.2	Составление геологического разреза	144
13.2.1	Составление геологических разрезов по стратифицированным комплексам пород	144
13.2.2	Практика составления геологических разрезов	146
13.2.3	Оформление геологических разрезов	147
13.3	Составление и анализ инженерно-геологического разреза	147
13.3.1	Принципы и последовательность построения разрезов	148
13.3.2	Характеристика инженерно-геологических условий района	149
13.4	Практика построения инженерно-геологического разреза и геологической колонки по данным буровых скважин	151
13.4.1	Пример построения инженерно-геологического разреза	158
13.4.2	Пример построения геологической колонки скважины, пробуренной в пределах геологической карты	163
13.4.3	Пример описания одного из слоев	166
14	Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	168
14.1	Контрольные вопросы для самопроверки	168
14.2	Фонд тестовых заданий	176
	Список использованных источников	176
	Приложение А Структурные элементы работы	180
A.1	Пример оформления титульного листа практической работы	180
A.2	Пример оформления содержания	181
	Приложение Б Минералы и горные породы	182
Таблица Б.1	Шкала Мооса	182
Таблица Б.2	Определитель и классификация минералов по химическому составу и кристаллической структур	183
Таблица Б.3	Определитель минералов – задание студентам	186
Таблица Б.4	Структуры и текстуры горных пород	187
Таблица Б.5	Формы залегания горных пород в земной коре	189
Таблица Б.6	Определитель магматических горных пород	190
Таблица Б.7	Классификация осадочных пород	192
Таблица Б.8	Определитель обломочных осадочных горных пород	193
Таблица Б.9	Определитель прочих осадочных горных пород	194
Таблица Б.10	Определитель метаморфических горных пород	195
Таблица Б.11	Свойства основных магматических и метаморфических горных пород	196
Таблица Б.12	Свойства основных осадочных горных пород	197
Таблица Б.13	Виды воды в горных породах (по В.Д. Ломтадзе)	198
Таблица Б.14	Шкала геологического времени земной коры	199
Таблица Б.15	Основные генетические типы четвертичных отложений	200
Таблица Б.16	Некоторые характеристики грунтов по ГОСТ 25100	201

Введение

Ананьев В. П. в своем учебнике «Инженерная геология» [1] отмечает: «геология — комплекс наук о составе, строении, истории развития Земли, движениях земной коры и размещении в недрах Земли полезных ископаемых». Поэтому, основным объектом изучения, исходя из практических задач человека и в частности инженера строителя, является земная кора.

В настоящее время необходимость подготовки строителей в области инженерной геологии возрастает. Учебник Ананьева В.П. рассматривается как базовый элемент учебно-методического обеспечения дисциплины «Геология» и предусматривает возможность использования внутривузовских учебных пособий [2 и 3], учитывая их прикладное, практическое знание.

Практические занятия являются обязательной и важной составной частью учебного процесса по изучению геологии с основами инженерной геологии.

В строительной практике любые горные породы и почвы называют грунтами. Грунт представляет собой минеральную или органоминеральную дисперсную фазовую систему, включающую в общем случае твердую, жидкую и газообразную фазы. Твердая фаза (скелет грунта) может быть представлен минеральными частицами, почвой или льдом. Жидкая фаза – водная или водно-коллоидная. Газообразная фаза – различные газы и пар. Различия между понятиями «горная порода» и «грунт» чисто качественная. Грунты – это почвы и горные породы, которые находятся в верхней части литосферы и являются основаниями, средой или материалом инженерных сооружений.

Инженер-строитель, в связи с поставками природных строительных материалов, должен свободно опознавать песок, суглинок, щебень, гравий, гранит, мрамор и многие другие горные породы.

Не менее важно бакалавру и далее магистру – инженеру-строителю знать и уметь оценивать возникающие в процессе строительства и эксплуатации сооружения физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления.

Поэтому при проектировании и строительстве невозможно обойтись без следующих знаний:

- инженерно-геологических условий района строительства;
- физических и механических свойств горных пород (грунтов);
- условий залегания и распространения подземных вод и их взаимодействия с горными породами;
- динамики геологических процессов и явлений.

Курс геологии готовит студентов к чтению материалов изысканий, их анализу для выбора оптимальных проектных решений по размещению сооружений конструкций и способов производства земельно-скальных работ, соответствующих природным условиям.

Инженер (бакалавр/магистр) должен самостоятельно анализировать предназначенные для него геологические, инженерно-геологические, гидрогеологические карты и разрезы (называемые наглядными пособиями) совместно с текстом отчета об изысканиях. Необходимо не только грамотно использовать этот материал в проектной работе, извлекая всю дорогостоящую информацию, но и планировать дальнейшие исследования.

В связи с этим практические занятия по курсу «Геология» должны вырабатывать в студентах умение и навыки:

- различать минералы и горные породы, и другие полезные ископаемые своего края;
- самостоятельно зарисовывать и описывать обнажения горных пород, отбирать и отрабатывать образцы, составлять коллекции;
- читать геологические карты, составлять геологические разрезы;
- наблюдать за современными геологическими явлениями;
- участвовать в оформлении стендов, геологического музея;
- работать с методическими разработками, научно-популярной литературой, справочниками, определителями;
- самостоятельно изучать разделы дисциплины и писать работы на инженерно-геологические темы, выступать с докладами на конференциях.

Предусмотренные программой практические занятия по геологии позволяют студентам получить навыки практического определения:

- минералов и горных пород;
- пересчета химического состава грунтовых вод и построение графиков;
- коэффициента фильтрации по данным опытных откачек;
- освоение гидрогеологических расчетов, связанных с дренажными сооружениями, а именно: проведение расчета водопритоков к совершенным водозаборам и дренажным канавам;
- ознакомление с геологической документацией – картами, колонками, профилями, а именно: построение карты гидроизогипс и гидрогеологического профиля.

Задачи и упражнения настоящего методического пособия составлены так, чтобы закрепить знания о минералах и горных породах, дать студентам навыки чтения упрощенной инженерно-геологической информации.

Строя геологический разрез в процессе обучения, студент должен получить представление об этой важнейшей форме геологической документации и в дальнейшем уметь ею пользоваться при прохождении других дисциплин, дипломном проектировании и на производстве.

Кроме этого, на практических занятиях студенты знакомятся с современными приборами и оборудованием, применяемыми при изучении физико-механических свойствах горных пород, а также с работами по исследованию всех основных свойств горных пород, используемых при проектировании и строительстве различных сооружений, и по оценке их устойчивости в откосах.

При работе над пособием автором был использован ценный методический опыт ранее издававшихся пособий, таких как:

— задачи и упражнения по инженерной геологии: учебное пособие для вузов под редакцией Чернышева С.Н. и др. [2];

— а также собственный опыт преподавания в Оренбургском Государственном университете [3].

1 Общие положения

При **очном обучении**, в соответствии с планами подготовки бакалавров по направлению 270800.62 «Строительство», дисциплина «Геология» изучается студентами профилей подготовки «Промышленное и гражданское строительство», «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Городское строительство и хозяйство», «Экспертиза и управление недвижимостью» и «Автомобильные дороги и аэродромы».

Цели освоения дисциплины «Геология» (модуля) следующие:

- получить представление о геологической среде;
- освоить очередность залегания, связанных с составом горных пород;
- знать инженерно-геологическую классификацию грунтов;
- освоить взаимодействие подземных вод с горными породами;
- овладеть методами определения свойств горных пород (грунтов);
- получить представление о месте дисциплины в строительной отрасли;
- уметь составлять инженерно-геологическую документацию и

производить инженерно-геологические расчеты.

Основной задачей деятельности бакалавра является изучение основ геологического строения площадки будущего строительства и практическое применение полученных знаний. Изучение дисциплины «Геология» включает работу студента с учебниками, учебными пособиями и методическими указаниями с целью его подготовки к лекционным и практическим занятиям в Оренбургском государственном университете и выполнения самостоятельной работы, предусмотренной рабочей программой.

Формы контроля знаний студента:

- защита выполненных задач и графических построений;
- допуск к экзамену, (тестирование);
- сдача экзамена.

Практические занятия студента имеют познавательный характер.

Целью практических занятий является: закрепление теоретических основ курса; получение навыков работы с минералами, горными породами и грунтами; решения наиболее часто встречающихся гидрогеологических и инженерно-геологических задач, а также ознакомить студентов с приемами построения и анализа наиболее распространенных гидрогеологических карт.

При выполнении работы следует пользоваться Международной системой единиц (в русской транскрипции – система интернациональная – аббревиатура СИ). Изложение и оформление результатов работы следует завершить обобщением собранных сведений и выводами.

Предлагаемые задания соответствуют вопросам рабочей программы и отражают ее разделы. К изучаемой дисциплине прилагается список литературы. В процессе работы студент должен расширить его самостоятельно подобранной литературой или интернет источниками непосредственно по избранной теме.

2 Структура работы и методические рекомендации по ее выполнению

Обязательными структурными элементами работы являются: титульный лист; содержание; перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов (при необходимости); введение; основная часть; список использованной литературы и приложения при необходимости. Допускается не приводить элемент «Введение» при малом объеме оригинала.

➤ Титульный лист является первой страницей работы, но номер страницы на нём не проставляется (приложение А, форма А.1).

➤ В содержании последовательно указываются заголовки всех структурных элементов работы и номера страниц, на которых размещается начало материала (см. приложение А, форма А.2).

➤ Во введении обосновывается выбор темы, характеризуется её теоретическое и практическое значение, современное состояние изучаемой

проблемы, формулируются основная цель и задачи, излагаются методическая основа и структура работы.

➤ Основная часть обычно состоит из логически связанных разделов, подразделов. Каждый раздел является относительно самостоятельной частью работы и должен завершаться краткими выводами, с помощью которых обеспечивается связь между разделами и достигается единство работы в целом.

➤ В заключении подводятся итоги работы, оценивается уровень решения задач, поставленных во введении, и формулируются основные выводы.

3 Требования к содержанию и изложению практической работы

Практический тип работы предусматривает ее оформление с учетом предварительного изучения соответствующих разделов дисциплины, включая диагностику минералов и горных пород и выполнение расчетно-графических работ (по вариантное) Изложение фактических сведений, решений и выводов должно носить краткий и логический характер.

При описании минералов и горных пород конспектирование литературных источников и интернет ресурсов не допускается. Цитаты должны быть использованы для подтверждения достоверности или обоснованности приводимых (заимствованных) фактов, положений и выводов или, наоборот, для их опровержения. Вся цитируемая литература должна быть отмечена ссылками внутри текста. Ссылки указываются порядковым номером по списку литературных и интернет источников и выделяются квадратными скобками или двумя косыми чертами. Литературные источники располагаются в списке по алфавиту фамилий авторов, а у каждого автора по порядку лет издания. Ссылки на второстепенные по значимости, но необходимые факты допускается помещать только в тексте, указывая в круглых скобках инициалы, фамилию автора и год издания его работы. Если фамилия автора упоминается в тексте, то

в круглых скобках дается год издания работы. Ссылки на источники приводимых сведений обеспечивают их фактическую достоверность и авторские права исследователей, а также предоставляют данные о цитируемом источнике: его объеме, содержании, времени исполнения и месте издания.

При решении и оформлении расчетно-графических работ обязательно должны быть таблицы и различные рисунки (схемы, графики, карты и др.), которые делают работу более содержательной и наглядной. Однако их использование должно быть логически обоснованным. Громоздкие, но необходимые материалы выделяются в приложения.

Каждый раздел работы следует завершать краткими выводами. С их помощью обеспечивается связь между отдельными разделами, достигается единство работы, выявляется уровень аудиторной и самостоятельной работы над темой и уровень осмысления излагаемого материала автором.

Кроме того, эти обобщения позволят более кратко и четко изложить основные итоги работы и сформулировать общие выводы в её заключении.

4 Правила оформления работы

Оформление работы ведется в соответствии «Стандарта организации», утвержденного ректором ОГУ 01.10.2010 г., протокол № 50 [4].

Работа представляется в печатном виде на одной стороне листа стандартной бумаги формата А 4 через один интервал.

Текст отчета следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: правое – не менее 10 мм, верхнее и нижнее – не менее 20 мм, левое – не менее 30 мм. Тип шрифта: Times New Roman. Шрифт основного текста – обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов – полужирный, размер 16 пт. Шрифт заголовков подразделов – полужирный, размер 14 пт.

Страницы отчета следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту отчета. Номер страницы проставляют в

центре нижней части листа без точки, начиная со второй страницы. Титульный лист включается в общую нумерацию, но на нем номер не ставится.

Математические знаки необходимо применять только в формулах, в тексте они пишутся словами (минус, меньше или равно, больше или равно, не равно). Числа до десяти при отсутствии размерностей, а также знаки № (номер) и % (процент) пишутся в тексте словами. Интервалы величин записывают в тексте словами «от» и «до», например, масса от 20 до 25 мг.

Иллюстрации (схемы, графики, диаграммы, карты) обозначаются символом «Рисунок» и нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах всей работы. Таблицы нумеруются арабскими цифрами в пределах всей работы. Номер размещается в левом верхнем углу над таблицей, например «Таблица 1» и через тире её наименование. При этом точку после номера таблицы и её наименования не ставят. При переносе таблицы над её продолжением пишут слово «Продолжение таблицы 1».

На все иллюстрации и таблицы, в том числе и на те, которые помещены в приложениях, должны быть ссылки в тексте. Ссылки на источники следует указывать порядковым номером по списку источников, выделенным квадратными скобками. Список использованных источников должен содержать все опубликованные и фондовые материалы, на которые есть ссылки или которые цитируются в тексте.

5 Сроки сдачи работы

Оформленные разделы практической работы сдаются студентами в течение семестра. В целом работа оценивается по пятибалльной системе. Оценка за работу снижается по следующим причинам:

- разделы практической работы оформлены небрежно и с ошибками;
- не соблюдены требования к структурным элементам работы;
- оформление работы не соответствует правилам.

Оценка работы влияет на итоговую оценку.

6 Темы практических занятий. Порядок выбора вариантов работ

Темы практических заданий даны в таблице 6.1 и включают разделы:

- диагностику минералов и горных пород (разделы 7÷8);
- выполнение расчетно-графических работ (разделы 9÷13).

При выполнении студентом расчетно-графических работ номер варианта выбирается по алфавитному списку.

Таблица 6.1 – Темы практических занятий

№ занятия	№ раздела*	Наименование тем
1	2	3
1, 2	-	Породообразующие минералы. Классификация минералов, их свойства и диагностика (P.7)
3, 4	1, 5	Основные горные породы (магматические, осадочные и метаморфические). Их свойства и диагностика. Ознакомление с грунтами по представленным образцам (P.8)
5	2	Физические свойства и химический состав подземных вод. Формы пересчета химического состава подземных вод. Способы графического изображения (P.9)
6	3	Физические основы динамики подземных вод. Фильтрация жидкости в пласте. Расчет коэффициента фильтрации в лабораторных условиях (P.10)
7	4, 6	Условия залегания грунтовых вод. Построение и анализ карт гидроизогипс. Определение расхода подземного потока (P.11)
8	4	Движение подземных вод к искусственным дренажным сооружениям при установившейся фильтрации. Гидрогеологические расчеты. Определение величины притока подземных вод: к водозаборным сооружениям. Определение коэффициента фильтрации в водоносном горизонте методом пробных откачек (расчет и чертеж) (P.12)
9	5, 6	Геологические карты, разрезы, колонки. Построение и анализ гидрогеологических разрезов. (P.13) Характеристика физико-механических свойств горных пород
*Теоретический курс. Задачи и упражнения и примеры решения представлены в пособии по «Гидрогеологии и инженерной геологии», разделы 1÷6 [3].		

7 Породообразующие минералы

7.1 Породообразующие минералы, их основные свойства

7.1.1 Понятие о минералах

Вещество Земли состоит из химических элементов, известных нам по таблице Д.И. Менделеева. К химически активным элементам, образующим разнообразные химические соединения, относятся кислород, кремний, алюминий, железо, магний, натрий и калий. Некоторые химические соединения состоят из солей серной, соляной, фосфорной, угольной и азотной кислот. Одни химические элементы присутствуют в земле самостоятельно и называются самородками (золото, углерод, платина, железо, сера). Некоторые, например, уран, переходят в другие элементы, при их радиоактивном распаде образуется гелий, свинец, родонит, радий. Многие химические элементы при окислении или восстановлении видоизменяются за счет потери или увеличения количества электронов.

Термин «минерал» происходит от позднелатинского *minera* – руда. Иными словами, **минералы** – это природные химические соединения или совокупность химических элементов, находящихся в определенных количествах, соотношениях и связях, которые возникают в земной коре в результате физико-химических процессов, протекающих без участия человека. То есть, минералы являются продуктами определенных физико-химических и термодинамических условий, существовавших в земной коре (температура, давление, состав компонентов) [1].

Изучением минералов занимается наука минералогия. На сегодня известно около 7000 минералов, включая и их разновидности. Основная масса минералов находится в природе в твердом состоянии. Реже встречаются жидкие (ртуть, вода) и газообразные (горючие газы, углекислый газ) минералы. Из всех минералов только несколько десятков имеют широкое распространение

в природе и в составе горных пород. Они называются породообразующими.

Большинство минералов находятся в кристаллическом состоянии. В кристаллической решетке в параллельных направлениях расстояния между частицами одинаковы, а в непараллельных – могут быть разными. Поэтому и свойства кристаллических тел постоянны в одном и не одинаковы в различных направлениях. Такие тела называются *анизотропными*.

В аморфном состоянии такого правильного строения вещества в минералах не наблюдается. У аморфных веществ свойства проявляются одинаково во всех направлениях и такие вещества *изотропны* (например, вулканическое стекло, жидкости, газы – это аморфные минералы).

Тонкоизмельченные твердые вещества в смеси с жидкостью образуют коллоиды. Жидкий коллоид называется золем, студенистый – гелем. Мельчайшие коллоидные частицы – мицеллы (они крупнее молекул и атомов) несут электрические заряды одного знака и отталкиваются в золе. При потере зарядов, подсыхании и других процессах частицы слипаются – это коагуляция. Образовавшиеся при этом гели (студни) со временем теряют воду и подвергаются перекристаллизации. Твердые коллоиды представляют собой скрытокристаллические вещества (например: некоторые тонкозернистые минералы глинистых горных пород).

Каждый минерал имеет определенный химический состав, структуру и свои физические свойства. Каждый минерал имеет определенное внутреннее строение и присущее только ему внешние признаки и характеризуется своими свойствами. Каждый минерал может существовать в природе лишь в определенных термодинамических условиях, при изменении этих условий минеральное тело видоизменяется или разрушается.

Минералы являются составными частями окружающих нас горных пород и руд, используемых человечеством с древних времен. Иногда в земной коре минералы встречаются в виде самостоятельных скоплений, создавая месторождения полезных ископаемых (МПИ). Минеральное сырье в том или ином виде используется в промышленности. Одни минералы содержат в своем

составе металлы (железо, медь, алюминий и др.) и используются в металлургическом производстве, другие, благодаря своим особенностям (огнеупорность, кислотоупорность, устойчивость к морозному выветриванию и др.), используются в химической промышленности, строительстве.

7.1.2 Основные свойства минералов

Каждый минерал обладает определенным химическим составом и имеет характерное для него внутреннее строение, от которого зависят его внешняя форма и свойства.

Методы изучения и определения минералов весьма обширны: визуально или макроскопически минералы определяют в полевой обстановке по цвету, блеску, твердости, форме и т.п. Нередко в полевой обстановке используют и наиболее простые качественные реакции, частично с применением паяльной трубки. При камеральной обработке собранных в поле образцов минералов и горных пород в лабораториях применяются точные методы: определяются оптические константы минералов, изучаются их кристаллографические свойства, радиоактивность, люминесценция, пьезоэлектрические и магнитные свойства, детально исследуется химический состав минералов при помощи химического и физического анализа, а также используются рентгеновский и различные термические методы.

В зависимости от химического состава и кристаллической структуры минералы имеют различные свойства. К основным свойствам относятся:

- 1) морфологические особенности – форма или облик кристаллов, штриховка или скульптура граней;
- 2) оптические свойства – цвет, прозрачность, черта, блеск;
- 3) механические свойства – спайность, излом, твердость;
- 4) дополнительные свойства – хрупкость, ковкость, упругость, плотность, магнитность и др.

Рассмотрим эти свойства с учетом ранее изданных материалов [2, 5, 6].

Морфологические особенности

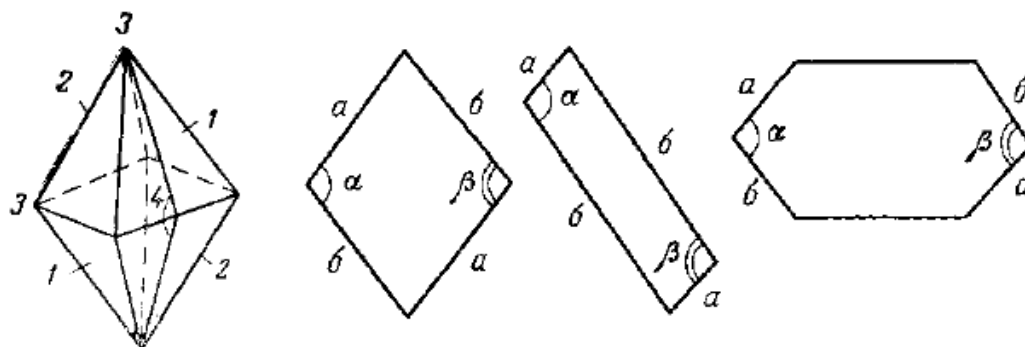
Кристаллы части имеют форму различных многогранников:

- кубов (гексаэдр – форма, состоящая из шести квадратных граней);
- призм (форма, состоящая из трех или большего числа попарно параллельных граней, по форме поперечного сечения они называются ромбическими, гексагональными);
- пирамид (форма, состоящая из трех или большего числа равных граней, пересекающихся в одной точке);
- тетраэдров, (форма, состоящая из четырех равносторонних треугольных граней);
- октаэдров (форма из восьми равносторонних треугольных граней), т.д.

В кристаллах выделяют (рисунок 7.1) [6]:

- грани – плоскости многогранников;
- ребра – линии пересечения граней;
- вершины – точки пересечения трех и более ребер.

Закон постоянства двугранных углов – кристаллы могут быть разного размера, может быть искажена форма граней, но размер угла между соседними гранями – постоянен. Каждый кристалл имеет свой размер двугранных углов.



Условные обозначения: 1, а, б – грани; 2 – ребра; 3 – вершины; 4, α , β – междугранные углы (их постоянство при меняющейся форме кристаллов).

Рисунок 7.1 – Элементы кристаллов

Характерная особенность многогранников – симметрия:

- закономерную повторяемость при вращении кристалла одинаковых граней, ребер и углов;
- зеркальное равенство частей фигуры (одни части кристалла как бы зеркально отражают другие).

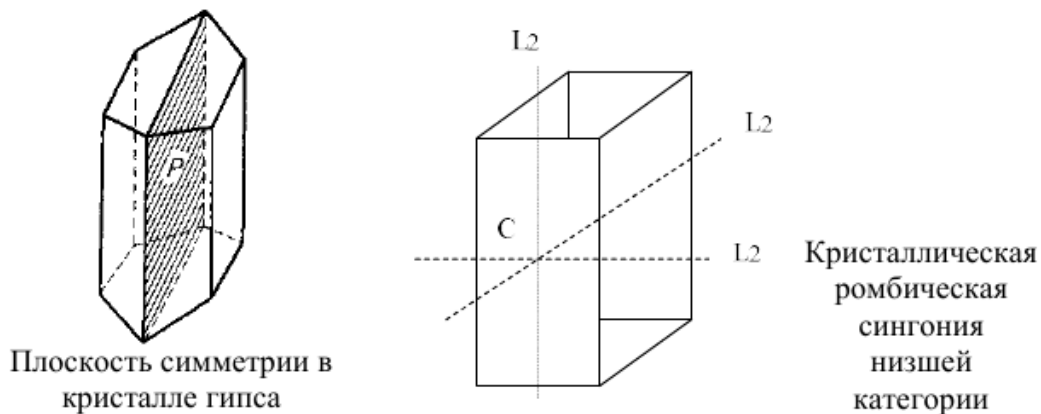
Установлены следующие элементы симметрии:

- плоскость симметрии (P) – воображаемая плоскость, которая делит кристалл на две равные части и одна из них как бы зеркально отражает другую;
- ось симметрии (L) – прямая линия, при вращении вокруг которой на 360° кристалл несколько раз повторяет свое начальное положение в пространстве. В кристаллах могут быть только оси симметрии второго, третьего, четвертого и шестого порядков (L_2, L_3, L_4, L_6);
- центр симметрии (C) – точка пересечения элементов симметрии в данной фигуре (кристалле).

В кристаллах возможны 32 комбинации элементов симметрии, которые называются кристаллографическими классами, или видами симметрии.

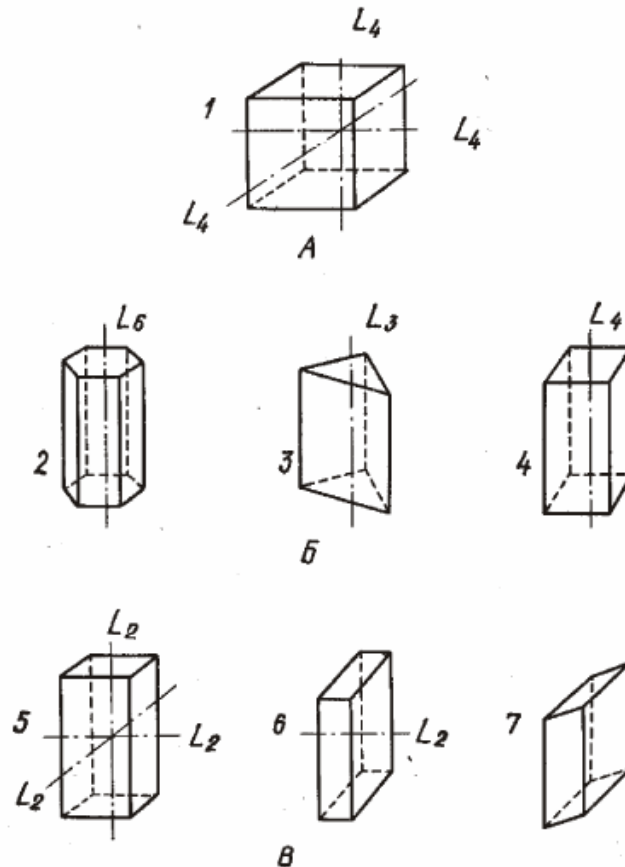
Элементы симметрии приведены на рисунке 7.2.

Кристаллические классы объединяются в семь сингоний (рисунок 7.3).



Условные обозначения: P – плоскость симметрии; L_2 – ось симметрии второго порядка; C – центр.

Рисунок 7.2 – Кристаллическая сингония и элементы симметрии



Условные обозначения: А – высшая сингония: 1 – кубическая; Б – средние сингонии: 2 – гексагональная, 3 – тригональная, 4 – тетрагональная; В – низшие сингонии: 5 – ромбическая, 6 – моноклинная, 7 – триклинная.

Рисунок 7.3 – Кристаллографические сингонии трех категорий

Сингонии в свою очередь объединены в три категории (см. рисунок 7.3):

1) низшая включает три сингонии – триклинная (нет элементов симметрии или есть один центр симметрии – С), моноклинная (ось симметрии второго порядка и плоскость симметрии одна), ромбическая (количество осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии достигают трех);

2) средняя включает три сингонии – тригональная (характерна одна ось симметрии третьего порядка (L_3)), тетрагональная (характерна одна ось симметрии четвертого порядка (L_4)), гексагональная (характерна ось симметрии

шестого порядка (L_6));

3) высшая – одна кубическая сингония (имеются четыре оси симметрии третьего порядка (наряду с L_2 или L_4)).

По форме различаются кристаллы:

- изометрические (например: октаэдры магнетита, кубы пирита);
- вытянутые в одном направлении (волокнистые – асбеста, игольчатые – турмалина, шестоватые – роговой обманки, призматические – кварца);
- вытянутые в двух направлениях (таблитчатые кристаллы вольфрамит, ильменита, пластинчатые кристаллы гематита, слюд, листоватые и чешуйчатые кристаллы хлорита, талька).

Штриховка или скульптура граней, обычно обусловленные неравномерной скоростью роста кристаллов некоторых минералов, является важным определяющим признаком. У одних минералов штриховка проявляется вдоль кристаллов (турмалин, эпидот), у других – поперек (кварц) или же косо с гранями (корунд, шеелит).

Оптические свойства

Цвет – характерное свойство минерала.

Естественная игра цвета у некоторых цветных камней определила их использование в качестве украшений [5].

Многие минералы имеют постоянный цвет. Например, зеленый цвет – у изумруда и малахита; синий – у азурита и лазурита; красный – у пироба и киновари; желтый – у аурипигмента и самородная сера.

У ряда минералов цвета могут быть разные. Например, флюорит бывает всех цветов радуги; кварц может быть бесцветным, белым, серым, желтым, розовым, фиолетовым, черным; топаз – бесцветным, желтым, голубым, фиолетовым, зеленым, розовым.

Прозрачность – это способность минералов, пропускать свет.

В зависимости от степени прозрачности все минералы делятся:

- на прозрачные минералы (горный хрусталь, топаз, мусковит и др.);
- на полупрозрачные (сфалерит, шеелит, гипс, халцедон и др.);
- на непрозрачные (пирит, магнетит, графит и др.).

Черта – цвет порошка минерала (определяется по цвету черты, оставляемой минералом на фарфоровой неглазурованной пластинке – бисквите). Чаще всего цвет черты совпадает с цветом самого минерала, но может и отличаться (вишнево-красная черта у черного гематита, черная – у латунно-желтого пирита, бурая – у черного лимонита и др.)

Блеск – это способность минерала отражать падающий на него поток света. По интенсивности блеска различаются минералы:

- 1) с металлическим блеском (пирит, молибденит, галенит и др.);
- 2) с неметаллическим блеском, различают следующие разновидности:
 - стеклянный (кварц, полевые шпаты, гранаты и др.);
 - алмазный (циркон, сфалерит, самородная сера и др.);
 - полуметаллический (гематит, хромит, киноварь и др.).

Механические свойства

Спайность – это свойство минерала раскалываться по определенным направлениям с образованием плоских зеркальных поверхностей [5].

Данные о спайности минералов дают с оценкой степени ее совершенства и различают: весьма совершенную спайность (слюда, гипс); совершенную (кальцит, флюорит); среднюю (полевые шпаты, роговая обманка); несовершенную (апатит, касситерит); весьма несовершенную (кварц, магнетит).

Излом – это поверхность раскола, прошедшая в минерале не по спайности. Различают изломы ровный, ступенчатый, неровный, занозистый, раковистый.

Твердость. Под твердостью понимают степень сопротивления, которое оказывает поверхность испытываемого минерала царапанием острием, истиранию, шлифованию, давлению и т.д. Это очень важное свойство,

имеющее большое значение для определения минералов в полевых условиях.

За эталоны твердости приняты минералы, входящие в десятибалльную шкалу Мооса (приложение Б, таблица Б.1). По этой шкале каждый последующий в списке минерал царапает предыдущий: твердость 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальцит, 4- флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8- топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Для определения твердости выбирают острый угол на куске минерала и чертят им по гладкой поверхности минералов из шкалы до тех пор, пока не дойдут до такого номера, из шкалы, когда исследуемый минерал не будет давать черты, но наоборот, сам будет чертиться. Например, если исследуемый минерал своим острым углом царапает гладкую поверхность кальцита из шкалы, а сам царапается флюоритом, то это значит, что его твердость заключается между 3 и 4.

При отсутствии этих минералов в первом приближении для определения твердости можно прибегнуть к подручным средствам; необходимо помнить, что твердость ногтя $2 \div 2,5$, медной монеты 3, бронзовой монеты 3,5, оконного стекла 5, лезвия перочинного ножа или бритвы от 5,5 до 6,5, напильника $6,5 \div 7$.

Кроме этого следует учитывать, что твердость минералов меняется в зависимости от направления (в направлении параллельной спайности твердость наименьшая, а в перпендикулярной спайности – наибольшая).

С кристаллохимической точки зрения твердость кристаллических тел зависит от типа структуры и прочности связей атомом (ионов). С увеличением межионных расстояний твердость уменьшается. В целом основная масса минералов имеет твердость от 2 до 6. Более твердые минералы относятся к безводным окислам и силикатам.

Дополнительные свойства

Хрупкость, ковкость, упругость иногда помогают различать минералы, обладающие очень близкими главнейшими свойствами. Так, например, халькозин по ковкости хорошо отличается от похожих на него, но хрупких

блеклых руд, а тонкие листочки хлорита или талька, не обладающие упругостью, отличаются от упругих листочков слюд.

Другие физические свойства – *плотность, магнитность, растворимость в кислотах, вкус, запах*. Химические свойства – *изоморфизм, полиморфизм, псевдоморфизм, парагенез* [7].

7.2 Минералы, их классификация

Классификации различают:

1) по группам – редкие и породообразующие минералы;
2) по генезису (происхождению), при этом учитываются физические свойства минералов и внешние признаки;

3) по внешней форме – это кристаллографическая классификация, где кристаллы – это природные тела, обладающие закономерным внутренним строением и имеющие внешнюю форму в виде геометрически правильных многогранников. Внешняя форма может быть неправильной – аморфные минералы, которые не имеют кристаллической решетки (например, смола).

Кристаллохимическая классификация является основной – в ее основе лежат внутренняя структура и химический состав минералов. Она разделена на **10 классов**. При этом можно отметить, что в структуре некоторых минералов могут присутствовать другие химические элементы (изоморфизм, например, натрий и калий взаимозаменяют друг друга); минералы одинакового химического состава имеют разное внутреннее строение (полиморфизм); в состав минералов может входить свободная и связанная вода, причем при удалении свободной воды не происходит разрушения кристаллической решетки.

Рассмотрим систематику минералов по химическому составу и кристаллической структуре.

I класс. Силикаты. Силикаты – это важнейшие породообразующие минералы. Число минералов из класса силикатов около 800. По массе на их

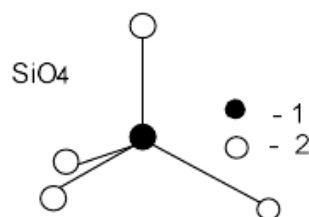
долю приходится до 80 % от веса всех минералов, слагающих земную кору. Они входят в состав горных пород, образовавшихся при застывании магмы (магматических), в состав пород поверхностного происхождения (осадочных) и в состав пород, измененных под влиянием высокой температуры и давления (метаморфических). Следовательно, силикаты могут образовываться в различных условиях, но наиболее характерными для них будут магматические.

Химический состав большинства из них очень сложный. Главные компоненты: Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, иногда Mn, B, а также Zr, Li, OH, F и др.

Наиболее распространенные породообразующие силикаты:

1. Островные силикаты. Оливин, топаз, гранаты, родонит, берилл и др.
2. Цепочные силикаты. Минерал группы пироксенов – авгит и др.
3. Поясные силикаты. Амфиболы – роговая обманка, тремолит и др.
4. Листоватые силикаты. Мусковит и биотит, тальк, глауконит, монтмориллонит, хлориты, серпентин и хризотил-асбест, каолинит и др.
5. Каркасовые силикаты. Натриево-кальциевые полевые шпаты – альбит, лабрадор, плагиоклазы; калиевые полевые шпаты – ортоклаз, микроклин и др.

Для всех силикатов характерно наличие ионной группы SiO_4 , построенной в виде тетраэдра; по его вершинам располагаются центры ионов кислорода, а в центре тетраэдра ион кремния (рисунок 7.4). В некоторых случаях часть ионов кремния может замещаться ионами алюминия, и подобные соединения называются *алюмосиликатами*.



Условные обозначения: 1 – кремний, 2 – кислород.

Рисунок 7.4 – Схема расположения центров ионов в кремнекислородном тетраэдре

II класс. Карбонаты. Минералы кальцит, арагонит, магнезит, доломит, сидерит, малахит, азурит и др.

III класс. Оксиды. Простые окислы – куприт, кварц, касситерит, пиролюзит. Корунд, гематит, магнетит, хромит, рутил и др.

IV класс. Гидрооксиды. Минералы опал, лимонит и др.

V класс. Сульфиды. Минералы пирит, халькопирит, киноварь и др.

VI класс. Сульфаты. Минералы барит, целестин, ангидрит, гипс и др.

VII класс. Галоиды. Минералы флюорит, галит, сильвин, карналит и др.

VIII класс. Фосфаты. Минералы апатит, вивианит и др.

IX класс. Вольфрамиты. Минералы шеелит, вольфрамит и др.

X класс. Самородные элементы. Минералы (химические элементы): серебро, золото, графит, алмаз, сера и др.

7.3 Диагностика основных породообразующих минералов

7.3.1 Исходный материал для определения диагностических признаков минералов

Знакомство с минералами начинается с экскурсии в геологический музей вуза, где представлены обширные коллекции минералов и горных пород.

Если темы о свойствах минералов и их классификации особых трудностей не представляют, то переход к непосредственному изучению минералов требует некоторого количества образцов, над которыми студенты могли бы проводить свои наблюдения.

Исходным материалом служат учебные коллекции минералов кафедры геологии. Большинство экспонатов этих коллекций представляют собой типичные образцы минеральных видов и важнейших парагенезисов, но некоторые представляют собой редкие, и потому ценные минералогические находки. Коллекции ежегодно пополняются из личных собраний преподавателей и студентов, а также фондов геологического музея вуза.

Практические занятия рассчитаны на использование минералогических коллекций двух видов:

а) **эталонных** (находятся в музее вуза и в лаборатории – аудитория 1018), где каждый образец сопровождается специальной этикеткой, содержащей сведения о названии, химическом составе и геологических условиях образования минералов;

б) **рабочих**, представленных образцами минералов без описания.

В тех и других коллекциях минералы систематизированы по типам, классам и подклассам в соответствии с излагаемой на лекциях классификацией.

При работе с коллекциями следует помнить, что они собирались преподавателями и студентами, покупались под заказ и поэтому к ним надо относиться бережно. При этом необходимо соблюдать следующие правила.

Эталонные коллекции предназначены для знакомства с минералами только по их внешним признакам. Образцы из таких коллекций можно брать в руки, рассматривать под лупой и микроскопом, но нельзя раскалывать, определять их твердость, испытывать химическими реактивами. В противном случае они быстро утратят свой первоначальный вид и потеряют коллекционные качества.

Образцы из рабочих коллекций, наоборот, предназначены для практических испытаний. При определении оптических и механических свойств минералов от них можно откалывать небольшие кусочки.

В связи с этим на кафедре геологии имеются наборы шкал твердости Мооса; нож, стекло, фарфоровая пластинка (бисквит), лупа, биноклярный микроскоп; справочное пособие и определители минералов; учебная коллекция, состоящая более чем из 40 минералов, а именно:

1. Силикаты: оливин, гранаты, родонит, авгит, роговая обманка, мусковит и биотит, тальк, хлориты, серпентин и хризотил-асбест, каолинит, альбит, лабрадор, анортит, плагиоклазы, ортоклаз, микроклин, нефелин и др.

2. Карбонаты: кальцит, сидерит, магнезит, доломит, малахит и др.

3. Окислы и гидроокислы: кварц, гематит, магнетит, лимонит, опал и др.

4. Сульфиды: киноварь, галенит, халькопирит, пирит, марказит и др.
5. Сульфаты: гипс, ангидрит, барит, целестин и др.
6. Галоиды: флюорит, галит, сильвин и др.
7. Соли кислородные: шеелит, апатит, фосфорит, вольфрамит и др.
8. Самородные минералы: графит, сера, медь и др.

7.3.2 Методика пользования определителем породообразующих минералов

Из известных на сегодня минералов только несколько десятков имеют широкое распространение. Они и являются составными частями окружающих нас горных пород и руд, используемых человечеством с древних времен.

Существует много различных определителей, которыми можно пользоваться для определения минералов и в которых подробно излагаются и классификация минералов, и свойства минералов, и порядок работы с определителями [5]. Участникам занятий выдается набор-коллекция из трех минералов и двух горных пород. Следует сразу же определиться, какие образцы относятся к минералам, а какие - к горным породам. Для этого следует помнить, что **горная порода - это агрегат** закономерно сростшихся породообразующих минералов (иногда одного минерала) с равномерно-зернистой или порфировидной, мелко, средне- или крупнозернистой структурой. Все другие сростки минералы, не относящихся к породообразующим минералам, нельзя относить к горным породам.

Выбрав, таким образом, минералы, следует приступить к их определению. Прежде всего, нужно установить: к рудным или нерудным относится определяемый минерал.

Рудные минералы черного или темно-серого цвета необходимо проверить, не оказывают ли они влияние на магнитную стрелку, и определить цвет черты, проведя минералом по неглазурованной фарфоровой пластинке. Действие минерала на магнитную стрелку сразу позволит отличить магнетит от

других похожих на него черных минералов. Бурый цвет черты позволит отличить лимонит, а вишнево-бурый - гематит. Многие похожие рудные минералы отличаются твердостью, характером оттенка или побежалости. Так галенит отличается от похожего на него в мелкозернистых агрегатах молибденита большей твердостью, халькопирит от похожего на него пирита отличается меньшей твердостью, более желтым оттенком и появлением иногда побежалости.

При определении нерудных минералов особое внимание нужно обращать на цвет минерала, являющийся часто одной из самых характерных его особенностей, но при этом не следует забывать и о других свойствах - твердости, спайности. Так фиолетовый аметист отличается от фиолетового же флюорита более высокой твердостью (7 против 4) и отсутствием спайности. Более высокой твердостью и отсутствием спайности отличается также белый или бесцветный кварц от такого же флюорита, или зеленый берилл от зеленого флюорита, поэтому проверка минерала на твердость - обязательное условие для успешного его определения.

Помогает определению многих минералов и четкое знание некоторых свойств, присущих тем или иным минералам. Тонкие листочки талька и гипса не обладают упругостью в отличие от похожих пластинок слюд.

Минерал кальцит от похожего барита отличается меньшим удельным весом, минерал апатит голубого и зеленого цвета отличается от похожего берилла не только меньшей твердостью (5 против 7), но и жирноватым блеском. Бесцветный минерал топаз от бесцветного кварца отличается формой кристаллов, штриховкой на гранях, более высокой твердостью (8), сильным блеском и наличием редких плоскостей спайности в одном направлении. Минерал ортоклаз отличается от микроклина, а пироксены от роговых обманок прямыми углами между плоскостями спайности.

Нужно помнить, что в плохих образцах не всегда четко просматривается спайность, поэтому необходимо иметь лупу и рассматривать минерал при некотором увеличении (лучше всего в 5÷10 раз).

При определении минералов нужно исследовать все физические свойства, перечисленные в таблице, выдаваемой студентам. Ниже приводится перечень наиболее распространенных главных породообразующих, акцессорных и рудных минералов, которые необходимо знать и уметь их определять.

Породообразующие минералы: кварц, плагиоклаз, калиевые полевые шпаты (ортоклаз и микроклин), слюды (биотит, мусковит, серицит), амфиболы (роговая обманка, актинолит), пироксены (моноклинные – авгит, диопсид), оливин, нефелин, эпидот, серпентин, тальк, хлорит, кальцит, доломит, графит, каолинит, соли (галит, сильвин) и др.

Акцессорные минералы: гранат, корунд, топаз, берилл, флюорит и др.

Рудные минералы: пирит, халькопирит, галенит, киноварь, гематит, магнетит, лимонит, сера, серебро, золото, барит, гипс и др.

7.3.3 Практические занятия по определению минералов

Перед тем, как приступать к практическим занятиям, студентам необходимо освоить материал лекций, проработать соответствующие разделы учебника и другой рекомендованной литературы. На практических занятиях студентам следует завести специальную тетрадь, в которой по определенной форме выписываются из учебников, справочников и конспектов лекций важнейшие морфологические, физические и другие характеристики минералов. Конспект должен пополняться информацией, получаемой во время занятий, а также данными из научной литературы, которая рекомендована для изучения в качестве дополнительной.

Конспект составляется на развернутых листах общей тетради и имеет форму таблицы (приложение Б, таблица Б.2). На одном листе описывается не более трех-четырёх минералов.

Краткие сведения о минералах заносятся в соответствующие графы:

В **1-й** графе приводится **название минерала** и его кристаллохимическая **формула**.

Наиболее обширная часть конспекта отводится изложению оптических, механических и физических свойств минералов (графы 2÷9).

При описании **цвета и блеска** (графа 2) указывается основная окраска минерала, а иные цвета и оттенки фиксируются как признаки минеральных разновидностей. Цвета вторичных минеральных пленок на поверхности индивидов (побежалость) могут служить важным диагностическим признаком.

В графе 3 необходимо указать границы изменчивости цвета порошка минерала (**черты** на неглазурованной фарфоровой пластинке).

В 4-й графе **блеск** минералов следует указывать по общепринятой шкале (металлический, алмазный, стеклянный). Следует применять в некоторых случаях дополнительные характеристики для индивидов (смоляной, перламутровый, жирный) и агрегатов (матовый, шелковистый).

В графе 5 приводятся данные о **спайности** (излом по спайности) минералов с оценкой степени ее совершенства по принятой шкале (весьма совершенная, совершенная, средняя, несовершенная и весьма несовершенная), указывается **количество плоскостей спайности и их ориентировка** – соответствие граням простой кристаллографической формы. В конспекте следует избегать записей "спайность отсутствует", заменяя подобные фразы некоторых устаревших учебников и справочников действительным указанием на несовершенство спайности.

Заполнение граф 6 и 7 дополнительных пояснений не требует.

В графе 8 следует указать **продукты изменения минералов**, возникшие в результате как поверхностных, так и глубинных процессов преобразования.

В графе 9 в первую очередь отмечается значение минерала для промышленности, строительства, науки и техники. В других случаях минерал может представлять интерес как поисковый или оценочный признак, как важный породообразующий минерал.

Дополнительно может быть указана распространенность минерала в природе, наличие разновидностей, сведения исторического характера и другие, не вошедшие в предыдущие разделы конспекта.

7.3.4. Практика и пример определения диагностических признаков минералов

Обеспечение: эталонные коллекции минералов, экспозиции минералов на кафедре и в музее, наборы шкал твердости, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения.

Исходный материал: образцы рабочей минералогической коллекции.

Задачи:

- характеристика морфологии минеральных индивидов (облик кристаллов, перерисовки структурных схем, кристаллов, двойников);
- определение оптических свойств: цвет, блеск; прозрачность;
- цвет черты;
- плотность (образец представлен преимущественно одним минералом);
- определение механических свойств: спайность, излом, твердость;
- образование и использование.

Объем работы: не менее 4 минералов за одно занятие.

Порядок выполнения работы:

- в начале занятия получить коробку с образцами минералов;
- поочередно для каждого минерала определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;
- провести проверку – определить минерал путем сопоставления его признаков с теми, что представлены в **конспекте свойств минералов и в учебниках** [2, 6, 7, 8];
- представить преподавателю результаты для проверки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом, демонстрацией диагностических признаков минералов непосредственно на образцах (приложение Б, таблица Б.3).

Примечание – Пример формы и результатов определения диагностических признаков главных породообразующих минералов даны в таблице Б.2.

8 Основные горные породы

8.1 Образование минералов и горных пород

Минералы образуются в разнообразных физико-химических и термодинамических обстановках. Но каждый конкретный минерал образуется только при определенной температуре, давлении, концентрации минерального вещества, поэтому и устойчив он только в определенных условиях, близких к тем, в которых он образовался. В другой обстановке минералы постепенно разрушаются, перерождаются, образуют разновидности или даже совершенно новые минеральные образования, устойчивые в новых условиях.

Новые соединения, возникающие в горных породах при различных геологических процессах (эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних)) и производственной деятельности человека (антропогенных), влияют на плодородие почв. Сами горные породы при этом испытывают большие физические и химические изменения. То есть горные породы представляют собой в той или иной степени временные образования и являются отдельными звеньями непрерывной цепи геологических преобразований вещества Земли [9].

Сущность этих процессов состоит в том или ином изменении вещества в соответствии с различными условиями, в которые они попадают (рисунок 8.1).

Лавовые потоки, возникшие в результате излияния магмы на поверхность Земли, разрушаются под воздействием факторов выветривания. Образующийся при выветривании обломочный материал транспортируется в места осадконакопления. Осадки после преобразования (процессы диагенеза и эпигенеза, литификации) превращаются в осадочные горные породы. Осадочные горные породы эпохи тектонических революций могут быть глубоко погребены и метаморфизированы. Так образуются кристаллические сланцы и другие метаморфические породы. Затем эти породы могут быть выведены на поверхность Земли (в складчатых областях) и подвергнуться выветриванию и эрозии. Такой круговорот вещества горных пород совершается

в земной коре постоянно. Одновременно происходит поступление в земную кору нового вещества (базальты, габбро) из мантии. Они присоединяются к массе пород, слагающих континенты. Параллельно часть вещества оттекает из-под континентов и уходит вглубь мантии. Большая же часть поступившего мантийного вещества вовлекается в круговорот в земной коре и подвергается физическому и химическому разрушению и перестройке.

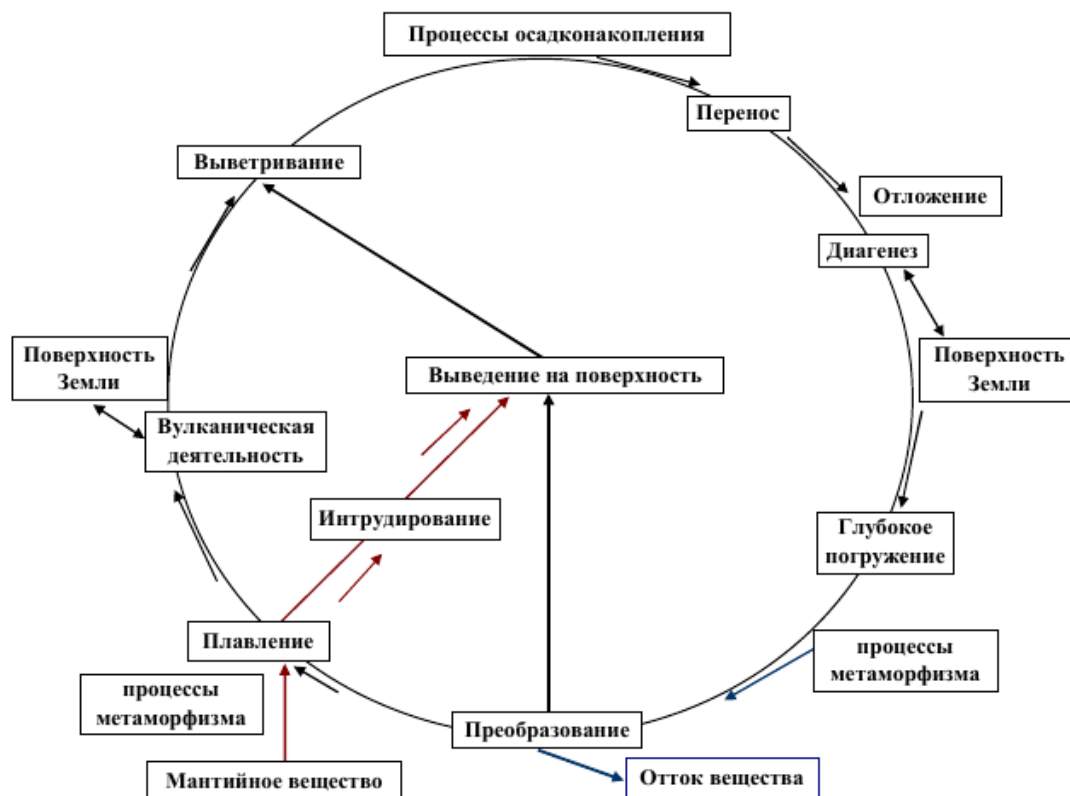


Рисунок 8.1 – Круговорот минерального вещества в земной коре (по Бредшоу)

8.2 Типы горных пород и их свойства. Понятие термина «грунты»

Горные породы представляют естественные минеральные агрегаты, образующиеся в земной коре или на ее поверхности в ходе различных

геологических процессов. По **составу и условиям образования** все **горные породы** делятся на три типа - магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические породы образуются из расплавленной магмы при застывании в земной коре на глубине (интрузивные) или при излиянии ее на дневную поверхность (эффузивные).

Осадочные породы образуются в результате разрушения под воздействием физико-химических процессов (главным образом выветривания) любых других пород, а также в результате жизнедеятельности организмов или непосредственного выпадения химических соединений в водной среде.

Метаморфические породы образуются в результате преобразования магматических и осадочных пород под действием температуры, давления и глубинных растворов, насыщенных летучими веществами.

Горная порода в общем случае рассматривается как **четырёхфазная система**, состоящая из **твёрдого минерального вещества, жидкости, газов и органического вещества**, причем соотношения между этими фазами могут меняться и порода может переходить в другое фазовое состояние.

Свойства горных пород определяют их геолого-петрографические характеристики: **вещественный состав; структура минерального скелета и порового пространства; фазовый состав; структурные** (межминеральные) **связи**, названные П.Н. Панюковым [10] *факториальными*. Далее П.Н. Панюков вводит понятие – *результативные характеристики*, в основу которых положено определение численных показателей **физических, водно-физических и механических** свойств горных пород, устанавливаемые по результатам инженерно-геологических исследований и используемые при проектировании строительных работ.

Инженерно-геологические особенности горных пород и их свойства, как правило, изучают на отдельных **образцах грунта** в лабораторных условиях [11, 12] или для ограниченной толщи грунтов при полевых исследованиях [13, 14]. Обычно только расчетных показателей бывает недостаточно, поэтому исследования образцов всегда **дополняют изучением характеристик пород в**

массиве (на действующих объектах-аналогах или на опытных участках). При строительстве различных инженерных сооружений горные породы являются либо основанием для строительства, либо средой, либо материалом. В этих случаях термин «горные породы», заменяется термином «грунты», иначе, **грунты** – это горные породы, как объект инженерной деятельности человека. При использовании горных пород в строительных целях необходимо знать их характерные признаки, т.е. присущее каждой горной породе постоянство:

- химический состав;
- вещественный (минеральный) состав;
- структуры и текстуры;
- физические водно-физические и механические свойства;
- условия залегания в земной коре (по генезису).

Магматические, осадочные и метаморфические горные породы состоят из одного (мономинеральные) или нескольких (полиминеральные) минералов. Минералы, присутствующие в породе, в количестве более 10 %, называются главными или породообразующими, менее 10 % — второстепенными. Горные породы, в отличие от минералов, **не имеют химической формулы**. Их состав оценивается валовым анализом, при котором определяется процентное содержание минералов в той или иной горной породе.

Предварительное определение **минерального состава** пород производится на свежем сколе породы визуально или с помощью лупы, окончательное – с помощью специальных анализов и оптических приборов.

При оценке роли факториальных характеристик П.Н. Панюков [10] разделяет **структуру** и **текстуру** как строение горной породы соответственно в образце и в массиве.

Структура – это строение породы, обусловленное формой, величиной, количественным соотношением кристаллов, слагающих минералов и способом их соединения (таблица Б.4). Различают структуры полнокристаллические, купно-(5 мм), средне-(1÷5 мм) и мелкозернистые (менее 1 мм). Если размер кристаллов можно различить только с помощью микроскопа, такие структуры

называют микро- или тонкокристаллическими. Выделяют виды структур: скрыто-тонкокристаллические, порфиоровые, порфировидные, пегматитовые, обломочные, шламовые, стекловидные.

Текстура – это сложение породы, которое характеризуется относительным расположением составных частей породы в ее объеме (см. таблицу Б.4). Текстура могут быть: однородными (массивными) и неоднородными. Среди неоднородных выделяют: полосчатые, флюидалные, сланцеватые, миндалевидные.

Структурные связи в горных породах в зависимости от типа контактов между минеральными составляющими. Структурные связи подразделяют на непосредственные (истинные), пластинизированные и механические [10].

Е.М. Сергеевым [15] было предложено объединить термины «структура» и «текстура» под названием «**структурно-текстурные особенности породы**», включающим размер, форму и характер поверхности слагающих элементов (отдельных частиц и агрегатов), относительное их расположение в породе и характер связей между ними. Форма и размер минеральных составляющих, и взаиморасположение в объеме породы зависят от способа и условий их образования, которым соответствуют морфогенетические типы пустотности* (*пустотность – это свободное пространство в минеральном скелете, представленное пустотами различной формы, размера и генезиса).

8.3 Методы изучения горных пород

В инженерной геологии **горные породы изучают** на различных уровнях:

- молекулярном;
- микроструктурном;
- макроструктурном.

В первом случае – для понимания структурных связей между компонентами, слагающими горные породы, и оценки их механических свойств: прочности, деформируемости и устойчивости.

Во втором случае для – определения их минерального и петрографического состава и строения (структуры и текстуры), следовательно, условий образования и обусловленности физико-механических свойств.

В третьем случае – для определения размера, условий залегания и сплошности геологических тел, слагаемых горные породы в земной коре, служащих основанием, средой и строительным материалом для сооружений.

При инженерно-геологическом изучении горных пород в первую очередь исследуют их **физико-механические** свойства, природу этих свойств и факторы, влияющие на их изменение. В соответствии с этим **изучение вещественного состава и строения** горных пород хотя и производится петрографическими методами и приемами, но всегда имеет специализированный характер, так как при этом главное внимание обращается на то, что влияет на их физическое состояние, прочность, деформируемость, устойчивость и водопроницаемость.

Методы исследования вещественного состава и строения горных пород подробно описаны в учебном пособии В.Д. Ломтадзе [12] и рассмотрены ниже.

1. Макроскопическое изучение и описание горных пород.

Макроскопическое изучение и описание горных пород в лабораторных условиях расширяет результаты полевых наблюдений и уточняет их по отношению к определенной пробе пород. В дальнейшем эти породы изучают более детально специальными методами.

При макроскопическом изучении пород дается описание всех основных их признаков: названия, цвета и оттенков, строения (структуры и текстуры). А именно: размера минеральных зерен и обломков, слагающих породу, их формы и однородности размера, а для магматических и метаморфических пород указывается степень их раскристаллизованности, наличие или отсутствие ориентированного расположения зерен и обломков, слоистости, полосчатости, сланцеватости, макропористости и других особенностей текстуры. Затем приводится характеристика основных породообразующих минералов и петрографического состава обломков, а для осадочных пород – состава

цемента и характера цементации.

Особо отмечается наличие различных примесей, включений и вторичных изменений состава и строения породы. Завершается макроскопическое описание характеристикой физического состояния породы: влажности, плотности, консистенции, прочности, выветрелости и др.

При макроскопическом описании используют лупу и 10-и процентную соляную кислоту, наблюдают поведение породы при смачивании водой, растирании и перемятии, при разрушении молотком, ножом, при пенетрации. При этом используют классификационные таблицы и эталоны. Описание может сопровождаться зарисовками и фотографированием деталей состава и строения горных пород.

2. Микроскопическое изучение горных пород в шлифах. Изучение магматических, метаморфических, осадочных цементированных и глинистых горных пород под микроскопом в шлифах* является естественным продолжением их макроскопического изучения (*шлиф – это тонкий срез горной породы – $0,02 \div 0,05$ мм, прикрепленный к стеклу канадским базальтом - смола пихты.). Оно позволяет получить представление о составе и строении породы в целом, т. е. о ее минеральном составе, структуре и микротекстуре, о наличии характерных примесей и включений, об органических остатках, вторичных изменениях, о составе цемента и характере цементации породы, ее пористости и других особенностях состава и строения. Поэтому лабораторное изучение перечисленных групп горных пород всегда следует начинать с микроскопического исследования в шлифах.

Естественно, что микроскопическое изучение дает не для всех горных пород одинаково полную информацию, что и обуславливает необходимость применения для изучения состава и строения некоторых петрографических типов пород еще и других специальных методов. Например, при изучении вещественного состава глинистых пород кроме перечисленных применяют следующие методы: гранулометрический, термический и рентгеновский анализы, окрашивания органическими красителями и исследования под

электронным микроскопом. Для карбонатных пород также кроме исследования в шлифах выполняют термический анализ и исследование составляющих породу минералов иммерсионным методом (от позднелатинского *immersio* – погружение). При исследовании вещественного состава и строения рыхлых несвязных пород (песков и др.) шлифы обычно не изготавливают, а после макроскопического изучения сразу переходят к анализу их гранулометрического состава, после чего изучают минеральный состав частиц, составляющих отдельные фракции пород, под лупой, биноклем или под микроскопом иммерсионным методом.

При изучении пород под микроскопом в шлифах особое внимание уделяют их строению, особенно пород мелко- и тонкозернистых и скрытокристаллических.

При микроскопическом изучении горных пород в шлифах особое внимание уделяют точной диагностике породообразующих минералов и петрографического состава обломков, установлению степени свежести их, наличию вторичных минералов и проявлению процессов, ведущих к ослаблению связей между минералами и обломками и понижению механической прочности породы (серицитизация, каолинизация, хлоритизация и др.). В глинистых породах особое внимание уделяют установлению присутствия органики, ее количества и степени разложенности.

Результаты микроскопического изучения состава и строения пород изображают в виде описаний, зарисовок, микрофотографий и таблиц. По результатам исследований составляют заключение о петрографических особенностях каждого типа пород, определяющих их прочность, устойчивость, деформируемость и другие свойства. Этот метод применяется при строительстве особо важных объектов: тоннелей, плотин.

3. Определение гранулометрического состава песчаных и глинистых пород. Гранулометрический, или механический, состав характеризует осадочные породы в отношении их дисперсности – размеров слагающих частиц, т. е. дает количественную характеристику структуры пород. Он

выражает процентное содержание в породе групп частиц – фракций различных размеров, взятых по отношению к массе абсолютно-сухой породы. Размер фракций, слагающих ту или иную породу, выражают обычно в миллиметрах. Учитывая определенное содержание тех или иных фракций в составе обломочных или глинистых пород, их классифицируют по гранулометрическому составу

Для определения гранулометрического состава горных пород существует несколько методов. Наиболее распространенными являются **ситовый** (применяется преимущественно для характеристики состава псефитов и псаммитов, породу последовательно просеивают через сита с уменьшающим диаметром отверстий) и **седиментационный** (для алевритов и пелитов) методы, применяемые для слабо- и среднесцементированных горных пород.

4. Изучение минерального состава песчаных и глинистых пород. При изучении минерального состава применяются нижеследующие методы.

Иммерсионный метод – этот метод позволяет определять минеральный состав отдельных фракций, слагающих песчаные породы, и устанавливать наличие в их составе неустойчивых (реакционно-способных) минералов. Этот метод позволяет определять (хотя и ориентировочно) минеральный тип глинистых пород.

Метод окрашивания – этот метод определения минерального типа глинистых пород с помощью органических красителей. Он основан на способности глинистых частиц разного кристаллического строения различно окрашиваться органическими красителями.

Термический анализ – этот анализ основан на том, что большинство минералов при нагревании испытывает те или иные физические или химические превращения, сопровождающиеся поглощением или выделением тепла. Качественная характеристика этих процессов может быть получена с помощью автоматической записи дифференциальных кривых нагревания вещества. Зная термические характеристики отдельных минералов, можно определить минеральный состав исследуемых пород.

Электронно-микроскопический метод – один из методов изучения вещества с помощью электронных волн. Для получения изображения изучаемого объекта в электронном микроскопе используют направленный поток электронов, которым просвечивают препарат. При изучении минерального состава глинистых пород с помощью электронного микроскопа кроме прямого метода применяют и косвенный. При этом методе в микроскопе просвечивающего типа исследуют не сам препарат, а отпечаток (слепок) с рельефа его поверхности, называемый репликой. Рассматривая под микроскопом и фотографируя эту реплику, можно получить представление о размере и форме частиц и агрегатов, об их ориентировке и взаимном расположении в породе естественного сложения. Это дает возможность получить представление о некоторых микротекстурных особенностях породы. Отпечатки-реплики получают как с искусственно приготовленных препаратов (пришлифовок), так и со сколов и срезов образцов породы естественного сложения. Данные о строении породы, получаемые в результате таких электронно-микроскопических исследований, могут быть полезными для объяснения особенностей ее свойств.

Структурный анализ (рентгенографический и электронографический). Данные окрашивания, термического и электронно-микроскопического анализов в ряде случаев оказываются недостаточными для точной диагностики глинистых минералов изучаемого образца. Тогда приходится применять структурный анализ, позволяющий однозначно определять структуру минерала и точно диагностировать его. В настоящее время для определения структуры глинистых минералов применяют два метода: рентгенографический, использующий рентгеновские лучи, и электронографический, использующий электронные волны. **Рентгеноструктурный** - определяется минералогический состав независимо от степени дисперсности породы. **Электронно-графический** – исследуется не сам минерал, а копия его поверхности – электронограмма. Ее расшифровка дает представление о структуре и минеральном составе поверхностного слоя глинистых минералов.

5. Изучение минерального состава карбонатных пород. Главнейшими породообразующими минералами карбонатных пород являются кальцит, доломит и терригенные минералы; реже присутствуют сидерит, магнезит и другие карбонатные минералы. В зависимости от количественного соотношения в породе кальцита и доломита наблюдаются постепенные переходы от чистых известняков к чистым доломитам, а в зависимости от соотношения карбонатной и терригенной составляющих выделяется ряд смешанных (переходных) разновидностей пород от известняков и доломитов к глинам либо к песчаникам в зависимости от состава терригенной части. Существенной, а иногда и господствующей частью карбонатных пород являются скелетные остатки различных организмов и их обломки. Для таких пород характерны органогенные структуры, диагностика их трудностей не представляет.

Диагностика и классификация пород известняково-доломитового ряда и карбонатно-глинистого ряда более трудны. Для этого необходимо знать состав и содержание карбонатных минералов в породе, а также состав и содержание терригенной составляющей, образующей нерастворимый остаток при воздействии на породы раствором соляной кислоты.

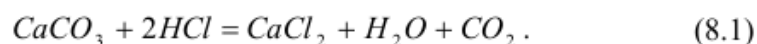
Для предварительной диагностики и определения минерального состава карбонатных пород производят их макроскопическое изучение и исследование в шлифах. Для более точной диагностики и классификации необходимо применять **химический и термический анализы**, исследование в иммерсионных жидкостях и методы окрашивания различными красителями.

Из химических анализов в практике инженерно-геологического изучения карбонатных пород применяют главным образом анализы солянокислых вытяжек из них.

Для изучения минерального состава карбонатных пород с успехом применяется **термический анализ**, так как разложение каждого из карбонатных минералов происходит при определенных температурах. Поэтому кривые нагревания для каждого минерала имеют свои характерные черты.

Хорошие результаты при анализе карбонатных пород дает **термовесовой метод**, так как при их нагревании происходит выделение CO_2 . Это дает возможность получить количественную характеристику минерального типа породы. Надежные результаты при изучении минерального состава карбонатных пород получают, **исследуя их в иммерсионных жидкостях**, так как карбонатные минералы заметно различаются по показателям, преломления и закономерным изменениям оптических свойств с изменением состава. Наконец, для диагностики карбонатных минералов и пород широко применяют метод окрашивания их различными красителями. Этот метод хотя и не всегда дает надежные результаты, однако он прост, позволяет быстро исследовать породы, и поэтому доступен при массовых анализах.

6. Определение карбонатности карбонатно-глинистых и глинистых пород. Определение карбонатности карбонатно-глинистых пород и количества карбонатов в глинистых породах необходимо для правильной их классификации, прогноза свойств, оценки пригодности для использования как сырья в различных отраслях промышленности, а также для решения генетических вопросов и других задач. Как отмечалось выше, карбонаты в карбонатно-глинистых, а также в глинистых породах представлены главным образом углекислыми солями кальция и магния. Простейшим методом определения карбонатности пород является объемный. Сущность его состоит в определении с помощью особого прибора – кальциметра – объема CO_2 , выделяющегося из растертой породы при обработке ее соляной кислотой:



По объему вытесненной из породы углекислоты вычисляют содержание в ней CaCO_3 . В доломитизированных породах объем вытесненной углекислоты следует пересчитывать на карбонаты кальция и магния.

7. Определение содержания и состава водорастворимых солей в глинистых породах. В некоторых карбонатных и особенно в глинистых

породах иногда присутствуют водорастворимые соли, которые обуславливают их неустойчивость при воздействии воды. При выщелачивании солей обычно изменяются плотность сложения пород, их связность, устойчивость и водопроницаемость. В процессе растворения и выщелачивания солей может изменяться в породах состав поглощенных катионов, которые существенно влияют на их свойства. Наконец, при растворении солей изменяются состав и свойства фильтрующейся воды, которая может стать агрессивной по отношению к бетонным и металлическим частям конструкций сооружений.

Все это вызывает необходимость определять содержание и состав водорастворимых солей в глинистых породах при их инженерно-геологической оценке. Причем, если содержание таких солей составляет более 0,3 % от массы сухой породы, то такую породу называют засоленной.

При определении водорастворимых солей в породах применяют такие рациональные химические анализы, как **анализы водных и солянокислых вытяжек**.

8. Определение содержания органического вещества в песчано-глинистых породах. При инженерно-геологическом изучении песчаных и особенно глинистых пород весьма важно знать содержание в них органического вещества (растительных остатков той или иной степени разложения – гумификации), которое влияет на их физические, водные и механические свойства.

В настоящее время не существует универсальных методов количественного определения содержания органического вещества в породах. В практике инженерно-геологических исследований чаще всего пользуются **методами прокаливания, колориметрическим** и реже другими.

9. Определение емкости поглощения и состава обменных ионов в глинистых породах. На физико-механические свойства глинистых пород значительное влияние оказывают их обменная способность и состав обменных ионов. Чем выше обменная способность глинистых пород, тем большее влияние на их физико-механические свойства оказывает состав обменных

(поглощенных) ионов, тем выше их коллоидно-химическая активность и чувствительность к изменениям окружающей среды. Поэтому, прежде всего, следует определять емкость поглощения глинистой породы. Если она окажется достаточно высокой (более 5÷10 мг-экв на 100 г породы), то необходимо далее определять состав обменных ионов; если же емкость поглощения будет ниже указанной величины, то определять состав поглощенных ионов не имеет смысла, так как влияние их на свойства породы будет практически незначительным. Существует большое число разнообразных методов определения емкости поглощения и состава обменных ионов. Для определения емкости поглощения глинистых пород, не содержащих карбонатов и сульфатов, широко применяется метод Е.В. Бабко и О.Л. Аскинази. Этот метод состоит в том, что обменные катионы вытесняются из породы ионом бария 1,0н. раствора BaCl_2 в связи с тем, что барий в глинистых породах практически отсутствует. После насыщения исследуемого вещества барием ионы бария вытесняют 1,0н. раствором соляной кислоты. Затем в фильтрате определяют содержание бария и по количеству его судят о емкости поглощения. Анализ рекомендуется вести при $\text{pH} = 6,5$, так как при более низких значениях pH понижается обменная способность породы, а при более высоких возникает опасность выпадения из раствора карбоната бария. Если в породе содержится гипс, то его предварительно удаляют путем обработки породы 0,2н. раствором HCl до отрицательной реакции на SO_4^{2-} .

8.4 Генетическая и инженерно-геологическая характеристика основных типов горных пород

8.4.1 Исходный материал для определения диагностических признаков горных пород

Знакомство с горными начинается с экскурсии в геологический музей вуза, где представлены обширные коллекции минералов и горных пород.

Если темы о свойствах горных пород и их классификации особых трудностей не представляют, то переход к непосредственному изучению горных пород требует некоторого количества образцов, над которыми студенты могли бы проводить свои наблюдения.

Исходным материалом служат учебные коллекции горных пород кафедры геологии. Коллекции ежегодно пополняются из личных собраний преподавателей и студентов, а также фондов геологического музея вуза.

Практические занятия рассчитаны на использование коллекций горных:

а) **эталонных** (находятся в музее вуза и в лаборатории – аудитория 1018), где каждый образец сопровождается специальной этикеткой, содержащей сведения о названии, химическом и минеральном составе, текстуре и структуре и геологических условиях образования горных пород;

б) **рабочих**, представленных образцами горных пород без описания.

Коллекции горных пород систематизированы по типам, классам и подклассам в соответствии с излагаемой на лекциях классификацией.

Эталонные коллекции предназначены для знакомства с минералами только по их внешним признакам. Образцы из рабочих коллекций, наоборот, предназначены для практических испытаний.

В связи с этим на кафедре геологии имеются коллекции магматических, осадочных и метаморфических горных пород; лупы, нож, биноклярный микроскоп; коллекции грунтов и шлифов; справочное пособие, определители.

8.4.2 Магматические горные породы

Магматические горные породы наряду с метаморфическими составляют основную массу земной коры, однако, на современной поверхности материков области их распространения сравнительно невелики. В земной коре они образуют тела разнообразной формы и размеров, так называемые **структурные формы**, состав и строение которых зависят от химического состава исходной для данной породы магмы и условий ее застывания (таблица Б.5).

Методика пользования определителем и классификатором

Поскольку в основе классификации магматических горных пород лежит их химический состав, то общим выражением состава горной породы будет количество **главных породообразующих минералов** - кварца, плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и темноцветных минералов [5, 16, 17].

По содержанию кремнекислоты (SiO_2) магматические горные породы делятся на четыре группы – ультраосновные породы, содержащие менее 45 % кремнезема, основные - 45÷52 %, средние-52÷65% и кислые - более 65 %. Отдельно выделена группа щелочных пород, которая имеет ограниченное распространение, приурочена к щелочным комплексам и по содержанию кремнекислоты соответствует группе средних пород (таблица Б.6).

В **ультраосновных и основных** породах кремнекислота входит в состав силикатов и поэтому кварц в свободном виде не встречается. В **средних и кислых** породах часть кремнекислоты, не входящая в силикаты, выделяется в виде свободного кварца. Содержание кварца в средних породах достигает 10÷15 %, а в кислых – 25÷30 %. По этому признаку породы первых двух групп легко отделяются от двух последних. Далее разделение пород идет по количеству и составу плагиоклазов и полевых шпатов. Ультраосновные породы их обычно не содержат, поэтому легко отделяются от основных пород. В основных породах содержание плагиоклазов колеблется в очень широких пределах – от 10 до 95 %. Установив, к какой группе принадлежит порода, дальнейшее определение ее идет по содержанию и составу темноцветных минералов: оливина, пироксенов, амфиболов, слюд [5].

Зная химический состав этих минералов, нетрудно убедиться, что в основных породах преобладают темноцветные минералы, менее богатые кремнеземом, а в кислых - преимущественно светлые минералы.

Такое соотношение темноцветных и светлых минералов обуславливает, светлую окраску кислых пород, более темную основных и черную ультраосновных минералов. С этим же связано увеличение плотности пород от

кислых ($2,58 \text{ г/см}^3$) к ультраосновным (до $3,4 \text{ г/см}^3$) (см. таблицу Б.6).

В зависимости от условий, в которых происходило застывание магмы, магматические породы делят на ряд групп: **породы глубинные**, или **интрузивные**, образовавшиеся при застывании магмы на глубине, и **породы излившиеся**, или **эффузивные**, связанные с застыванием магмы, излившейся на поверхность, т.е. лавы. Среди интрузивных пород выделяют ряд разновидностей по глубине застывания магмы, а также жильные породы, связанные с застыванием магмы в трещинах. К вулканическим породам относятся пирокластические, представляющие скопление выброшенного при вулканических взрывах и осевшего на поверхность материала - куски застывшей в воздухе лавы, обломки минералов и пород. **Физико-химические условия** застывания магмы на глубине и лавы на поверхности различны, соответственно различны и образующиеся при этом породы. Наиболее резко это выражается в **структуре** пород. На глубине при медленном застывании магмы в условиях постепенного снижения температуры и давления, в присутствии летучих компонентов, способствующих кристаллизации, образуются породы с **полнокристаллической структурой**. Размеры кристаллических зерен зависят от свойств магмы, режима охлаждения, скорости кристаллизации. Излившаяся на поверхность лава попадает в иные условия температуры и давления, теряет растворенные в ней газы и застывает или в виде аморфной массы, имеющей **стекловатую структуру**, или образует **микrokристаллическую** массу. Интрузивные породы обладают **массивной текстурой**, характеризующейся отсутствием ориентировки минеральных зерен. Реже встречается ориентированная текстура, отражающая движение магмы в процессе застывания, а также результат ее гравитационной дифференциации. В эффузивных породах ориентированная текстура возникает чаще. При этом кристаллические зерна, струи стекла, пустоты располагаются упорядоченно по направлению течения потока лавы и породы приобретают **флюидальную текстуру**. Для них характерна также **пористая текстура**, отражающая процесс выделения газов при застывании лавы (см. таблицу Б.4) [17].

Практические занятия по определению магматических горных пород

Перед тем, как приступать к практическим занятиям, студентам необходимо освоить материал лекций, проработать соответствующие разделы учебника и другой рекомендованной литературы. На практических занятиях студентам следует завести специальную тетрадь, в которой по определенной форме выписываются из учебников, справочников и конспектов лекций важнейшие характеристики **магматических горных пород**. Конспект должен пополняться информацией, получаемой во время занятий, а также данными из учебной и научной литературы.

Конспект составляется на развернутых листах общей тетради и имеет форму таблицы (см. приложение Б, таблицу Б.4). На одном листе описывается не более трех-четырёх образцов. В таблице Б.6 помещены наиболее распространенные интрузивные и эффузивные горные породы и указаны их характерные признаки, позволяющие наметить путь определения пород.

Краткие сведения о породах заносятся в соответствующие графы:

В **1-й** графе приводится **название горной породы**.

В графе 2 следует указать **продукты изменения горных пород**, возникшие в результате как поверхностных, так и глубинных процессов преобразования.

В графе 3 указывается цвет породы и оттенки.

В графе 4 указывается минеральный состав.

В графах 5-6 указываются структура и текстура.

В графе 7 указываются физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию; выделяют легкие и тяжелые породы (взвешиванием на ладони); определяют крепость и прочность породы путем приложения усилий (удар молотком).

В графе 8 в первую очередь отмечается применение горной породы в инженерно-строительной практике. Сведения исторического характера могут быть указаны дополнительно.

Практика и пример определения диагностических признаков магматических горных пород

Обеспечение: эталонные коллекции горных пород, экспозиции горных пород на кафедре и в музее, коллекции магматических горных пород; коллекции грунтов и шлифов, лупа, нож, биноклярный микроскоп.

Исходный материал: образцы рабочей коллекции магматических горных пород, справочные пособия.

Задачи:

- образование исходящей породы;
- определение свойств: цвет, твердость;
- описание минерального состава с использованием пособий;
- описание структуры и текстуры (см. таблицу Б.4);
- показатели физико-механических свойств (плотность, влажность, пористость, прочность), устойчивость к выветриванию (приложение Б, [3]);
- использование.

Объем работы: не менее 3 образцов за одно занятие.

Порядок выполнения работы:

- в начале занятия получить коробку с образцами породы;
- поочередно для каждого образца определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;
- провести проверку – определить породу путем сопоставления его признаков с теми, что представлены в **конспекте свойств горной породы**, в учебниках и справочных пособиях [2, 6, 7, 17];
- представить преподавателю результаты для проверки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом, демонстрацией диагностических признаков породы непосредственно на образцах (см. приложение Б, таблицу Б.6).

Примечание – Пример формы и результатов определения диагностических признаков горных пород даны в таблице Б.6.

Магматические горные породы обычно очень прочные, для них характерно наличие жестких кристаллических связей между частицами. Под воздействием веса сооружений они заметно не деформируются, в воде практически нерастворимы. Однако эти породы всегда разбиты трещинами, что несколько снижает их физико-механические свойства, особенно при оценке этих пород при карьерной разработке полезных ископаемых и для гидротехнического строительства. Как основание различных сооружений слабобыветреловые магматические породы очень устойчивы [3, 15, 18].

8.4.3 Осадочные горные породы

Классификация осадочных пород дана в приложении Б, таблица Б.7.

На поверхности Земли в результате действия различных экзогенных факторов образуются осадки, которые в дальнейшем уплотняются, претерпевают различные физико-химические изменения – диагенез, и превращаются в осадочные горные породы. Осадочные породы тонким чехлом покрывают около 75 % поверхности континентов. Многие из них являются полезными ископаемыми.

По условиям образования осадочные породы делятся на следующие группы (см. таблицу Б.7):

- 1) обломочные, образующиеся в результате физического разрушения материнских пород и накопления их обломков;
- 2) пирокластические - продукты раздробления горячей лавы в результате вулканических извержений;
- 3) глинистые породы, являющиеся продуктом преимущественно химического разрушения пород и накопления возникших при этом глинистых минералов;
- 4) химические (хемогенные) и органогенные породы, образовавшиеся в результате химических и биологических процессов;
- 5) породы смешанного происхождения.

Методика пользования определителем и классификатором

При описании осадочных горных пород так же, как и магматических, следует обращать внимание на их минеральный состав и строение. Первый является определяющим признаком для химических и органогенных пород, а также глинистых при микроскопическом их изучении. В обломочных породах могут присутствовать обломки любых минералов и горных пород.

Характерной особенностью осадочных пород является их слоистость (слоистая текстура, см. таблицу Б.4), которая обусловлена параллельным расположением пластинчатых минералов или различием состава, размерности минералов или обломков, окраски отдельных слоев. Образование слоистости связано с условиями накопления осадков. Мощность слоев может достигать десятков метров или не превышать долей сантиметра (см. таблицу Б.5).

Важным текстурным признаком осадочных пород является также пористость, характеризующая степень их проницаемости для воды, нефти, газов, а также устойчивость под нагрузками. Невооруженным глазом видны лишь относительно крупные поры; более мелкие легко обнаружить, проверив интенсивность поглощения породой воды. Например, породы, обладающие тонкой, не видимой глазом пористостью прилипают к языку [5, 16, 17].

Обломочные породы (см. таблицу Б.7) по гранулометрическому составу (размеру обломков) делятся на: грубообломочные (агломератовые), крупнообломочные (псефитовые), мелкообломочные (псаммитовые) и тонкообломочные (пелитовые). Такое же деление по размеру обломков имеют и пирокластические породы - туфы.

При определении породы важным является их вещественный состав (обломков и цемента). Так *конгломераты*, *гравелиты* и *песчаники* могут состоять из обломков различных горных пород (*гранитов*, *амфиболитов*, *гнейсов*, *известняка*, *кварца* и т.д.), сцементированных мелкообломочным, глинистым или карбонатным материалом, и в этом случае называются **ПОЛИМИКТОВЫМИ** (из обломков многих минералов). Если же в составе

обломков преобладает один какой-то материал, например, *полевые шпаты*, породы называются **олигомиктовыми**, а если породы состоят из обломков только одного минерала - чаще всего *кварца*, они называются **мономиктовыми**.

Пирокластические породы по сути дела представляют обломочные породы, но только обломки в меньшей степени подвержены сортировке по размеру, почти всегда остроугольные. Округлые формы (*бомбы, лапилли*) они приобретают не в результате их окатанности, а в результате быстрого остывания выброшенных в воздух капель или небольших порций жидкой лавы.

Падая на землю, обломки могут накапливаться в рыхлом состоянии, цементироваться или спекаться под действием высоких температур. Название пирокластической породы зависит от размера обломков, степени цементации и состава, например, *псаммитовый туф порфиритов андезитового состава*.

Все обломочные породы широко используются в различных отраслях строительства, чистые кварцевые пески - при изготовлении стекла.

Глинистые породы (см. таблицу Б.7). Глинистые породы отдельно выделяют из группы обломочных пород, т.к. они обладают особыми свойствами и являются наиболее распространенными осадочными породами, на долю которых приходится больше 50 % от объема всех осадочных пород.

Различают глины *осадочные* (переотложенные, вторичные) и *остаточные* (первичные). Первые более распространены и образуются преимущественно в результате осаждения из воды тонко-взмученного материала, как в морях, так и на суше. Они могут быть прибрежно-морскими, лагунными и континентальными – аллювиальными, делювиальными, озерными и т. д. Вторые образуются на месте залегания в результате химического выветривания. Глинистые породы в основном состоят из мельчайших кристаллических (реже аморфных) зерен глинистых минералов. Главные составные части глин — SiO_2 (40÷70 %), Al_2O_3 (10÷35 %), K_2O , Na_2O , MgO , Fe_2O_3 и H_2O . Глины представлены разнообразными обломками размером меньше 0,01÷0,005 мм.

В мелкодисперсной фракции глин ($< 0,002$ мм) присутствуют глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и др.). В грубой фракции ($> 0,002$ мм) встречаются кварц, реже слюды. Цвет глин разнообразен – белый, бурый, зеленый, зависит от минерального состава глинистой массы и от тех или иных красящих примесей. Например, окислы железа, органическое вещество окрашивают глины в черные и темно-серые цвета. Сильно уплотненные глины носят название *аргиллитов*. В этой стадии уплотнения глины теряют свойство пластичности и становятся твердыми. Аргиллиты – обладают массивной или тонкоплитчатой текстурой. Обычно окрашены в более темные, чем глины, цвета [17].

Химические и органогенные породы (см. таблицу Б.7) образуются преимущественно в водных бассейнах. Структура хемогенных пород определяется агрегатным состоянием минералов их слагающих – кристаллическим или аморфным и размерами кристаллических зерен. Структура органогенных пород – состоянием слагающих их органических остатков и принадлежностью организмов к тем или иным группам. Классификация хемогенных и органогенных горных пород обычно производится по химическому составу слагающих их минералов.

Например, **хемогенные** карбонатные породы – *известняки* (CaCO_3) и *доломиты* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); сульфатные – *гипс* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и *ангидрит* (CaSO_4); галоидные – *галит* (NaCl) и *сильвин* (KCl). Химическое происхождение имеют *гейзериты* и *кремнистые туфы*, состоящие также из опала. Это светлоокрашенные породы с пористой текстурой. Образуются на поверхности из вод гейзеров и горячих минеральных источников.

Например, к **биогеогенным** породам относятся *диатомиты* и *радиоляриты*, состоящие из мельчайших, не различимых невооруженным глазом скелетных остатков диатомовых водорослей и радиолярий, скрепленных опаловым цементом. Макроскопически это белые, светло-серые или светло-желтые породы, легко растирающиеся в тонкий порошок, пачкающие руки. Очень легкие (объемная масса $0,4 \div 0,85$), что обусловлено большой

микропористостью. С этим связана способность этих пород жадно впитывать влагу (липнут к языку). Иногда органические остатки бывают столь мелки, что невооруженным глазом не могут быть обнаружены. В таких случаях макроскопически не удастся установить принадлежность породы к тому или другому из названных генетических типов. К таким породам относится, например, *мел*, состоящий в основном из раковинок фораминифер и остатков кокколитофорид (известковых водорослей), не видимых невооруженным глазом и часто претерпевших значительные изменения.

Кроме песчаных, пылеватых и глинистых пород существует еще ряд **смешанных пород** (см. таблицу Б.7), состоящих из частиц разных размеров и состава. К ним относятся *супеси*, содержащие наряду с песчаными до 20-30 % глинистых частиц, и *суглинки*, в которых количество глинистых частиц увеличивается до 40-50 %. Соответственно с этим меняются и свойства пород, что прежде всего выражается в уменьшении пластичности при намокании от глини к пескам. Одной из распространенных пород смешанного состава является *мергель* - порода, состоящая из кальцита и на 25÷75 % из глинистых частиц. Внешне она мало отличима от известняков. Определяющим признаком является реакция с соляной кислотой, после которой на высохшей поверхности породы возникает пятно, вызванное концентрацией глинистых частиц. Кремнистые породы – *опал* ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и *халцедон* (SiO_2), так же, как карбонатные (например, *известняк-ракушечник*), могут иметь биогенное, химическое и смешанное происхождение.

Практические занятия по определению осадочных горных пород

Осадочные горные породы, слагающие верхнюю зону литосферы, подразделяются на три генетические группы: морские, лагунные и континентальные. Внутри этих групп по ряду признаков и по совокупности физико-механических свойств выделяют многочисленные типы, подтипы, разновидности и т.п.

В частности, важной особенностью **обломочных осадочных горных** пород является то, что они состоят из твердых минеральных частиц и пор, которые заполнены поровым раствором и воздухом. Поровый раствор представляет собой воду, присутствующую в порах грунтов, в которой всегда содержатся в электролитически-диссоциированном виде катионы и анионы. Таким образом, рыхлые грунты состоят их твердой, жидкой и газообразной фаз, включая растворенные вещества.

В данных природных условиях количество твердых частиц (минеральной части) в грунтах неизменно, а соотношение между воздухом и поровым раствором во времени может изменяться, соответственно изменяются и свойства пород, особенно **глинистых**.

В **глинистых осадках** с момента их образования протекают сложные диагенетические процессы, обусловленные взаимодействием различных факторов – механического уплотнения, химических, физико-химических и биохимических процессов, в совокупности обуславливающие литификацию осадка и превращения его в породу. В результате диагенетических процессов прочность глинистых пород увеличивается [3, 15, 18].

Перед тем, как приступать к практическим занятиям, студентам необходимо освоить материал лекций, проработать соответствующие разделы учебника и другой рекомендованной литературы.

На практических занятиях студентам следует завести специальную тетрадь, в которой по определенной форме выписываются из учебников, справочников и конспектов лекций важнейшие характеристики **осадочных горных пород**. Конспект должен пополняться информацией, получаемой во время занятий, а также данными из учебной и научной литературы.

Конспект составляется на развернутых листах общей тетради и имеет форму таблицы (приложение Б, таблицы Б.8 и Б.9). На одном листе описывается не более трех-четырёх образцов.

В **таблице Б.8** помещены наиболее распространенные **обломочные осадочные горные породы** и указаны их характерные признаки, позволяющие

наметить путь определения пород.

Краткие сведения о породах заносятся в соответствующие графы:

В **1-й** графе приводится **название горной породы**.

В графе 2 следует указать размер и окатанность обломков.

В графе 3 указывается тип цементации и состав цемента.

В графе 4 указывается цвет и минеральный состав.

В графах 5 указывается текстура.

В графе 6 указываются физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию; выделяют легкие и тяжелые породы (взвешиванием на ладони); определяют крепость и прочность сцементированной породы путем приложения усилий (удар молотком).

В графе 7 в первую очередь отмечается применение горной породы в инженерно-строительной практике. Сведения исторического характера могут быть указаны дополнительно.

В таблице Б.9 помещены наиболее распространенные **прочие осадочные горные породы** и указаны их характерные признаки, позволяющие наметить путь определения пород.

Краткие сведения о породах заносятся в соответствующие графы:

В **1-й** графе приводится **название горной породы**.

В графе 2 указывается цвет и минеральный состав.

В графе 3 указывается группа.

В графах 4-5 указываются структура и текстура.

В графе 6 указываются физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию; выделяют легкие и тяжелые породы (взвешиванием на ладони); определяют крепость и прочность породы путем приложения усилий (удар молотком).

В графе 7 в первую очередь отмечается применение горной породы в инженерно-строительной практике. Сведения исторического характера могут быть указаны дополнительно.

Практика и пример определения диагностических признаков обломочных осадочных горных пород

Обеспечение: эталонные коллекции горных пород, экспозиции горных пород на кафедре и в музее, коллекции обломочных осадочных горных пород; коллекции грунтов и шлифов, лупа, нож, бинокулярный микроскоп.

Исходный материал: образцы рабочей коллекции обломочных осадочных горных пород, справочные пособия.

Задачи:

- образование и использование исходящей породы;
- определение размера и окатанности обломков;
- определение типа цементации и состава цемента;
- описание цвета и минерального состава с использованием пособий;
- описание структуры и текстуры (см. таблицу Б.4);
- показатели физико-механических свойств (плотность, влажность, пористость, прочность), устойчивость к выветриванию (приложения Б и В, [3]).

Объем работы: не менее 4 образцов за одно занятие.

Порядок выполнения работы:

- в начале занятия получить коробку с образцами породы;
- поочередно для каждого образца определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;
- провести проверку – определить породу путем сопоставления его признаков с теми, что представлены в **конспекте свойств горной породы**, в учебниках и справочных пособиях [2, 6, 7, 17];
- представить преподавателю результаты для проверки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом, демонстрацией диагностических признаков породы непосредственно на образцах (см. приложение Б, таблицу Б.8).

Примечание – Пример формы и результатов определения диагностических признаков горных пород даны в таблице Б.8.

Практика и пример определения диагностических признаков прочих осадочных горных пород

Обеспечение: эталонные коллекции горных пород, экспозиции горных пород на кафедре и в музее, коллекции прочих осадочных горных пород; коллекции грунтов и шлифов, лупа, нож, биноккулярный микроскоп.

Исходный материал: образцы рабочей коллекции прочих осадочных горных пород (хемогенные, биогенные и смешанные), справочные пособия.

Задачи:

- образование и использование исходящей породы;
- описание цвета и минерального состава с использованием пособий;
- группа породы; описать все инородные в породе включения (органические остатки, конкреции, прожилки, и т. д.);
- описание структуры и текстуры (см. таблицу Б.4);
- показатели физико-механических свойств (плотность, влажность, пористость, прочность), устойчивость к выветриванию (приложения Б и В, [3]).

Объем работы: не менее 4 образцов за одно занятие.

Порядок выполнения работы:

- в начале занятия получить коробку с образцами породы;
- поочередно для каждого образца определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;
- провести проверку – определить породу путем сопоставления его признаков с теми, что представлены в **конспекте свойств горной породы**, в учебниках и справочных пособиях [2, 6, 7, 17];
- представить преподавателю результаты для проверки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом, демонстрацией диагностических признаков породы непосредственно на образцах (см. приложение Б, таблицу Б.9).

Примечание – Пример формы и результатов определения диагностических признаков горных пород даны в таблице Б.9.

8.4.4 Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы возникают в земной коре в результате преобразования первичных осадочных и магматических горных пород, приводящего к изменению первичной структуры, текстуры и минерального состава в соответствии с новой физико-химической обстановкой [5, 16, 17].

Главными факторами (агентами) метаморфизма являются эндогенное тепло, всестороннее (петростатическое) **давление**, **химическое воздействие** газов и флюидов. Постепенность нарастания интенсивности факторов метаморфизма позволяет наблюдать все переходы от первично осадочных или магматических пород к образующимся по ним метаморфическим породам. Метаморфические породы обладают полнокристаллической структурой. Размеры кристаллических зерен, как правило, увеличиваются по мере роста **температур** метаморфизма.

Методика пользования определителем и классификатором

Для метаморфических пород наиболее типичны ориентированные плотные **текстуры** (например, сланцеватая текстура, гнейсовидная текстура). Внешне эти текстуры напоминают слоистость осадочных пород, но их происхождение связано не с процессом накопления осадков, а с перекристаллизацией и переориентировкой минеральных зерен в условиях ориентированного давления. Различают основные типы метаморфизма: контактовый (локально-термальный), динамометаморфизм (действие высокого давления, таблица 8.1 и таблица Б.5) и региональный (динамотермальный).

При **контактовом метаморфизме** в результате внедрения интрузивных тел под действием высоких температур (850 °С и более) на вмещающие породы, последние перекристаллизовываются. Процесс протекает как без изменения химического состава, так и с существенным изменением химического состава. В первом случае из известняков образуются *мраморы*, а

во втором образуется новая порода – *скарны*. Из алюмосиликатных пород (глины) чаще всего образуются *контактовые роговики* – характерные тонкозернистые очень плотные породы темно-серого цвета, при ударе молотком раскалывающиеся на остроугольные обломки. Контактному метаморфизму подвержены обычно *небольшие массы горных пород*, непосредственно примыкающие к зоне самого контакта с интрузией.

Таблица 8.1 – Зоны образования метаморфических пород. Пример изменения с глубиной процесса динамометаморфизма (в земной коре)

Поля и зоны	Толщи горных пород зон (А) и (В) и зон метаморфизма (С ₁ , С ₂ и С ₃)			
	Песок	Глина	Известняки	Гранит
Поле выветривания (А)	Песок	Глина	Известняки	Гранит
Поле цементации (В)	Песчаник	Глинистый сланец	Полукристаллический известняк	-
Начальная степень метаморфизма – эпиподзона (С ₁)	Кварцит	Филлит	Мелкозернистый мрамор	-
Интенсивная степень метаморфизма – мезоподзона (С ₂)	Сланцевый кварцит	Слюдистый сланец	Среднезернистый мрамор	-
Максимально-интенсивная степень метаморфизма – катаподзона (С ₃ – аналог регионального метаморфизма)	Перекристаллизованный кварцит	Парагнейс*	Крупнозернистый мрамор	Ортогнейс*
*Метаморфические породы могут образоваться за счет изменения как магматических, так и осадочных пород, к названиям метаморфических пород, возникших по магматическим породам, прибавляется приставка "орто" (например, ортогнейсы), а к названиям метаморфических, первично-осадочных пород - приставка "пара" (например, парагнейсы).				

При **региональном метаморфизме** под действием физических факторов – температуры и давления, преобразованию подвергаются *огромные массы первичных пород* с образованием новых минеральных парагенезисов без изменения в целом химического состава исходных пород. Повышение температуры и давления происходит с глубиной, первой - за счет геотермического градиента, второго за счет веса вышележащих пород (литостатического давления, на глубине 5÷30 км).

В зависимости от величины температуры и давления различают следующие основные **фации метаморфизма**: зеленосланцевую, амфиболитовую и гранулитовую.

Породы зеленосланцевой фации, получившее за свой цвет общее название - *зеленые сланцы*, характеризуются тонкосланцеватой текстурой. При раскалывании они расщепляются на **тонкие пластинки**. Основными породообразующими минералами для них являются: *хлорит, серицит, альбит, эпидот, кварц, актинолит*.

Породы амфиболитовой фации – **более плотные**, лучше раскристаллизованы, при раскалывании образуют более **толстые пластины** и плитки. Характерные породообразующие минералы – *роговая обманка, средний плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кварц, мусковит, гранат*. Из кварцсодержащих пород образуются *гнейсы* (биотитовые, гранатовые и др.). Из основных магматических пород образуются *амфиболиты*, состоящие из роговой обманки и среднего или основного плагиоклаза, часто с гранатом.

Породы гранулитовой фации – гранулиты, являются наиболее высокотемпературными среди метаморфических пород. Они представляют собой **мелкозернистые породы сланцеватой или гнейсовидной текстуры**, состоящие преимущественно из *кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата, граната*, иногда с небольшим количеством *кианита, шпинеля, роговой обманки, пироксена, редко – оливина*. В древних блоках земной коры широко развиты основные гранулиты – чаще всего *двупироксеновые кристаллические сланцы*.

Практические занятия по определению метаморфических горных пород

Перед тем, как приступать к практическим занятиям, студентам необходимо освоить материал лекций, проработать соответствующие разделы учебника и другой рекомендованной литературы. На практических занятиях студентам следует завести специальную тетрадь, в которой по определенной форме выписываются из учебников, справочников и конспектов лекций важнейшие характеристики **метаморфических горных пород**. Конспект должен пополняться информацией, получаемой во время занятий, а также данными из учебной и научной литературы.

Конспект составляется на развернутых листах общей тетради и имеет форму таблицы (приложение Б, таблица Б.10). На одном листе описывается не более трех-четырёх образцов. В таблице Б.10 помещены наиболее распространенные метаморфические горные породы и указаны их характерные признаки, позволяющие наметить путь определения пород:

Краткие сведения о породах заносятся в соответствующие графы:

В **1-й** графе приводится **название горной породы**.

В графе 2 указывается тип метаморфизма.

В графе 3 указывается цвет и твердость.

В графе 4 указывается минеральный состав.

В графах 5-6 указываются структура и текстура.

В графе 7 указываются физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию; выделяют легкие и тяжелые породы (взвешиванием на ладони); определяют крепость и прочность породы путем приложения усилий (удар молотком).

В графе 8 в первую очередь отмечается применение горной породы в инженерно-строительной практике. Сведения исторического характера могут быть указаны дополнительно.

Практика и пример определения диагностических признаков метаморфических горных пород

Обеспечение: эталонные коллекции горных пород, экспозиции горных пород на кафедре и в музее, коллекции метаморфических горных пород; коллекции грунтов и шлифов, лупа, нож, бинокулярный микроскоп.

Исходный материал: образцы рабочей коллекции метаморфических горных пород, справочные пособия.

Задачи:

- тип метаморфизма исходящей породы;
- определение свойств: цвет, твердость;
- описание минерального состава с использованием пособий;
- описание структуры и текстуры (см. таблицу Б.4);
- показатели физико-механических свойств (плотность, влажность, пористость, прочность), устойчивость к выветриванию (см. приложение Б, [3]);
- образование и использование.

Объем работы: не менее 3 образцов за одно занятие.

Порядок выполнения работы:

- в начале занятия получить коробку с образцами породы;
- поочередно для каждого образца определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;
- провести проверку – определить породу путем сопоставления его признаков с теми, что представлены в **конспекте свойств горной породы**, в учебниках и справочных пособиях [2, 6, 7, 17];
- представить преподавателю результаты для проверки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом, демонстрацией диагностических признаков породы непосредственно на образцах (см. приложение Б, таблицу Б.10).

Примечание – Пример формы и результатов определения диагностических признаков горных пород даны в таблице Б.10.

Метаморфические горные породы и **осадочные** породы (из группы **полускальных**) обладают менее удовлетворительными физико-механическими свойствами по сравнению с магматическими. При оценке этих пород как оснований сооружений они более надежны. Только наличие сланцеватости, трещиноватости и раздробленности, обусловленные тектоническими процессами и выветриванием, вынуждает более критично оценивать эти породы при воздействии на них различных сооружений [3, 15, 18].

Итак, Земную кору слагают горные породы, представляющие собой закономерные агрегаты минералов. Химический состав и внутренняя структура минералов зависят от условий их образования и определяют свойства. Строение и минеральный состав горных пород указывают на происхождение последних и позволяют определять породы в полевых условиях.

8.5 Инженерно-геологическая классификация грунтов. ГОСТ 25100

С учетом факториальных характеристик и физических, водно-физических и механических свойств горных пород составлена действующая инженерно-геологическая классификация грунтов - ГОСТ 25100 (приложение А, таблица А.3, [3]). В настоящем стандарте [26] грунты в общей классификации разделяются по следующим признакам-основаниям:

- 1) класс – по общему характеру структурных связей;
- 2) группа – по характеру структурных связей (с учетом их прочности);
- 3) подгруппа – по происхождению и условиям образования;
- 4) тип – по вещественному составу;
- 5) вид – по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и показателей свойств);
- 6) разновидности – по количественным показателям вещественного состава, свойств и структуры грунтов.

В соответствии с этой классификацией выделены два основных класса грунтов: первый класс горных пород с жесткими структурными связями –

«класс скальных грунтов», а второй класс горных пород с механическими и водно-коллоидными структурными связями – «класс дисперсных грунтов».

В первый класс «скальных грунтов» включены подгруппы различных магматических и метаморфических, осадочных цементированных и хемогенных горных пород, независимо от их трещиноватости, выветрелости, закарстованности, состава цемента, строения, физического состояния и растворимости, которые объединены в группы – **скальные и полускальные**.

Во второй класс «дисперсных грунтов» отнесена группа осадочных пород, в которой выделены подгруппы – **мягкие связные** (глинистые породы) и **рыхлые несвязные** (раздельно-зернистые пески).

Подгруппы и группы горных пород соответственно объединены в классы:

1) магматические (интрузивные и эффузивные) горные породы относятся к группе скальных грунтов, и магматические (эффузивные) горные породы относятся к группе полускальных грунтов и составляют первый класс;

2) метаморфические горные породы относятся к группе скальных грунтов и составляют первый класс;

3) осадочные горные породы относятся к группам скальных, полускальных (грунты первого класса) и нескальных грунтов (грунты второго класса), последние делятся на связные мягкие и несвязные рыхлые.

К группе скальных грунтов относятся (см. таблицы А.2, А.3, [3]):

1) магматические породы – гранит, сиенит, габбро, базальт и др.;

2) метаморфические породы – гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы, мрамор и др.;

3) осадочные породы – песчаники и конгломераты с прочным цементом, известняки и доломиты плотные и прочные и др.

Итак, **грунты** – это горные породы, вовлеченные в строительство.

Скальные грунты наиболее совершенны в инженерно-строительном отношении. Они обладают высокой прочностью и устойчивостью, малой деформируемостью и слабой водопроницаемостью. Породы водопроницаемые по трещинам; изотропные или анизотропные.

Участки распространения таких пород наиболее благоприятны для строительства любых сооружений, часто без применения сложных мероприятий для обеспечения их устойчивости.

К группе полускальных грунтов относятся (см. таблицы А.2, А.3, [3]):

1) магматические породы (эффузивные) – вулканические туфы, туффиты, туфогенные породы и др.;

2) осадочные породы – песчаники, конгломераты и алевролиты с глинистым цементом, глинистые сланцы, аргиллиты, известняки и доломиты глинистые, опока, мергели, мел, гипс, галит и др.

Полускальные грунты отличаются от скальных пород меньшей прочностью и устойчивостью, большей деформируемостью, значительной или высокой водопроницаемостью. Они часто трещиноваты в той или иной мере, а карбонатные породы закарстованы, хотя те и другие могут иметь высокую прочность в образце. Полускальные породы обычно отличаются большой неоднородностью и анизотропностью. За исключением каменной соли, гипса и известняков – другие грунты нерастворимые.

Участки их распространения в большинстве случаев благоприятны для строительства различных сооружений, но нередко с применением сложных инженерных мероприятий для обеспечения их устойчивости и нормальных условий эксплуатации.

К дисперсным грунтам относятся (см. таблицы А.2, А.3, [3]):

1) осадочные породы мягкие связные – глины, суглинки, супеси, лёссы, лёссовые суглинки и супеси, илы, торф и др.;

2) осадочные породы рыхлые несвязные – нецементированные обломочные горные породы: пески, гравий, галечники, щебень и др.

Дисперсные по сравнению со скальными и полускальными характеризуются значительно меньшей прочностью и устойчивостью и большей деформируемостью. Некоторые из них сильно водопроницаемы. Эти группы охватывают разнообразные генетические типы осадочных пород главным образом четвертичного возраста. Они отличаются большой

изменчивостью водно-физического состояния и свойств. Со слоистостью осадочных пород связана анизотропия, которая обусловлена структурными особенностями породы (например, лёссы, ленточные глины).

Связные (глинистые) породы обладают непрочными связями между минеральными частицами, которые имеют, в основном, водно-коллоидную природу или характер слабой цементации. Степень жесткости между минеральными частицами в значительной степени зависит от влажности. Грунты пористые или сильнопористые; влагоемкие и очень влагоемкие; нерастворимые; водоупорные или слабоводопроницаемые; низкой крепости и прочности; сжимаемые или сильносжимаемые; подвержены усадкам и пучению, просадочности (лёссы) и размоканию (лёссы, супеси).

Рыхлые несвязные породы характеризуются наличием сил трения по поверхности соприкосновения между слагающими их зернами. Виды крупнообломочных и песчаных грунтов - пористые; невлагоемкие; водопроницаемые и сильноводопроницаемые; практически нерастворимые; низкой крепости и прочности; слабосжимаемые при статических нагрузках и сильно уплотняемые при динамических воздействиях; подвержены разжижению и образованию плывунов.

Условия строительства сооружений на таких породах часто сопряжены с большими ограничениями.

Далее рассмотрим свойства горных пород – таблицы Б.11 и Б.12.

8.6 Свойства горных пород

Всем горным породам присуще равновесное состояние между составляющими их твердыми частицами, воздухом и поровым раствором, то есть фазовое равновесие.

Под влиянием природных и искусственных факторов это равновесие нарушается, соответственно изменяются и свойства горных пород. Породы, находясь в верхней зоне литосферы, подвергаются воздействию

многочисленных факторов. Важнейшим из этих факторов является выветривание – совокупность процессов физического и химического разрушения горных пород, изменяющих их вещественный состав и физико-механические свойства. Образующаяся выветреловая зона мощностью от нескольких метров до 10÷15 м и более при строительстве различных сооружений должна быть выявлена и изучена.

При инженерно-геологической оценке изучаемых участков существенное значение имеют условия залегания горных пород:

- форма залегая;
- мощность и протяженность пластов;
- соотношение пород друг с другом;
- тектоническая нарушенность и т.п.

При инженерно-геологической оценке горных пород необходимо учитывать также текстурные и структурные их особенности.

Строительные свойства грунтов определяются совокупностью их физических и механических свойств. Многие физические и механические свойства грунтов во времени являются переменными, изменяясь под влиянием природных и искусственных факторов, что обуславливает необходимость изучать свойства грунтов в их взаимодействии с внешней средой.

Для классификации грунтов и для оценки их поведения во взаимодействии с сооружением необходимо иметь количественные (цифровые) характеристики, или показатели, их свойств, которые получают путем изучения грунтов методами, излагаемыми в специальных руководствах [11, 12 и др.].

Большинство показателей определяются на образцах грунтов (не менее 10÷15 определений) в их естественном состоянии, так называемых монолитах (при естественной структуре, пористости и влажности). Полевые методы по инженерно-геологическому изучению горных пород изложены в методических пособиях [13]. При отборе образцов грунтов для лабораторных исследований их свойств должны соблюдаться требования ГОСТ 12071 [27].

8.6.1 Физические свойства

Физические свойства характеризуют физическое состояние горных пород, т.е. качественную определенность, проявляющуюся в их плотности, влажности, пористости, консистенции, трещиноватости, закарстованности и выветрелости в условиях естественного залегания.

К основным из физических свойств, изучаемых в инженерной геологии и гидрогеологии, относятся **плотность** (ρ , г/см³) и **пористость** (n , %) для всех классов грунтов, а у грунтов полускальных и дисперсных (рыхлых несвязных и мягких связных) – выделяют еще и **влажность** (W , %).

Для характеристики и оценки плотности горных пород используют три показателя плотности [3]: плотность породы (ρ), плотность скелета породы при естественной пористости (ρ_d) и плотность минеральной части породы (ρ_s).

Плотность – отношение массы грунта (включая массы воды, воздуха, газов и других жидкостей в его порах) к занимаемому этим грунтом объему:

$$\rho = \frac{g}{V}, \quad (8.2)$$

где ρ – плотность породы при естественной влажности, г/см³;

g – масса образца грунта при естественной влажности, г;

V – объем, занимаемый этим грунтом (включая объем пор), см³.

Согласно В.Д. Ломтадзе [18], плотность основных породообразующих минералов **скальных и полускальных горных пород** изменяется в основном от 2,50 до 3,10÷3,20 г/см³. Легкие минералы с плотностью менее 2,50 г/см³ в составе этих пород немногочисленны, так же как и минералы тяжелые, с плотностью более 4,00 г/см³.

Плотность минералов определяется их химическим составом и особенностями строения кристаллической решетки. Она тем выше, чем больше

в их составе тяжелых атомов. Здесь основное значение имеет относительная атомная масса.

Таким образом, чтобы понять причины изменения плотности горных пород, надо изучать их минеральный и химический состав.

Плотность минеральных частиц не отражает непосредственно физическое состояние породы и не используется в инженерных расчетах, но эта величина необходима для вычисления других показателей, например, пористости.

Пористость – это отношение объема всех мелких и не сообщающихся пустот в данном образце породы ко всему объему образца:

$$n = \frac{V_n}{V}, \quad (8.3)$$

где n – пористость породы доли единиц или %;

V_n – объем не сообщающихся пустот грунта, заполненный воздухом и пластовой водой, см^3 ;

V – объем, занимаемый этим грунтом (включая объем пор), см^3 .

Генетически пористость горных пород может быть **представлена пустотами различного типа**: межзерновая пористость осадочных рыхлых и слабосцементированных пород, связанная с неплотной упаковкой зерен (частиц) минерального скелета; пористость, образующаяся при остывании и связанном с этим уменьшении объема магматических горных пород, а также пористость, связанная с процессами эпигенетического изменения горных пород (перекристаллизация, выщелачивание растворимых зерен минерального скелета, разуплотнение при уменьшении давления и др.) [19].

Поскольку реальные обломочные породы могут состоять из частиц резко различной формы и размера, коэффициент общей пористости таких пород изменяется в общем случае в широких пределах даже вне зависимости от степени уплотнения осадка.

Итак, пористость определяет плотность, прочность, деформируемость и водопроницаемость горных пород. Она влияет на сопротивляемость выветриванию, морозостойчивость и сейсмостойкость.

Влажность грунта в природном состоянии – процентное содержание воды в объеме элемента (образца) горной породы (в зависимости от условий залегания может соответствовать любому уровню влагоемкости):

$$W = \frac{g_n}{g_s} \cdot 100\%, \quad (8.4)$$

где W – весовая или естественная влажность, доли единиц или %;

g – масса образца грунта при естественной или весовой влажности, г;

g_s – сухая масса образца грунта после сушки в термостате, г;

g_n – масса пор породы с воздухом и с пластовой водой, г.

У скальных пород пористость мала, а значит и мала их влажность – $W_{\text{ест}}$ и ею пренебрегают при расчетах, у полускальных – может достигать 15÷20 %.

Влажность является важнейшей характеристикой для песчаных, и, особенно, глинистых пород. В зависимости от степени влажности песчаные и глинистые породы могут находиться в различном физическом состоянии, в соответствии с которым изменяется их прочность, деформируемость и устойчивость.

Влажность песчаных и глинистых пород может изменяться в значительных пределах. Например, влажность песка в зоне аэрации – 4÷5 %, в зоне капиллярного поднятия и насыщения – 27÷30 % и достигает 40 %; влажность глинистых пород, современных, достигает 80-90 %, а уплотненные глины имеют влажность от 12÷15 % до 50÷60 %, а в аргиллитах (плотные глины) снижается до 3÷5 %.

В зависимости от влажности глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном или текучем состоянии (раздел.1, [3]).

Кроме этого выделяют и гранулометрический (зерновой) состав для пород без жестких связей между минеральными составляющими.

По этим показателям можно косвенно судить о прочностных и деформационных свойствах горных пород, об устойчивости горнотехнических сооружений, а также об их изменении под влиянием современных геологических и горно-геологических процессов.

8.6.2 Водные свойства

Водные свойства горных пород определяются в их способности изменять состояние, прочность и устойчивость при взаимодействии с водой, поглощать и удерживать воду или фильтровать её.

Зная водные свойства горных пород, можно прогнозировать изменения их прочности и других свойств, а также развитие каких-либо геологических процессов.

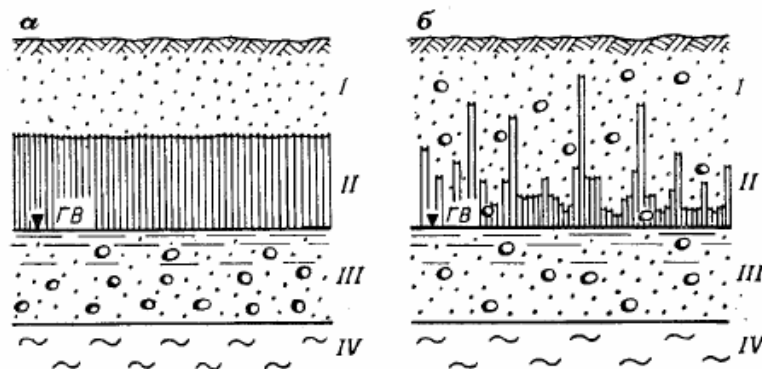
Некоторые показатели водных свойств пород непосредственно используются при различных инженерных расчетах, например, при расчетах потерь воды на фильтрацию, притока воды к строительным котлованам и водозаборам, параметров водопонижительных установок, для оценки возможности развития суффозионных процессов и др.

Виды воды в горных породах

Подземную воду следует рассматривать как физически самостоятельное тело, которое может находиться в грунтах (в порах и трещинах), как в капельножидком, так и в твердом (в виде льда) или газообразном (в виде пара) фазово-агрегатном состоянии. В подземной части гидросферы планеты могут быть выделены две принципиально различные группы подземных вод:

1) воды в *свободном* состоянии, способные к самостоятельным формам движения, различным, в зависимости от конкретного вида воды;

2) воды в *связанном* состоянии, не способные к самостоятельным формам движения, без перехода в свободное состояние (в другие виды воды) (таблица Б.13 и рисунок 8.2, [18]).



Условные обозначения: I – зона аэрации; II – зона капиллярного насыщения (а) или зона увлажнения (б); III – зона полного насыщения (водоносный горизонт); IV – зона пород практически водонепроницаемых (водоупорные породы).

Рисунок 8.2 – Зоны распределения воды в горных породах

В настоящее время, учитывая степень подвижности воды, различают несколько **форм связей** воды в грунтах [см. 19].

С учетом современных представлений классификация подземных вод выделяет в подземной гидросфере **пять видов** воды: **парообразную, твердую, физически свободную, физически и химически связанную** (см. раздел.1, [3]).

Обычно в грунте вода находится одновременно в нескольких состояниях. В природной обстановке возможен переход одной формы воды в другую.

Важнейшие свойства грунтов, определяющие их отношение к воде

Водонасыщенная горная порода – двухфазная система, состоящая из **минерального скелета** и **воды**, заполняющей различные системы пустотностей горных пород.

В природных условиях в грунтах всегда содержится вода, но её количество, т.е. влажность, может изменяться в широких пределах.

Важнейшими свойствами грунтов, определяющими их отношение к воде, являются влагоемкость, водопроницаемость, водоотдача, капиллярность, а у глинистых грунтов, кроме того, размокание, набухание и усадка и др.

В гидрогеологии все горные породы делят на водопроницаемые и водоупорные. Водопроницаемые – это породы, способные пропускать (фильтровать) через себя воду. Водопроницаемость пород обусловлена наличием в них различного рода пустот, по которым может свободно циркулировать вода. К водопроницаемым относятся все рыхлые несвязные породы, а также твердые породы при наличии в них пустот или трещин. Связные и твердые породы при отсутствии трещин являются **водоупорными** породами. Основными водно-коллекторскими (гидрогеологическими) свойствами горных пород, замечает В.А. Всеволожский [19], являются их *проницаемость* и *влагоемкость* связанные с наличием в минеральном скелете практически всех горных пород так называемого "свободного" пространства, не занятого минеральным веществом.

Проницаемость как свойство горных пород характеризует их способность пропускать через себя воду, другие жидкости и газы под действием силы тяжести или градиента давления. Проницаемость горных пород (K_{Π}) зависит только от свойств породы и определяется с учетом свойств фильтрующейся через неё жидкости или газа, но не зависит от этих свойств.

Влагоемкость – наличие свободного пространства, не заполненного минеральным веществом, вмещающее определенное количество воды (все виды воды), воздуха, газов и других жидкостей. В связи с возможностью нахождения в пустотах минерального скелета горных пород различных видов воды и различной степенью водонасыщения породы выделены значения влагоемкости и влажности горных пород (см. раздел.1, [3]).

Инженерно-геологические особенности горных пород, особенно осадочных, в значительной степени определяется их влажностным режимом.

8.6.3 Механические свойства

Согласно В.Д. Ломтадзе [12, 18], механические свойства горных пород определяют их поведение под воздействием внешних усилий — нагрузки.

В свою очередь нагрузки, не превышающие критические, не приводят к разрушению горной породы, а деформируют её по объему или сдвигу, вызывая **деформации объема и деформации сдвига**. Эти свойства выражают и оценивают деформационными и прочностными показателями, а именно: деформируемость – **показателями сжимаемости** (коэффициенты α , МПа⁻¹ и μ ; модули E_0 и E_y , МПа и др.), а прочность – **сопротивлением сдвигу** (τ , МПа) и пределом прочности на одноосное сжатие ($R_{сж}$, МПа).

Твердые горные породы всегда обладают способностью накапливать механическую энергию в потенциально обратимой форме (свойство упругости). Упругие деформации не зависят от длительности действия нагрузки и связаны с объемными деформациями минеральных зерен. Необратимые (пластические) деформации зависят от длительности действия нагрузки и обусловлены изменениями формы минеральных зерен и внутреннего строения породы.

В песчаных и других обломочных, а также глинистых породах при воздействии внешних усилий происходит изменение внутреннего сложения и объема (уплотнение), т.е. уменьшение пористости и увеличение концентрации минеральных частиц в единице объема. Чем значительнее эти изменения пород под воздействием определенной нагрузки, тем большей деформируемостью они обладают. Когда под влиянием внешних усилий в породах возникают касательные силы, превышающие силы сопротивления сдвигу, породы начинают разрушаться, наступает потеря прочности.

Специфическая особенность связных пород — существенное влияние фактора времени на их деформацию и прочность при сравнительно невысоких напряжениях, измеряющихся десятками (иногда сотыми) долями мегапаскалей.

Рыхлые несвязные породы состоят из минеральных частиц, находящихся в простом соприкосновении, и поэтому не обладают связностью. Частицы,

слагающие скелет породы, отличаются по размерам, форме и минералогическому составу.

Показатели **механических свойств горных пород** используются при различных инженерных расчетах, например при расчете осадок сооружений по величине и во времени, устойчивости откосов и естественных склонов, при определении давления горных пород на подпорные сооружения или крепи подземных выработок и т.д. (раздел 5, пособие [3]).

8.7 Инженерно-геологическое изучение массивов горных пород

Инженерно-геологические особенности горных пород и их свойства, как правило, изучают на отдельных образцах грунта в лабораторных условиях или для ограниченной толщи грунтов при полевых исследованиях.

Однако полученные величины, далеко не всегда тождественны по своему значению величинам для массива, откуда были взяты эти образцы. Свойства массивов грунтов могут быть значительно иными, чем свойства образцов, взятых из этих массивов. Это может быть связано с тем, **что массивы пород разбиты трещинами** различного генезиса, размера и различной глубины (рисунок 8.3). С поверхности и по трещинам, иногда на значительную глубину, происходит изменение состава пород **под влиянием выветривания**.

Массив может быть **неоднородным**; состав и структура пород в пределах одного массива могут несколько изменяться; **степень обводненности** пород – тоже. В итоге прочность массива грунтов может быть во много раз меньше прочности образцов. Это особенно характерно для скальных грунтов.

Поэтому в ряде случаев нельзя ограничиваться изучением свойств образцов грунтов, далее нельзя ограничиваться изучением свойств породы в условиях её естественного залегания, а надо стремиться оценить особенности (свойства) самого массива.

Отсюда видна вся важность, все большее научное и практическое значение определения понятия «массив горных пород» [13÷15].

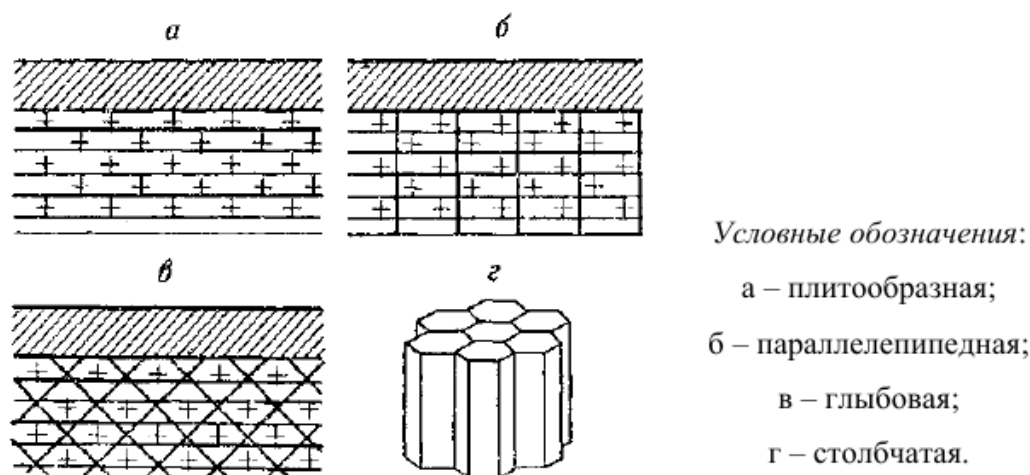


Рисунок 8.3 – Система трещин и отдельностей (т. е. кусков или глыб разнообразной формы) изверженных горных пород

Учет закономерностей пространственного изменения состава, строения и свойств пород является важным теоретическим и практическим аспектом инженерно-геологического изучения массивов горных пород.

Для оценки состояния массива горных пород необходимо располагать данными о его инженерно-геологической структуре, элементами которой являются: строение земной поверхности (на которой отражается геодинамическое состояние массива); горно-геологическая ярусность геологического разреза массива; внутреннее строение горно-геологических ярусов; структурно-механические особенности массива в целом.

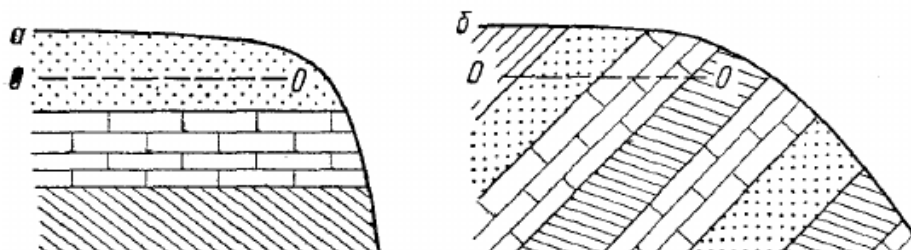
8.8 Инженерно-строительные особенности горных пород

Горные породы, т.е. грунты скального класса, используют в качестве естественных оснований сооружений, так как они обладают жесткими связями, высокой прочностью и большой несущей способностью.

При организации разработки каменных горных пород необходимо учитывать наличие определенной системы трещин и отдельностей (см. рисунок 8.3) и напластований в массиве (рисунок 8.4), так как от них во многом зависит

направление разработок, способы ведения взрывных работ, вид и количество получаемой каменной продукции.

Монолитные или слабо трещиноватые скальные породы длительно удерживают крутые и вертикальные откосы, при условии отсутствия наклона плоскостей трещин или напластования в массиве (см. рисунок 8.4) в сторону падения склона, к оси выемки, к карьеру или котловану.



Условные обозначения: а – ненарушенное (горизонтально залегающие пласты); б – нарушенное залегание пород (отсутствие наклона напластования в массиве в сторону падения склона), 0--0 – плоскость основания подземного сооружения.

Рисунок 8.4 – Схема, иллюстрирующая значение условий залегания пластов для строительства (схема Н.Я. Денисова, 1960 г.) [15]

Трещиноватость при развитии может привести к обвалу склонов, а из откосов будут происходить вывалы, сам откос может обрушиться. Породы, растрескивающиеся при выветривании, держат только пологие откосы, с которых не осыпается и не соскальзывает накапливающийся мелкий материал.

Наиболее трещиноватые породы, обладающие сланцеватой или полосчатой текстурой – глинистые сланцы, гнейсы, хлоритовые сланцы и др.

Из обломков скальных пород можно возводить земляные сооружения. Если порода легко выветривается или размокает, то из нее не рекомендуется возводить плотины, дамбы, подтопляемые насыпи. Относительно быстро размокают и выветриваются некоторые мергели, мел, аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы, трепел и другие породы.

При устройстве выемок, заложении котлованов или постройке тоннелей приходится вести разработку горных пород, поэтому это требует знания условий залегания горных пород и их физико-механических свойств.

При строительстве зданий, дорог, мостов и т.д. широко применяют различные горные породы в качестве строительных материалов. В таблице 8.2 указаны важнейшие свойства и область применения широко распространенных горных пород в качестве строительных материалов [20].

8.8.1 Магматические горные породы

Магматические породы (интрузивные и эффузивные) имеют с точки зрения использования их в строительстве много общего между собой.

Общность их физико-механических свойств обусловлена наличием у магматических пород структурных кристаллических связей между минеральными зернами, возникающих в процессе формирования породы. Все магматические породы в ненарушенном состоянии имеют высокую прочность, значительно превосходящую нагрузки, не растворяются в воде и практически водонепроницаемы (невыветрелые, монолитные породы).

Различные типы магматических пород характеризуются различной трещиноватостью и склонностью к выветриванию, которые отличаются более низкими показателями физико-механических свойств.

В целом такие свойства определяются минеральным составом пород, структурно-тектоническими особенностями и трещиноватостью. Породы, состоящие из слабосжимаемых минералов (оливина, пироксенов, основных плагиоклазов), отличаются высокой прочностью на сжатие. Наличие в составе горных пород слабых минералов с каркасной структурой (например, слюд) снижает их прочность.

При инженерно-геологической оценке **интрузивных пород** большое значение имеет размер зерен, так как мелкозернистые породы являются более прочными и устойчивыми, чем крупнозернистые.

Таблица 8.2 – Важнейшие свойства и область применения распространенных горных пород в качестве строительных материалов

Порода	Объемная, масса, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Применение в строительстве
Гранит	2,6	100÷300	Облицовочные плиты, лестничные ступени, полы, бортовые камни, щебень, памятники, гидротехнические сооружения
Сиенит	2,4÷2,9	150÷200	
Диорит	2,7÷2,9	180÷300	Дорожные камни, облицовочные плиты
Габбро	2,8÷3,1	100÷280	Гидротехнические сооружения, щебень, облицовочные плиты
Кварцевый порфир	2,4÷2,6	130÷180	Щебень, штучный камень
Диабаз	2,8÷3,0	200÷300	Щебень, штучный камень, плиты, брусчатка, облицовочный материал
Базальт	2,7÷3,3	100÷500	Дорожные покрытия
Порфирит	2,2÷2,8	60÷240	Облицовочный материал, щебень, брусчатка
Пемза	0,4÷1,4	0,4÷2,0	Теплоизоляционный материал, активная добавка к извести и цементу
Вулканический туф	1,25÷1,35	8÷19	Крупные стеновые блоки, облицовочный материал, добавки к извести и цементу
Песчаник кремнистый	Различная	До 200	Брусчатка, облицовка опор мостов и зданий, дорожные покрытия, щебень
Конгломерат, брекчия	»	Различный	Щебень, штучный камень, облицовочный материал
Гипс	»	»	Облицовочный материал внутренних стен
Ангидрит	»	»	Облицовочный материал внутренних стен, вяжущие материалы
Известковый туф	»	»	Штучный камень, щебень для легких бетонов
Известняк	1,7÷2,6	10÷100	Щебень, облицовочные плиты, известь, архитектурные детали, портландцемент
Известняк-ракушечник	0,9÷2,0	0,4÷15	Стеновые камни и блоки, заполнитель легких бетонов
Доломит	Различная	Различный	Щебень, облицовочные плиты, вяжущие материалы
Мел	»	»	Замаска, известь, портландцемент
Трепел, диатомит	0,4÷1,2	»	Теплоизолирующие материалы, легкий кирпич, гидравлические вяжущие, активные минеральные добавки в бетоны
Глинистый сланец	Различная	»	Кровельные материалы
Гнейс	»	»	Бутовые камни для фундаментов зданий
Мрамор	»	До 300	Облицовка внутренних стен зданий
Кварцит	»	До 400	Облицовка зданий и опор мостов
Песок и гравий	1÷2 % частиц менее 0,1 мм		Заполнители бетонов

Среди интрузивных пород широко распространены граниты, сиениты, габбро, гранодиориты, кварцевые диориты и другие (см. таблицу 8.2).

Эффузивные породы, в частности, могут иметь пузырчатую текстуру (например, туфы Армении). Часто пустоты в вулканических породах выполнены вторичным материалом и сообщают им миндалекаменную текстуру. Они прочнее пород с пузырчатой текстурой, но уступают в прочности массивным текстурам.

Среди эффузивных пород широко распространены базальты, андезиты, диабазы, кварцевые порфиры, липариты, туфолавы, туфобрекчии. Особую группу составляют вулканические туфы, среди которых встречаются как слабые разновидности, так и высокопрочные (см. таблицы Б.11 и 8.2).

8.8.2 Осадочные горные породы

Минеральный состав осадочных горных пород разнообразен, где выделяются две большие группы:

1. Продукты механической дезинтеграции магматических и метаморфических горных пород – относятся кварц и полевые шпаты.

2. Продукты биохимического разложения минерального вещества исходных пород и продукты синтеза исходного минерального вещества – относятся глинистые минералы (например, монтмориллонит, каолинит), хлориты, карбонаты, сульфаты и галоиды.

Инженерно-геологические особенности осадочных пород можно охарактеризовать по следующим генетическим группам, которые выделены в таблице Б.12: *обломочные* (рыхлые и сцементированные); *глинистые породы*; *химические и биогенные*; породы *смешанного* происхождения (см. таблицу 8.2).

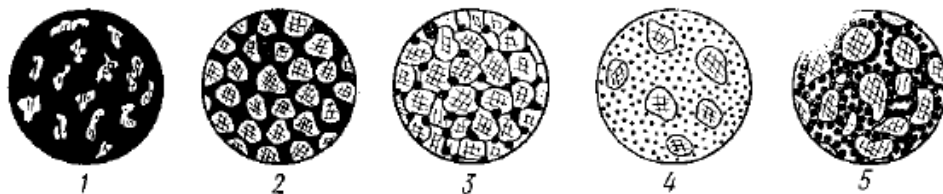
Рассмотрим инженерно-геологические характеристики осадочных горных пород, как по их минеральному составу, так и по условиям образования.

1. Группа *обломочных грунтов* делится на сцементированные (скальные) и несцементированные (дисперсные).

Первые определяются крупностью сцементированных обломков или частиц, характером цемента и степенью литификации породы. Механические свойства таких пород определяются составом и типом цементации. Наиболее характерными цементами в терригенных породах являются: глинистый, карбонатный, железистый и кварцевый (последние два наиболее прочные). Гораздо реже встречаются породы сцементированные гипсом (рисунок 8.5).

Обычно их прочность не меньше прочности цементируемых зерен, а в ряде случаев превышает последнюю. Карбонатный цемент также обладает высокой прочностью, но растворяется в воде. Особенно важно при оценке физико-механических свойств учитывать высокую растворимость гипсового цемента. Глинистый цемент малопрочен. Если глинистое вещество может начать перекристаллизовываться, то прочность таких пород повышается.

Структура цементации: беспорядочно зернистая, обрастание обломков, заполнение пор. Тип цементации: базальтовый, поровый, контактный. Наиболее прочными считают базальтовый цемент с беспорядочно-зернистой структурой. Определяющее влияние на прочность пород оказывает плотность.



Условные обозначения: 1 – цемент базальный, 2 – цемент пор, 3 – цемент соприкосновения (контактный), 4 – цемент зернистый (кристаллический), 5 – цемент обрастания (корковый).

Рисунок 8.5 – Типы цементаций по М. С. Швецову (упрощенно)

Вторые (несцементированные) грунты в свою очередь делятся на две подгруппы: крупнообломочные и песчаные породы (строительный материал).

Крупнообломочные грунты состоят в основном из угловатых или окатанных обломков горных пород размером не более 2 мм, имеющих преимущественно полиминеральный состав. Они могут быть подразделены по крупности и форме обломков на каменистые и валунные, щебнистые и галечные, дресвяные и гравийные грунты. Поры в них могут быть свободными или заполненными песчаным, пылеватым или глинистым материалом, а это сказывается на инженерно-геологических особенностях всех типов крупнообломочных пород. Влажность не влияет на их механические свойства.

Плотность рыхлых песчаных пород характеризуется коэффициентом плотности (I_d), который определяется по формуле:

$$I_d = \frac{(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_0)}{(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min})} \quad (8.5)$$

где I_d – относительная плотность песчаных пород;

ε_{\max} — коэффициент пористости песка при самом рыхлом сложении;

ε_0 — коэффициент пористости песка естественного сложения;

ε_{\min} — коэффициент пористости песка при самом плотном сложении.

Прочность цементированных, рыхлых сыпучих и мягких связных грунтов оценивается параметром – сопротивление сдвигу (τ):

$$\tau = C + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma_n, \quad (8.6)$$

где τ – сдвигающее усилие;

C – начальный параметр прямой, определяющий часть сопротивления сдвигу, не зависящую от нормального давления – общее сцепление, МПа;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент пропорциональности, угловой коэффициент (трения) зависимости сопротивления породы сдвигу от нормального давления;

σ_n – нормальное уплотняющее давление.

Величина сопротивление сдвигу установлена Кулоном и сформулирована Н.А. Цитович так: «Сопротивление рыхлых несвязных пород сдвигу есть сопротивление трению, прямо пропорциональное нормальному давлению».

Инженерно-геологические особенности песчаных пород определяется их генезисом – это аллювиальные пески, флювиогляциальные, морские, эоловые.

Пески различных генетических типов (кварцевые, аркозовые, железистые, глинистые и др.) под влиянием гидродинамического давления при насыщении водой могут переходить в плавунное состояние. Лебедев А.Ф. разделил плавунны на два типа: **ложные** – при осушении плавунное состояние не проявляется и **истинные** – плавунное состояние стойкое. Истинные плавунны разнообразны по минеральному и гранулометрическому составу, но для них характерно содержание органического вещества, которое по отношению к глинистой фракции составляет 5÷35 %. Угол естественного откоса зависит от влажности. Увеличение влажности истинного плавуна всего на 5 % приводит к изменению угла естественного откоса с 37 до 0 градусов. Несущая способность истинных плавуннов, определенная в полевых условиях, исключающих движение и выпирание, достигала 0,8 МПа. Большая водоудерживающая способность и малая водопроницаемость делает невозможным осушение плавуннов обычным способом водопонижения (таблица 8.3).

Таблица 8.3 – Основные показатели физико-механических свойств плавуна

Показатели истинного плавуна	Обозначение	Значение
Угол естественного откоса	L	19÷37 °
Влажность	W	12,5 %
Угол естественного откоса	L	4÷5°
Влажность	W	13,5 ÷15 %
Угол естественного откоса	L	≈ 0°
Влажность	W	17,5 %
Коэффициент фильтрации (водопроницаемость), м/сут	K _ф	n•10 ⁻⁴ ÷10 ⁻⁵
Водоудерживающая способность		Очень высокая

Истинные пльвуны обладают наибольшей величиной деформации по сравнению с другими породами. В строительной практике особенно опасны эти грунты при их значительной естественной влажности.

2. Хемогенные осадочные породы этой подгруппы образовались в результате выпадения осадков из солевых растворов вследствие химического взаимодействия между различными солями. К этим породам относятся гипс и ангидрит (служат сырьем для изготовления вяжущих материалов – алебаstra, цемента и пр.), оолитовый известняк (строительные качества невысокие) и др.

3. Биогенные осадочные породы – продукты жизнедеятельности наземных организмов, которые во времени претерпевают сложные изменения (перекристаллизацию, химическое взаимодействие и т.п.), и постепенно превращаются в цементированную горную породу (известняки, опоки и пр.), которая применяется в строительстве, в цементной промышленности и др.

4. Глинистые породы. Глинистые породы широко распространены в природе. *Глины* состоят из коллоидных тонкодисперсных частиц диаметром меньше 0,005 мм и представляют собой не только механические обломки породообразующих минералов, но и различные химические новообразования.

По минеральному составу различают глины *жирные*, содержащие большое количество каолинита, монтмориллонита, и *тощие*, имеющие значительную примесь кварца, халцедона, опала.

В сухом состоянии глины образуют крепкие агрегаты с пелитоморфной (мучнистой) структурой. Излом их землистый или раковистый, текстура мелкопористая, растираются в порошок. Они впитывают влагу и становятся при этом пластичными и водоупорными. Окраска разнообразна и зависит как от цвета глинистых минералов, так и в значительной степени от примесей.

Во влажном состоянии они жирны на ощупь, водоупорны. При впитывании воды глины становятся вязкими и пластичными, увеличиваются в объеме (набухают), при высыхании сохраняют приданную им форму, а после обжига приобретают твердость камня. Величина набухания зависит от степени дисперсности глин, от состава глинистых минералов и поглощенных ими

катионов. Больше всего набухают монтмориллонитовые глины, в состав которых входит катион натрия. При высыхании уменьшается объем глин, они дают усадку, нередко разбиваются системой трещин.

Залегают глины пластами, линзами среди песков, известняков, мергелей.

При специальных исследованиях выделяются разновидности глин, состоящие из тех или иных глинистых минералов. Применяются глины как огнеупорный материал, как поглотитель, для изготовления кирпича, керамики. Глины и некоторые суглинки играют огромную роль в гидротехническом и гидромелиоративном строительстве. Как основание и среда для фундаментов эти породы очень коварны. Глины служат водоупором, т.е. водонепроницаемой породой, которая разделяет водоносные горизонты.

5. Ниже охарактеризованы **песчано-глинистые породы** (смешанного происхождения), широко распространенные на территории материков, являющиеся не только почвообразующими, но и средой, основанием разнообразных гидротехнических сооружений. Как и глины, песчано-глинистые породы (суглинки, супеси и пр.) являются одним из наиболее широко распространенных типов грунтов. Огромное влияние на свойства этих грунтов оказывает состав, строение толщ, возраст пород, степень литификации и условия залегания. Песчано-глинистые породы состоят из частиц размером менее $0,002 \div 0,001$ мм. Для них характерна зависимость прочностных и других свойств от влажности. В зависимости от влажности преобладают структурные связи разного характера; ионно-электростатические, капиллярные и молекулярные. Глинистые и песчано-глинистые породы – это водонепроницаемые, но влагоемкие породы низкой крепости и прочности, сжимаемые и сильносжимаемые. При водонасыщении могут набухать, вспучиваться, проявлять тиксотропные и реологические свойства. При высыхании дают усадку, при этом становятся трещиноватыми.

6. Группа дисперсных грунтов объединяет как, глинистые породы, так и породы биогенные (мергель, опоку), почвы и особо в ней выделены лёссы. **Лёссы** – породы наиболее однородные по гранулометрическому составу

(преобладают частицы $0,05 \div 0,01$ мм), характеризуются более разнообразным гранулометрическим составом (лёссовые пески, супеси, суглинки, глины), с содержанием глинистых минералов до $1,0 \div 1,16$ %, органического вещества до 0,5 % и гумуса – от 0,7 до 2,5 %.

Наиболее характерная черта лёссов – карбонатность, их количество колеблется от 0,1 до 20 %, важная характеристика – пористость, которая колеблется от 30 до 64 % (до 80 %), невысокая влажность и малая водопрочность, которая выражается в их быстром размокании. Водопроницаемость изменяется от 0,001 до 8,5 м/сут. Увеличение влажности, а тем более насыщение пород водой резко снижает их сопротивление сжатию. В сухом состоянии величина сопротивления сдвигу у лёссовых пород значительная, при увлажнении – сильно снижается. При этом угол внутреннего трения уменьшается на $4 \div 8$ градусов, величина сцепления также падает. Вследствие просадочности и легкой размываемости лёссов строительство на них и освоение их в инженерно-геологических целях сложно.

8.8.3 Метаморфические горные породы

Физико-механические свойства **метаморфических горных пород** во многом близки к магматическим, но обладают некоторым отличием от магматических пород. Эти отличия целиком определяются особенностями их генезиса. Для большинства метаморфических пород характерна анизотропность свойств, обусловленная их сланцеватостью. Прочность на сжатие, сопротивление сдвигу, модуль упругости значительно ниже вдоль сланцеватости, чем перпендикулярна ей (например, у глинистых сланцев). Сланцеватостью определяется значительная выветриваемость этих пород, а также сниженная устойчивость на природных склонах и в бортах искусственных выработок. Многие метаморфические породы образуют тонкоплитчатые и листоватые весьма подвижные осыпи. Особенно характерно это для пород низкой степени метаморфизма (см. таблицы Б.11 и 8.2).

9 Физические свойства и химический состав подземных вод

Подземные воды с гидрогеохимической точки зрения представляют собой сложнейшую систему, состав, состояние и свойства которой в каждом конкретном случае определяются (раздел 2, [3]):

- 1) свойствами самой воды;
- 2) свойствами содержащихся в ней веществ;
- 3) условиями взаимодействия их между собой и с окружающей средой.

Вода, являющаяся основой большинства природных и антропогенных растворов, представляет собой уникальное химическое соединение водорода (11,11 %) и кислорода (88,89 %).

Вода — единственное вещество, которое в естественных природных условиях Земли способно существовать во всех трех агрегатных состояниях: **твердом, жидком и парообразном**. Структура их различна.

Физические свойства подземных вод являются важнейшими показателями качества, и их оценка необходима при любых гидрогеологических исследованиях. Показателями физического состояния и свойств подземных вод служат температура, прозрачность, цвет, запах, вкус, плотность, сжимаемость, вязкость, электропроводность, радиоактивность.

В подземных водах содержится множество веществ, различных по своей природе, состоянию, химическому составу, физическим, физико-химическим и химическим свойствам и другим. Вещественный состав подземных вод (живое и неживое вещество) состоит из одних и тех же химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева.

9.1 Химический состав подземных вод и способы его определения

Химический состав подземных вод — это совокупность содержащихся растворенных минеральных и органических соединений за исключением тех, из которых состоит живое вещество.

Подземная вода – сложный природный раствор, в состав которого входят минеральные компоненты, коллоиды, газы, органические вещества и микроорганизмы, нерастворенные взвешенные частицы.

Минеральные компоненты представляют собой *свободные ионы* (макро-, микро-, ультрамикрокомпоненты), *недиссоциированные молекулы и комплексные соединения* (коллоиды, газы, органические вещества и микроорганизмы). Первые преобладают в подземной воде и определяют её химический тип, вторые – находятся в незначительных количествах и характеризуют специфический состав воды.

Сумма минеральных веществ, выделенных из воды при помощи химических анализов, определяет её **минерализацию**. Последняя связана с химическим составом воды. Величину минерализации оценивают по сухому остатку, получаемому путем выпаривания и высушивания пробы воды, или по сумме ионов, определенных химическими анализами.

Минеральные и газовые компоненты определяют основные **химические свойства** и состояние воды: *кислотность, щелочность, окислительно-восстановительное состояние, жесткость, агрессивность*.

Для выявления химического состава и свойств подземных вод, а также с целью определения и оценки их качества, выполняют **химические анализы**. Они бывают полевые, сокращенные, полные и специальные. Результаты химического анализа вод могут быть представлены в разных формах.

9.2 Формы выражения химического состава подземных вод

По В.А. Всеволожскому [19], количественную характеристику состава подземных вод принято давать в "концентрационной" форме и выражать количеством вещества, приходящегося на единицу объема, или для рассолов с высокой плотностью — массы природного раствора.

Для выражения результатов химических анализов обычно используются следующие **три формы**:

1. Весовая или массовая (г/л, мг/л, г/кг, мг/кг) представляет собой выражение ионно-солевого состава подземных вод в виде весовых (массовых) количеств отдельных ионов в миллиграммах или граммах на 1 литр воды (дм³), на 1 кг воды в зависимости от её общей минерализации. Весовая форма выражения является исходной для других форм выражения химического состава воды и широко используется при гидрохимических исследованиях.

2. Эквивалентная или мольная (мг-экв/л, г-экв/л, мг-экв/кг) – разновидность ионной формы. Эквивалентная форма основана на том положении, что ионы в растворе реагируют между собой не в равных весовых количествах, а в эквивалентных количествах, зависящих от массы иона и их валентности. Для перехода от весовой ионной формы к миллиграмм-эквивалентной форме необходимо **число миллиграммов каждого иона разделить на его эквивалентный вес** (таблица 9.1). В электронейтральном растворе сумма анионов, выраженная в эквивалентной форме, мг-экв/л (ммоль/дм³) и равна соответственно сумме катионов: $Sr_A = Sr_K$. Несоответствие их свидетельствует о погрешностях анализа.

Таблица 9.1 – Пересчетные величины

Ионы	Атомная масса	Валентность	Пересчетные коэффициенты (эквивалентный вес)
Cl ⁻	35,5	1	35,5
SO ₄ ²⁻	96,0	2	48,0
HCO ₃ ⁻	61,0	1	61,0
Na ⁺	23,0	1	23,0
Mg ²⁺	24,4	2	12,2
Ca ²⁺	40,0	2	20,0
K ⁺	39,1	1	39,1

3. Процент-эквивалентная или процент-мольная (%-экв) — доля (%) каждого иона в общей сумме миллиграмм-эквивалентов ионов одного знака (принимается обычно 100 % положительно и 100 % отрицательно заряженных

ионов). Эта форма позволяет сравнивать химический состав подземных вод разной минерализации и оценивать относительную роль каждого иона в их составе. Она может быть получена из эквивалентной формы.

9.3 Практические задания

9.3.1 Пример обработки, систематизации и классификации результатов химического анализа подземных вод

Даны характеристики подземных вод (таблица 9.2):

1. Температура воды – $T = 28$ °С.
2. Приток воды или дебит воды – $Q = 130$ м³/сут.
3. Концентрация водородных ионов ($pH = 5,6$).
4. Эквивалентное (мольное) содержание анионов и катионов ионов в воде, (ммоль/дм³, мг-экв/л).
5. Ион двухвалентного железа – $Fe^{2+} = 0,45$ (ммоль/дм³, мг-экв/л).
6. Свободный $CO_2 = 2$ (ммоль/дм³, мг-экв/л).

Порядок обработки результатов химического анализа. Проведение обработки результатов химического анализа выполнены при следующей последовательности:

1. Пересчитаны данные анализа из мольной формы (ммоль/дм³, мг-экв/л) в массовую ионную форму (мг/дм³, мг/л) и занесены в таблицу 9.2.
2. Вычислена погрешность анализа.
3. Определено содержание каждого компонента в процент-мольной форме (%-моль, %-экв) и занесены в таблицу 9.2.
4. Вода классифицирована по степени минерализации (г/дм³, г/л).
5. Вода классифицирована по агрессивности, по специфическим компонентам в составе воды и газовому составу (см. раздел 2, [3]).
6. Вычислена жесткость воды (ммоль/дм³, мг-экв/л).
7. Записан анализ воды в виде формулы М.Г. Курлова.

8. Графически систематизирован химический анализ подземных вод по треугольникам Ферре (см. раздел 2, [3]).

Таблица 9.2 – Физические свойства и химический состав подземной воды

Проба воды	Глубина отбора	Запах	Мутность	Цветность	pH	T °C	Q, м ³ /сут
	7,5 м	б/з	мутная	б/ц	5,6	28	130
Солевой состав							
Компоненты	Единица измерения						Пересчетные коэффициенты (см. таблицу 9.1)
	Общая минерализация		Содержание на 100 г воды				
	расчет		расчет	дано	расчет		
Ионы	тип воды	г/дм ³ ; г/л	мг/дм ³ ; мг/л	ммоль/дм ³ ; мг-экв/л	%-моль; %-экв	Эквивалент	
Cl ⁻	-	-	568,0	16	20	35,5	
SO ₄ ²⁻	-	-	768,0	16	20	48,0	
HCO ₃ ⁻	-	-	2928,0	48	60	61,0	
Na ⁺	-	-	1150,0	50	62	23,0	
Mg ²⁺	-	-	61,0	5	6	12,2	
Ca ²⁺	-	-	480,0	24	30	20,0	
K ⁺	-	-	50,8	1,3	2	39,1	
Сумма (а+к)	-	-	6005,8	160,3	200	-	
Fe ²⁺	-	-	0,45	-	-	-	
NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-	-	
CO ₂	-	-	2	-	-	-	
М	сильно-солончатая	5,0	-	-	-	-	

П р и м е ч а н и е – Теоретически суммы анионов и катионов, выраженные в мольной форме (ммоль/дм³, мг-экв/л) должны быть равны, поэтому для определения погрешности обычно пересчитывают данные анализа из массовой ионной формы (мг/дм³, мг/л) в мольную форму (ммоль/дм³, мг-экв/л), используя пересчетные коэффициенты. Например, пересчет гидрокарбоната-иона в мольную форму (ммоль/дм³) равен: $(2928,0 / 61,0 = 48,0 \text{ ммоль/дм}^3)$, где 2928 мг/дм³ – это массовое содержание гидрокарбоната-иона по данным проведенного анализа, а 61,0 – пересчетный коэффициент.

Подробное описание обработки результатов химического анализа и пояснения к расчетам по обработке результатов химического анализа подземных вод приводится ниже. Данные расчета последовательно отображаются в вышележащей таблице 9.2.

1. Расчет ионов из мольной формы (ммоль/дм³, мг-экв/л) в массовую ионную форму (мг/дм³, мг/л).

Зная содержание в воде иона в мольной форме (ммоль/дм³, мг-экв/л), можно определить его содержание в массовой форме (мг/дм³, мг/л).

Например, содержание гидрокарбоната-иона в задании равно: $48,0 \cdot 61 = 2928,0$ мг/дм³ или мг/л), где 48,0 (ммоль/дм³, мг-экв/л), – *содержание иона по условию задачи*, 61,0 – *пересчетный коэффициент*.

2. Для определения погрешности анализа воды отдельно суммируют содержание анионов и катионов в мольной (мл-эквивалентной) форме (ммоль/дм³, мг-экв/л). Сумма анионов равна 80,0 (ммоль/дм³, мг-экв/л), сумма катионов равна 80,3 (ммоль/дм³, мг-экв/л). Отсюда, относительная погрешность (X) анализа равна:

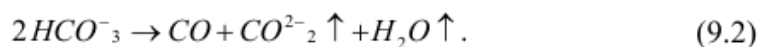
$$X = \frac{Sr_K - Sr_A}{Sr_K + Sr_A} \cdot 100\% = \frac{(80,3 - 80,0)}{(80,3 + 80,0)} \cdot 100\% \quad (9.1)$$

3. Далее выражают химический состав воды в процент-мольной форме (%-моль, %-экв), приняв суммы анионов и катионов за 100 % каждую, и записывают по порядку в следующую графу таблицы 9.2.

Например, сумму анионов и катионов равную 160,3 (ммоль/дм³, мг-экв/л) принимают за 200 %, и, в частности, хлор-ион равен 16 (ммоль/дм³, мг-экв/л), его принимают за неизвестное процент-мольное число (Cl = x, в %-моль). Решая пропорцию, получаем значение хлора-иона в процент-мольной форме (%-экв), то есть, Cl = x = $(16 \cdot 200/160,3) = 20$ %-экв, и т.д. для всех ионов.

4. В связи с тем, что при анализе воды сухой остаток не определялся, (то есть минерализация воды), вычисляют его приближенно. При выпаривании все

не газообразные вещества, кроме гидрокарбоната-иона, переходят в сухой остаток. Гидрокарбонат-ион распадается по уравнению:



При этом в виде диоксида углерода и паров воды теряется около половины его массы (точно 0,508). Экспериментально определенный сухой остаток всегда больше вычисленного (с учетом $1/2 HCO_3^-$), иногда на 5÷12 %.

Учитывая это, общую минерализацию (сухой остаток) приближенно вычисляют с учетом поправочного коэффициента равного 1,1 по уравнению:

$$M \approx 1,1 \cdot (0,5 \cdot HCO_3^- + Cl^- + SO_4^{2-} + Na^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+} + K^+), \quad (9.3)$$

или расчетная минерализация равна:

$$M \approx 1,1 \cdot [(0,5 \cdot 2928) + 568 + 768 + 1150 + 61 + 480 + 50,8] \approx 4996 \text{ мг} / \text{дм}^3 \approx 5,0 \text{ г} / \text{дм}^3. \quad (9.4)$$

5. Концентрация водородных ионов характеризует кислотно-щелочные свойства воды. Вода обладает *общекислотной агрессией* (рН = 5,6).

Классификация воды по общей минерализации, температуре и водородному показателю приведена в таблице 9.3.

6. Общую жесткость определяют как сумму катионов кальция и магния, выраженных в ммоль/дм³ или мг-экв/л, например:

$$Ca^{2+} + Mg^{2+} = 24 + 5 + 29 \text{ ммоль} / \text{дм}^3. \quad (9.5)$$

По этому показателю данная вода классифицируется как очень жесткая (см. таблицу 9.3). Например, магнитная обработка воды резко снижает **образование** накипи на стенках котлов ТЭЦ.

7. В данном случае формула Курлова имеет такой вид:

$$Fe\ 0,45; CO_2\ 2; M\ 5 \frac{HCO_3^- \cdot 60\ SO_4^{2-} \cdot 20\ Cl^- \cdot 20}{Na^+ \cdot 62\ Ca^{2+} \cdot 30} pH\ 5,6; T\ 28; Q\ 130. \quad (9.6)$$

В наименование состава воды включаются анионы гидрокарбоната - HCO_3^- и катионы натрия и кальция – Na^+ и Ca^{2+} , содержание которых превышает 25 процент-молей (или %-экв).

По этой записи воду следует называть: **вода** – железистая, углекислая, сильносолоноватая, **гидрокарбонатно-натриево-кальциевая**, кислая, теплая, очень жесткая. Вода высокодебитная, обладает *общекислотной агрессией*.

Таблица 9.3 – Классифицируемые показатели подземных вод

Классифицируемые показатели			
По минерализации	измерение	По температуре	измерение
	г/дм ³ , г/л		°С
сверхпресные	< 0,2	переохлажденные	< 0
пресные	0,2 ÷ 1	холодные	0 ÷ 20
слабосолоноватые	1 ÷ 3	теплые	20 ÷ 37
сильносолоноватые	3 ÷ 10	горячие	37 ÷ 50
соленые	10 ÷ 35	весьма горячие	50 ÷ 100
рассольные	> 35	перегретые	> 100
По величине pH	измерение	По степени жесткости: сумма ионов $Mg^{2+} + Ca^{2+}$	измерение
	б/р		ммоль/дм ³ , мг-экв/л
очень кислые	< 5	очень мягкие	< 1,5
кислые	5 ÷ 7	мягкие	1,5 ÷ 3,0
нейтральные	7	умеренно жесткие	3,0 ÷ 6,0
щелочные	7 ÷ 9	жесткие	6,0 ÷ 9,0
высокощелочные	> 9	очень жесткие	> 9

8. На рисунке 9.1 представлено изображение состава воды графическим методом равносторонних треугольников, в соответствии с процент-эквивалентным содержанием ионов в воде, указанных в таблице 9.2.

Для отображения химического состава подземных вод удобно использовать метод равносторонних треугольников Ферре или метод треугольных координат [2].

На каждом графике-треугольнике Ферре можно показать соотношение трех компонентов (анионов и катионов), а при большем их количестве, близкие по химическим составам компоненты объединяются в родственные группы: например, калий с натрием (например, $\Sigma\text{Na}^+ + \text{K}^+$), хлор с нитратным ионом и т.д. (таблица 9.2 и рисунок 9.1).

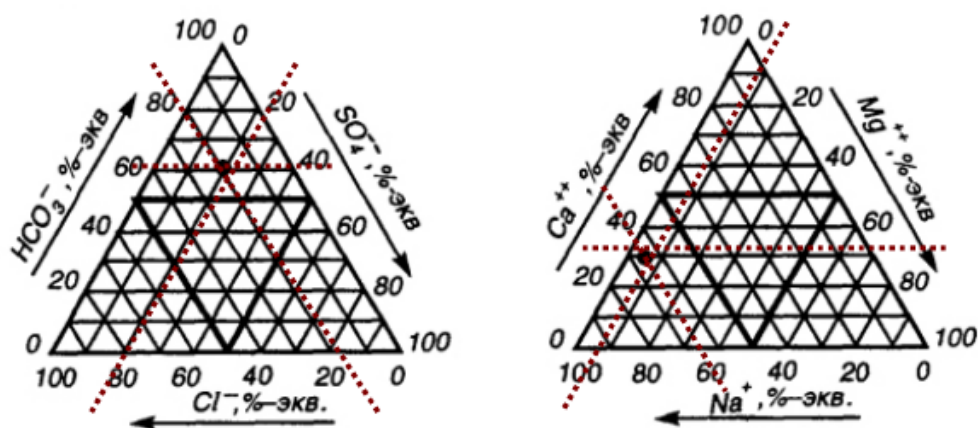


Рисунок 9.1 – Графические результаты отображения химического анализа подземной воды методом треугольников Ферре

Для выражения анионов используется один треугольник, а для выражения катионов - другой. При этом стороны треугольников разбиты на десять равных отрезков, через которые проводятся параллельные линии. Каждый отрезок соответствует 10 процентам содержания компонентов. Стороны треугольника принимают за нулевую линию, противоположные им вершины за 100 %.

Точки, соответствующие содержанию компонентов в пределах от 0 до 100 %-экв разместятся на линиях 10, 20 и т.д., а при содержании компонентов 100 %-экв результат анализа займет вершину треугольника. Если какой-то компонент отсутствует, то результат его будет находиться на нулевой линии.

По данному графику можно определить место подземных вод по классификации. При сопоставлении целого ряда анализов и выяснении генезиса вод с помощью треугольников Ферре (наличия точек, полученных при соотношении трех компонентов, соответствующих фрагменту треугольника) можно отдельно выделять воды хлоридные, гидрокарбонатные и сульфатные, натриевые, кальциевые и магниевые (см. рисунок 9.1).

С учетом треугольников Ферре название воды следует уточнить: **вода** – железистая, углекислая, сильносоленоватая, **гидрокарбонатно-натриевая**, кислая, теплая, очень жесткая. Вода высокодебитная, обладает общекислотной агрессивностью.

9.3.2 Практика обработки, систематизации и классификации результатов химического анализа подземных вод. Оценка агрессивных свойств воды

Обработать химический анализ подземных вод по одному из представленных вариантов, определить ее агрессивность (таблица 9.4):

1. Пересчитать данные анализа из мольной формы (мг/л или ммоль/дм³) в массовую ионную форму (мг-экв/л или мг/дм³).
2. Вычислить погрешность анализа.
3. Определить содержание анионов и катионов в процент-мольной форме (%-экв). при их сумме в 200 процентов.
4. Определить минерализацию (г/л или г/дм³).
5. Вычислить жесткость воды (мг-экв/л или ммоль/дм³).
6. Классифицировать воду по степени минерализации, по специфическим компонентам, газовому составу, агрессивности.
7. Записать анализ воды в виде формулы М.Г. Курлова, дать её название. Дать оценку агрессивным свойствам воды (см. раздел 2, [3]).
8. Изобразить состав воды графическим методом равносторонних треугольников Ферре (см. пункт 9.3.1).

Таблица 9.4 – Варианты для обработки химического анализа подземных вод

Дано: температура воды – $T = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 130 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов ($\text{pH} = 8$); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.

Вариант	1			2			3		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		16			13			30	
SO ₄ ²⁻		48			82			87	
HCO ₃ ⁻		144			52			10	
Na ⁺		18			32			20	
Mg ²⁺		150			100			80	
Ca ²⁺		30			10			20	
K ⁺		9			5			7	
Сумма (а+к)		415	200		294	200		254	200
Fe ²⁺	0,45			0,03			0,02		
NO ₂ ⁻	-			-			-		
CO ₂	0,03			2,5			0,2		
Тип воды									
М, г/л									

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 120 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов ($\text{pH} = 7$); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.

Вариант	4			5			6		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		13			33			10	
SO ₄ ²⁻		87			55			11	
HCO ₃ ⁻		14			7			45	
Na ⁺		22			70			50	
Mg ²⁺		12			11			8	
Ca ²⁺		70			12			3	
K ⁺		9			1			5	
Сумма (а+к)		227	200		189	200		132	200
Fe ²⁺	0,7			0,45			0,03		
NO ₂ ⁻	-			-			-		
CO ₂	0,08			0,7			3,0		
Тип воды									
М, г/л									

100

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов (pH = 6); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.									
Вариант	7			8			9		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		16			39			62	
SO ₄ ²⁻		62			55			17	
HCO ₃ ⁻		111			60			25	
Na ⁺		40			36			15	
Mg ²⁺		83			100			32	
Ca ²⁺		56			14			50	
K ⁺		10			5			5	
Сумма (а+к)		378	200		309	200		206	200
Fe ²⁺	0,04			0,2			-		
NO ₂ ⁻	-			-			0,2		
CO ₂	0,03			4,2			1,8		
Тип воды									
М, г/л									

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов (pH = 4); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.									
Вариант	10			11			12		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		120			36			72	
SO ₄ ²⁻		3			85			15	
HCO ₃ ⁻		0			9			10	
Na ⁺		100			30			55	
Mg ²⁺		10			67			32	
Ca ²⁺		10			23			6	
K ⁺		3			10			4	
Сумма (а+к)		246	200		260	200		194	200
Fe ²⁺	0,13			0,5			0,06		
NO ₂ ⁻	-			-			-		
CO ₂	0,25			0,1			2,5		
Тип воды									
М, г/л									

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов ($\text{pH} = 8$); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.

Вариант	13			14			15		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		70			60			12	
SO ₄ ²⁻		23			45			67	
HCO ₃ ⁻		10			2			10	
Na ⁺		50			80			50	
Mg ²⁺		30			10			10	
Ca ²⁺		24			12			29	
K ⁺		1			6			0	
Сумма (а+к)		208	200		215	200		178	200
Fe ²⁺	0,68			0,02			0,03		
NO ₂ ⁻	-			-			-		
CO ₂	1,5			0,9			0,15		
Тип воды									
М, г/л									

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов ($\text{pH} = 7$); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.

Вариант	16			17			18		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		2			33			2	
SO ₄ ²⁻		58			65			21	
HCO ₃ ⁻		16			28			33	
Na ⁺		50			50			30	
Mg ²⁺		12			22			12	
Ca ²⁺		13			50			13	
K ⁺		1			4			1	
Сумма (а+к)		152	200		252	200		112	200
Fe ²⁺	0,03			0,03			0,2		
NO ₂ ⁻	-			-			0,15		
CO ₂	0,15			0,15			-		
Тип воды									
М, г/л									

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов (pH = 6); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.									
Вариант	19			20			21		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		10			73			12	
SO ₄ ²⁻		65			10			26	
HCO ₃ ⁻		22			22			76	
Na ⁺		7			72			20	
Mg ²⁺		65			25			3	
Ca ²⁺		15			8			86	
K ⁺		8			1			5	
Сумма (а+к)		192	200		211	200		228	200
Fe ²⁺	0,07			0,01			0,3		
NO ₂ ⁻	-			-			-		
CO ₂	2,0			1,9			0,18		
Тип воды									
М, г/л									

Продолжение таблицы 9.4

Дано: температура воды – $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; приток воды или дебит воды – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$; концентрация водородных ионов (pH = 4); мольное (мг-эквивалентное) содержание анионов и катионов ионов в воде, мг-экв/л.									
Вариант	22			23			24		
Ионы	Компоненты			Компоненты			Компоненты		
	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ	мг/л	мг-экв/л	%-ЭКВ
Cl ⁻		176			13			12	
SO ₄ ²⁻		4			50			13	
HCO ₃ ⁻		7			12			49	
Na ⁺		149			45			45	
Mg ²⁺		14			22			12	
Ca ²⁺		25			1			13	
K ⁺		0			7			3	
Сумма (а+к)		375	200		150	200		147	200
Fe ²⁺	0,3			0,03			0,2		
NO ₂ ⁻	-			0,25			-		
CO ₂	0,18			-			1,9		
Тип воды									
М, г/л									

10 Физические основы динамики подземных вод.

Фильтрация жидкости в пласте

10.1 Основные понятия

Движение воды в горных породах рассматривают обобщенно и его характеристики получают для всего поперечного сечения фильтрующей среды.

Важнейшая характеристика движения воды — скорость фильтрации V , представляющая собой количество воды Q (объемный расход или дебит), которое протекает в единицу времени через единицу площади F поперечного сечения горной породы, т.е.:

$$V = \frac{Q}{F}, \quad (10.1)$$

где V – приведенная средняя скорость фильтрации воды, см/с, м/сут;

Q – расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени, см³/с, м³/сут;

F – площадь поперечного сечения потока, см², м².

С физической точки зрения эта величина соответствует приведенной (фиктивной) средней скорости, с которой вода двигалась бы при отсутствии скелета породы. Действительная средняя скорость движения воды в порах V_d – это отношение приведенной средней скорости фильтрации воды к активной (эффективной) пористости породы:

$$V_d = \frac{Q}{F \cdot n_a}, \quad (10.2)$$

где V_d – действительная скорость, см/с, м/сут;

n_a – активная (реальная) пористость, т.е. пористость породы за вычетом объема пор, занятого связанной водой, доли единиц.

Преобразуем действительную скорость – V_d и получим формулу 10.2:

$$V_d = \frac{V \cdot F}{F \cdot n_a} = \frac{V}{n_a}. \quad (10.3)$$

Действительная скорость движения воды зависит от минералогического состава, структуры и характера порового пространства горной породы.

При движении подземных вод в порах и трещинах горных пород часть напора расходуется на трение, что создает уклон поверхности подземных вод в сторону их движения. Понижение напора в водоносных горизонтах со свободной **безнапорной** поверхностью образует в разрезе *кривую депрессии*, а в **напорных** водах (артезианских) — *пьезометрическую кривую*.

Действительное значение уклона в любой точке кривой (рисунок 10.1) характеризует *напорный градиент* или *гидравлический уклон*:

$$I = \lim \cdot \frac{\Delta H}{\Delta L} = - \frac{\Delta H}{\Delta L}, \text{ при } L \rightarrow 0, \quad (10.4)$$

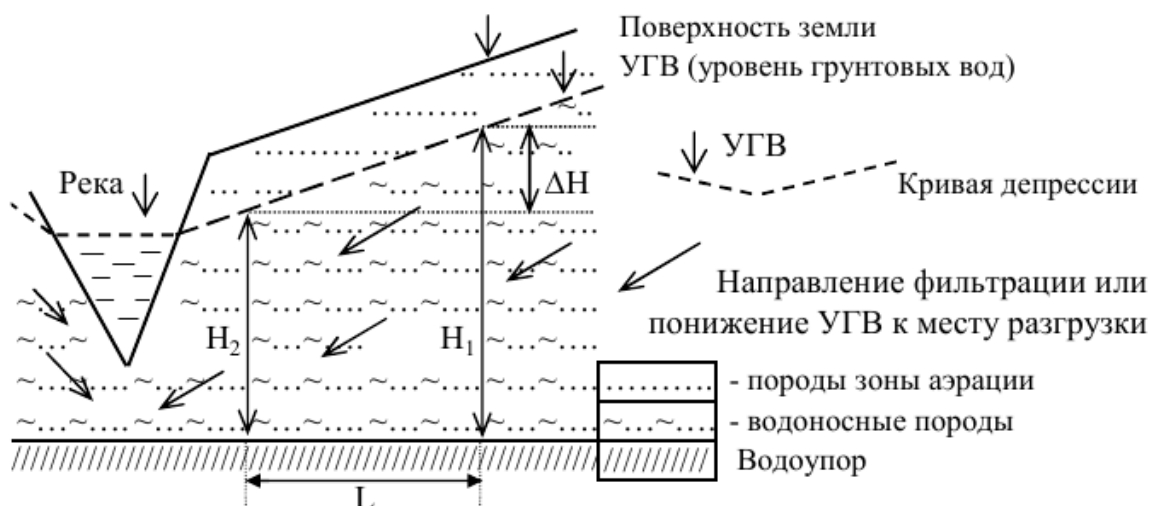
где $I = \Delta H / \Delta L$ – напорный градиент в любой точке кривой, доли единиц;

ΔH – разность напоров ($H_1 - H_2$), м;

ΔL – путь фильтрации, м.

Таким образом, значение *напорного градиента* I характеризует *потерю пьезометрического напора на единицу длины пути фильтрации*. Знак минус в выражении (10.4) указывает, что величина напора уменьшается по направлению движения подземных вод (с увеличением L). Величина напорного градиента для естественных потоков подземных вод составляет в среднем 0,01

$\div 0,0001$. Связь напорного градиента и скорости фильтрации может быть как линейной, так и нелинейной, отвечающей соответствующему закону движения подземных вод. Грунтовый поток понижается к месту разгрузки – реке.



Условные обозначения: H_1 и H_2 – пьезометрические напоры; L – длина пути фильтрации от точки H_1 до H_2 ; ΔH – разность напоров ($H_1 - H_2$).

Рисунок 10.1 – Схема потока подземных вод со свободной поверхностью безнапорной фильтрации грунтовой **безнапорной** воды

Движение, при котором отдельные струи жидкости движутся при малых скоростях параллельно друг другу и оси потока, называют *ламинарным*. (преобладают силы вязкости). Беспорядочный режим (*турбулентный*) характерен для больших скоростей потока, в потоке образуются завихрения, частицы воды перемещаются в поперечном направлении (инерционные силы).

10.2 Основной закон движения подземных вод. Закон Дарси

Анри Дарси в 1856 году выполнил ряд экспериментов по фильтрации воды в **пористых средах**. Сущность опытов сводилась к замеру расхода воды

Q , профильтровавшейся через фильтр (грунты разной литологии и пористости) на участке L , и напоров H_1 и H_2 на границах участка фильтрации.

Дарси установил, что количество воды Q , просачивающейся через породу в единицу времени, пропорционально коэффициенту K_{ϕ} , зависящему от физических свойств породы, падению напора ΔH , площади поперечного сечения породы F и обратно пропорционально длине пути фильтрации L , измеренной по направлению движения воды:

$$Q = K_{\phi} \cdot F \cdot \frac{\Delta H}{L} = K_{\phi} \cdot F \cdot I, \quad (10.5)$$

где Q – количество фильтрующей воды в единицу времени, $\text{см}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{сут}$;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации (таблица 10.1), $\text{см}/\text{с}$, $\text{м}/\text{сут}$;

F – площадь поперечного сечения потока, см^2 , м^2 ;

ΔH – напор или разность напоров в двух сечениях, см , м ;

L – длина пути фильтрации, см , м ;

I – гидравлический уклон (гидравлический градиент), доли единиц.

Таблица 10.1 – Коэффициента фильтрации некоторых горных пород.
Характеристика грунтов (по Маслову)

Коэффициент фильтрации, K_{ϕ} , м/сут	Водопроницаемость	Грунты
< 0,001	водоупорные	глины
до 0,5	слабо водопроницаемые	супеси, слаботрещиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки
до 5	водопроницаемые	тонко-, мелкозернистые пески и трещиноватые скальные породы
до 50	хорошо водопроницаемые	среднезернистые пески и с повышенной трещиноватостью скальные породы
> 50	сильно водопроницаемые	галечники, гравелистые пески, сильнотрещиноватые скальные породы

Коэффициент фильтрации, характеризующий водопроницаемость горных пород и входящий в формулы Дарси, может определяться тремя методами:

- 1) фильтрационными приборами в лабораторных условиях (раздел 3, [3]);
- 2) опытными откачками в полевых условиях (раздел 4, [3]);
- 3) по эмпирическим формулам, по гранулометрическому составу и пористости [21, 22].

10.3 Элементы фильтрационного потока

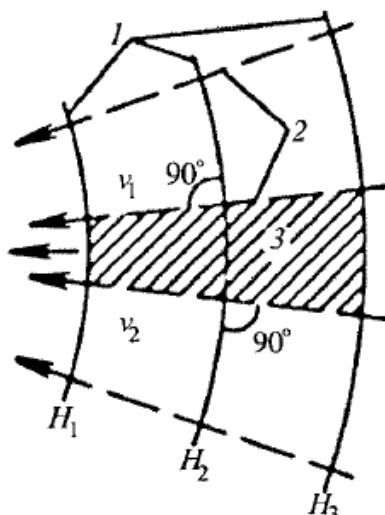
Подземный, или точнее фильтрационный, поток имеет границы: внешние и внутренние. *Внешние границы* определяют площадь распространения поля фильтрации, *внутренние* – границы потока с действующими в его пределах подземными и открытыми горными выработками, скважинами, дамбами и т.д. Границы потоков в пространстве – поверхности, в плоскости – контуры. Границы потока могут быть проницаемыми и непроницаемыми.

Фильтрационным потоком называется условный поток жидкости, проходящий через пористую среду. Хотя реальный поток идет только по открытым порам и трещинам, условно допускается, что фильтрационный поток идет через всю породу. К гидродинамическим элементам фильтрационного потока относятся: *мощность, ширина, напор, напорный градиент, скорость фильтрации, расход потока, линии равных напоров, линии токов.*

Мощность потока (h , m) определяется мощностью пород водоносного горизонта. Для грунтовых вод h – расстояние от свободной поверхности зеркала воды до подстилающего водоупора; в потоках напорных вод m – мощность водонасыщенных пород между нижним и верхним водоупорами.

Структуру потока представляет **гидродинамическая сетка**, которую образуют *линии равных напоров и линии токов* (рисунок 10.2).

Расход потока (Q) в направлении линиям тока равен нулю, что позволяет рассматривать обособленно фрагменты потока, ограниченные смежными линиями тока.



Условные обозначения: 1 – линии равных напоров (изопьезы – H_1, H_2, H_3); 2 – линии тока (перпендикулярны к линиям равных напоров); 3 – лента тока; имеет ширину (B), стрелками показано направление движения подземных вод.

Рисунок 10.2 – Гидродинамическая сетка (схема к определению расхода потока по гидродинамической сетке)

Ширина потока (B) измеряется в сечении, перпендикулярном направлению его движения; она зависит от распространения водоносных отложений, режима питания и разгрузки подземных вод.

Напоры в пределах потока распределены в соответствии с положением пьезометрической поверхности. Поверхности, обладающие по всех точках равными напорами, называются *поверхностями равных напоров*.

Следы сечения этих поверхностей кровлей водоносного пласта – *линии равных напоров*. Проекция этих последних на горизонтальную плоскость называются: для напорных вод – гидроизопьезами; для грунтовых вод – гидроизогипсами.

По результатам измерения уровней (напоров) воды в скважинах, составляют *карты гидроизогипс (гидроизопьез)* (далее см. раздел 11).

10.4 Практические задания

10.4.1 Определения коэффициента фильтрации в лабораторных условиях

Наиболее точные результаты дают приборы, позволяющие определять коэффициент фильтрации по образцам естественного сложения (Н.Н. Маслова, Г.Н. Каменского). Все измерения и расчеты (не менее двух-трех исследований), сделанные в процессе опыта и вычисления коэффициента фильтрации записывают в рабочий журнал, а окончательные - в сводную таблицу [11, 12].

10.4.2 Практика и пример определения коэффициента фильтрации по результатам опыта для грунтов разной степени водопроницаемости

Задание студентам:

1) определить коэффициент фильтрации по данным опыта для грунтов разной степени водопроницаемости – задача № 1;

2) дать характеристику грунтов с учетом характера водопроницаемости.

Исходные данные к задаче № 1 для вариантов 1а, 2а, 3а и 4а приведены в таблице 10.2. Пример решения этой задачи приводится ниже.

Порядок определения:

1. Расход жидкости по данным опыта, Q , см³/с.
2. Коэффициент фильтрации по данным опыта, K_f , см/с.
3. Среднее значение коэффициента фильтрации по данным опыта, см/с.
4. Коэффициент фильтрации с учетом переводного коэффициента из см/с в м/сут.
5. Температурную поправку во время опыта по таблице 10.3.
6. Температурную поправку при 10 °С по таблице 10.3.
7. Коэффициент фильтрации при 10 °С, $K_{ф.10}$, м/сут.
8. Используя таблицу 10.1, следует дать характеристику грунтов.

Таблица 10.2 – Расчетные методы определения коэффициента фильтрации по данным опыта для грунтов разной степени водопроницаемости и их характеристика по Маслову

№ варианта	Исходные данные для задач №№ 1а, 2а, 3а и 4а					Пример решения задач №№ 1а, 2а, 3а и 4а							Характеристика грунтов (по Маслову)	
	Температура воды во время опыта, °С	Время опыта	Объем профильтровавшейся воды	Площадь прибора	Напорный градиент	Расход жидкости, V/(t-60)	Коэффициент фильтрации, Q/(F·t)	Среднее значение коэффициента фильтрации	Коэффициент фильтрации	Температурная поправка	Температурная поправка	Коэффициент фильтрации при 10 °С	Характер водопроницаемости	Грунты (перечень примеров)
	°С	t, минуты	V, см ³	F, см ²	I, доли единиц	Q, см ³ /с	K _ф , см/с	K _{ф.ср.} , см/с	K _{ф.л.} , м/сут	ТП во время опыта	ТП при 10 °С	K _{ф.10} , м/сут		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1а	21	12,5	105	25	1	0,14	0,0056	0,0057	4,91	1,80	1,36	3,71	водопроницаемые	тонко-, мелкозернистые пески и трещиноватые скальные грунты
		11,2	97	25	1	0,14	0,0058							
2а	19	6	900	25	1	2,50	0,1000	0,1007	86,98	1,56	1,36	75,83	сильно водопроницаемые	галечники, гравелистые пески, сильнотрещиноватые скальные грунты
		5	760	25	1	2,53	0,1013							

111

Продолжение таблицы 10.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3а	20	6	6	25	1	0,02	0,0007	0,0006	0,52	1,76	1,36	0,40	слабо водопроницаемые	супеси, слаботрещиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки
		5	4	25	1	0,01	0,0005							
4а	17	15	415	25	1	0,46	0,0184	0,0182	15,76	1,64	1,36	13,07	хорошо водопроницаемые	среднезернистые пески и с повышенной трещиноватостью скальные грунты
		17	460	25	1	0,45	0,0180							

Таблица 10.3 – Таблица температурных поправок (ТП) по Пуазейлю для определения коэффициента фильтрации (K_ф)

T, °С	ТП	T, °С	ТП	T, °С	ТП	T, °С	ТП	T, °С	ТП	T, °С	ТП
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	1,36	13	1,48	16,5	1,62	19,5	1,74	22,5	1,86	25	1,96
10,5	1,38	13,5	1,5	17	1,64	20	1,76	23	1,88	26	2
11	1,4	14	1,52	17	1,64	20,5	1,78	24	1,92	27	2,04
11,5	1,42	14,5	1,55	17,5	1,66	21	1,8	25	1,96	27	2,04
12	1,44	15	1,56	18	1,68	21	1,8	26	2	27	2,04
12,5	1,46	15,5	1,58	18,5	1,7	21,5	1,82	27	2,04	27	2,04
13	1,48	16	1,6	19	1,72	22	1,84	27	2,04	27	2,04

112

Для выполнения этого задания необходимо применить нижеследующие формулы, которые в разной степени учитывают данные, полученные в результате опыта – таблица 10.2.

1. Расход жидкости Q (см³/с) по данным опыта, стекающий в мерный цилиндр объемом V (см³), за время t (минут) равен:

$$Q = \frac{V}{t \cdot 60}. \quad (10.6)$$

2. По полученным данным вычисляют коэффициент фильтрации по следующим формулам:

- по данным опыта, K_{ϕ} (см/с), (10.7);
- среднее значение по данным опыта, $K_{\phi.ср.}$ (см/с), (10.8);
- с учетом переводного коэффициента 864 – перевод из см/с в м/сут:

$$K_{\phi} = \frac{Q}{F \cdot I}, \quad (10.7)$$

$$K_{\phi.ср.} = \frac{K_{\phi 1} + K_{\phi 2}}{2}, \quad (10.8)$$

$$K_{\phi.н.} = K_{\phi.ср.} \cdot 864, \quad (10.9)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, см/с; м/сут;

864 – переводный коэффициент, см/с в м/сут;

Q – расход воды, фильтрующейся через площадь поперечного сечения F в единицу времени, замеренный в процессе опыта, см³/с;

F – площадь поперечного сечения режущего цилиндра прибора, равная площади сечения породы, через которую фильтруется вода, 25 см²;

I – напорный градиент, равный 1, доли единиц.

3. Для приведения результатов опыта к постоянной температуре, например к 10 °С или какой-либо другой, вычисляют и учитывают температурную поправку (ТП) Пуазейля по формуле:

$$ТП = 1 + 0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2. \quad (10.10)$$

4. Для приведения результатов опыта к необходимой температуре полученный коэффициент фильтрации умножают на поправку, соответствующую той температуре воды, к которой нужно привести полученный коэффициент, и делят на поправку, отвечающую температуре, при которой было произведено определение коэффициента фильтрации:

$$K_{\phi.исх.} = \frac{K_{\phi.факт.} \cdot ТП_{исх.}}{ТП_{факт.}}. \quad (10.11)$$

Для лучшего пояснения правила пользования температурной поправкой по формуле Пуазейля рассмотрим следующий пример – **вариант 1а**:

В результате опыта получили значение $K_{\phi} = 4,91$ м/сут при $t = 21$ °С.

Требуется определить K_{ϕ} при $t = 10$ °С.

Поправка ТП для 10 °С, равна 1,36, и для 21 °С, равна 1,80.

Вычисляем K_{ϕ} при 10 °С по приведенной выше формуле 10.11, получим:

$$K_{\phi.10} = \frac{4,91 \cdot 1,36}{1,80} = 3,71 \text{ м / сут}. \quad (10.12)$$

5. **Вывод:** Грунты с учетом характера водопроницаемости – водопроницаемые тонко-, мелкозернистые пески и трещиноватые скальные грунты.

Исходные данные к задаче № 1 по вариантам приводятся в таблице 10.4.

Таблица 10.4 – Варианты для определения коэффициента фильтрации по данным опыта для грунтов разной степени водопроницаемости

№ варианта	Температура воды во время опыта, градусы Цельсия	Время опыта	Объем профильтровавшейся воды	Площадь прибора	Напорный градиент
	°С	t, минуты	V, см ³	F, см ²	I, доли единиц
	1	2	3	4	5
1	20	13,0	105,0	25	1
		11,0	98,0	25	1
2	18	23,0	20,0	25	1
		21,0	17,0	25	1
3	22	16,0	485,0	25	1
		18,0	540,0	25	1
4	21	8,0	825,0	25	1
		6,0	615,0	25	1
5	17	18,0	425,0	25	1
		20,0	450,0	25	1
6	19	5,0	950,0	25	1
		4,0	750,0	25	1
7	23	15,0	120,0	25	1
		18,0	150,0	25	1
8	24	6,0	6,8	25	1
		4,0	5,0	25	1
9	20	12,0	103,0	25	1
		10,0	92,0	25	1
10	18	20,0	19,0	25	1
		19,0	15,0	25	1
11	22	15,0	488,0	25	1
		19,0	570,0	25	1
12	21	7,0	800,0	25	1
		5,0	565,0	25	1
13	17	18,0	415,0	25	1
		20,0	430,0	25	1
14	19	5,0	900,0	25	1
		4,0	760,0	25	1
15	23	15,0	100,0	25	1
		18,0	130,0	25	1
16	24	6,0	6,1	25	1
		4,0	4,5	25	1

Продолжение таблицы 10.4

№ варианта	Температура воды во время опыта, градусы Цельсия	Время опыта	Объем профильтровавшейся воды	Площадь прибора	Напорный градиент
	°С	t, минуты	V, см ³	F, см ²	I, доли единиц
	1	2	3	4	5
17	17	15,0	415,0	25	1
		17,0	460,0	25	1
18	19	10,0	880,0	25	1
		8,0	700,0	25	1
19	23	15,0	250,0	25	1
		18,0	300,0	25	1
20	24	10,0	6,1	25	1
		8,0	4,5	25	1
21	23	16,0	250,0	25	1
		20,0	300,0	25	1
22	24	12,0	6,1	25	1
		10,0	4,5	25	1
23	19	19,0	22,0	25	1
		18,0	17,0	25	1
24	21	17,0	488,0	25	1
		18,0	525,0	25	1

Задание для студентов – определить коэффициент фильтрации в следующем порядке:

1. Расход жидкости по данным опыта, Q , см³/с.
2. Коэффициент фильтрации по данным опыта, K_f , см/с.
3. Среднее значение коэффициента фильтрации по данным опыта, см/с.
4. Коэффициент фильтрации с учетом переводного коэффициента из см/с в м/сут; – $K_{ф.п}$, м/сут.
5. Температурную поправку во время опыта по таблице 10.3.
6. Температурную поправку при 10 °С по таблице 10.3.
7. Коэффициент фильтрации при 10 °С, $K_{ф.10}$, м/сут.
8. Дать характеристику грунтов с учетом характера водопроницаемости.

11 Условия залегания грунтовых вод. Построение и анализ карт гидроизогипс. Определение расхода подземного потока

11.1 Общие положения

Основная масса подземных вод образуется путем просачивания (инфильтрации) атмосферных осадков в поры и трещины горных пород.

Подземные воды движутся в толщах горных пород, местами выходят на поверхность, частично пополняют реки, озера, болота и испаряются через почву в атмосферу.

Грунтовые воды — подземные воды первого от поверхности земли постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водонепроницаемом слое. Грунтовые воды имеют свободную водную поверхность (см. рисунок 10.1 настоящего пособия).

При пересечении уровня грунтовых вод какой-либо выработкой (шурф, котлован, буровая скважина и пр.) с ее стен сочится вода, которая с течением времени заполняет часть выработки. Тот уровень, на котором вода начала сочиться со стен выработки, называется *появившимся* уровнем.

Уровень же воды, установившийся в выработке, носит название *установившегося уровня*. В грунтовых водах эти уровни (появившийся и установившийся) чаще всего **совпадают** (см. раздел 4, [3]).

Атмосферные осадки или поверхностные воды, просачиваясь в поры и пустоты горных пород, достигают на какой-то глубине водоупорный слой, где начинают скапливаться, образуя грунтовые воды.

Расстояние от поверхности грунтовых вод до водоупорного слоя называется *мощностью водоносного горизонта* (Н). Поверхность грунтовых вод часто называют *уровнем* или *зеркалом грунтовых вод*. Глубина залегания зеркала грунтовых вод может быть самой различной. Если же зеркало грунтовых вод наклонное, что свидетельствует об их движении в направлении уклона, то они носят название *потока грунтовых вод*.

Питание грунтовых вод за счет поверхностных происходит повсеместно (уровень поверхностных и подземных вод колеблется в зависимости от времени года). В результате, между поверхностными и грунтовыми водами существует постоянная *гидравлическая связь*. О характере этой связи можно судить по карте **гидроизогипс**. На практике, для изображения поверхности грунтовых вод безнапорного водоносного горизонта обычно строится карта изолиний абсолютных высот (отметок) уровней подземных вод.

Карты гидроизогипс формируются под влиянием группы факторов: гидролого-климатических, геолого-геоморфологических и гидрогеологических.

11.2 Указание по построению карты гидроизогипс

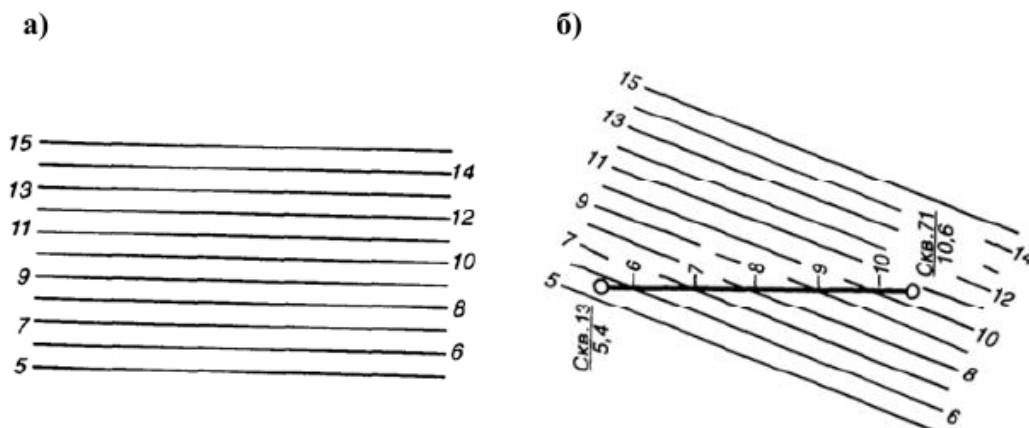
Карты гидроизогипс строят точно так же, как и изогипсы рельефа земной поверхности. Поверхность земли, также как и поверхность грунтовых вод, принято изображать в *абсолютных отметках*, которую чаще всего называют **альтитудой земли**. *Альтитуда земли* – это расстояние от уровня моря до поверхности земли, и, соответственно, она имеет разное числовое значение в любой ее точке.

В заданном масштабе наносят на карту план расположения скважин, обозначая их кружками диаметром 2 мм, справа в числителе – записывают ее номер, в знаменателе – абсолютную отметку уровня грунтовых вод (далее – УГВ). Абсолютную отметку УГВ в каждой скважине вычисляют как разность между отметкой устья и глубиной залегания УГВ.

Находят далее путем интерполяции между абсолютными отметками УГВ точки с абсолютными отметками, равными целому числу (по заданию сечение горизонталей и гидроизогипс через 1 м). Соединив точки с одинаковыми отметками плавными линиями, **получают гидроизогипсы** (на рисунке обозначены тонкими линиями). Далее стрелками показывают направление грунтового потока; пунктиром – отделяют зону с максимально возможным выходом грунтовых вод на поверхность (менее 2 метров).

Интерполяцию удобно производить с помощью палетки (рисунок 11.1, а), представляющей собой систему параллельных линий (масштабную сетку), проведенных на кальке на равном расстоянии друг от друга (обычно 2.....5 мм).

На рисунке 11.1 показаны палетка для интерполяции (масштабная сетка) и схема интерполяции. Выполняется интерполяция в такой последовательности. Точки, отметки уровней которых подлежат интерполяции, соединяют вспомогательной прямой линией (после окончания работы линия может быть стерта). Палетка накладывается на одну из точек таким образом, чтобы отметка на палетке и отметка точки совпадали. Эта точка фиксируется путем прокола булавкой. Далее палетка поворачивается вокруг булавки до тех пор, пока отметка второй точки не совпадает с отметкой по палетке. На пересечении отрезка, соединяющего точки с масштабной сеткой палетки, находят искомые точки (рисунок 11.1, б).



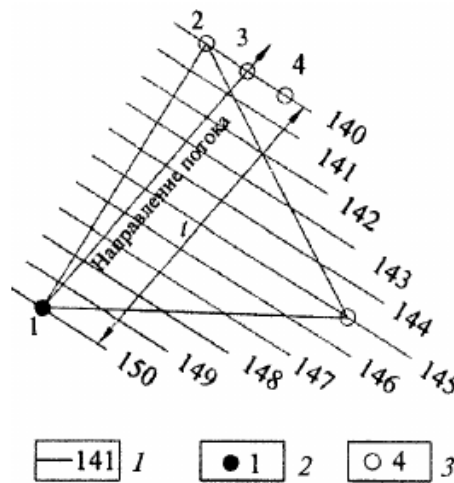
Условные обозначения: а) – палетка для интерполяции; б) – схема интерполяции.

Рисунок 11.1 – Интерполяция между абсолютными отметками

Результаты замеров **обрабатывают** способом **треугольника**. Для этого (рисунок 11.2) соединяют прямой линией *точку наивысшей* отметки уровня

напора воды в пласте с *точкой наименьшей отметки*, разбивают ее на равные части (интерполируют), соответствующие промежуточным значениям отметок воды, после чего соединяют третью исходную отметку с отвечающей по значению точкой на исходной линии.

При составлении карты гидроизогипс нельзя интерполировать между точками, расположенными по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов. Для выделения участков с глубиной залегания уровня грунтовых вод (УГВ) менее 2 метров находят точки пересечения горизонталей и гидроизогипс с разностью отметок 2 метра. Линия, проведенная через эти точки, – гидроизобата – будет границей участка.



Условные обозначения: 1 – гидроизогипса и ее отметка; 2, 3 – скважины соответственно центральная и наблюдательные.

Рисунок 11.2 – Схема для построения изолиний для грунтового подземного потока или для напорных вод (гидроизогипс и гидроизопьез)

Анализ карт дает представление о скорости фильтрации подземных вод, пропорциональной напорному градиенту, величине водопроницаемости и изменении геометрических параметров потока.

В случае постоянной водопроницаемости пласта сгущение гидроизогипс (гидроизопьез) свидетельствует о повышении скорости движения воды; увеличение расстояний между изолиниями при постоянных геометрических параметрах пласта свидетельствует о повышении водопроницаемости.

В случае постоянного расхода потока, изменение (увеличение, уменьшение) геометрических параметров водоносного пласта приводит к изменению (уменьшению, увеличению) сопротивления фильтрации и соответственно к изменению густоты изолиний.

11.3 Практика построения карты гидроизогипс

Дано: при выполнении разведочных работ на территории Оренбургского газавода было пробурено 17 скважин, расположенных в плане произвольно, как показано на рисунке 11.3. Горизонтальный масштаб – $M_r 1 : 1\ 000$.

Для выполнения задания по каждому варианту (который соответствует определенной дате замера уровней) приведены номера скважин, альтитуды (м), глубины уровней грунтовых вод (УГВ, м).

Расчетные варианты приведены в таблице 11.1.

Задание: на схеме размещения пробуренных скважин в плане для построения карты гидроизогипс приведены номера скважин (в числителе), а результаты абсолютных отметок уровня грунтовых вод следует указать в знаменателе для каждого варианта отдельно (рисунок 11.3).

Абсолютная отметка УГВ определяется: из величины альтитуды скважины вычитается глубина замеренного уровня воды.

Используя эти данные, постройте на топографической основе карту гидроизогипс масштаба $1 : 1\ 000$, приняв сечение гидроизогипс **через 1 м**.

На карте покажите **направление потока** (перпендикуляры к линиям равных напоров – см. рисунок 10.2) и выделите участки с глубиной залегания уровня грунтовых вод менее 2 м.

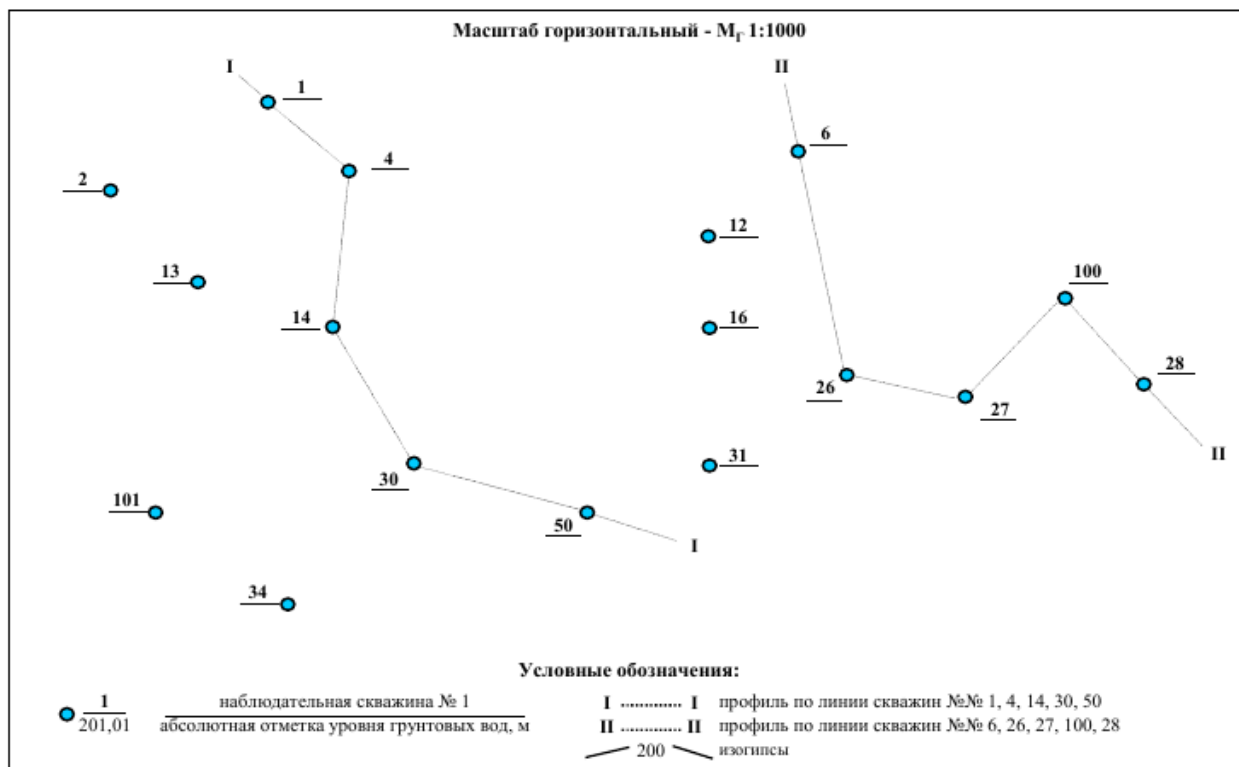


Рисунок 11.3 – Схема размещения пробуренных скважин в плане для построения карты гидроизогипс

Таблица 11.1 – Данные для построения карты гидроизогипс

Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м	Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м
Вариант 1				Вариант 2			
1	203,81	2,8		1	203,81	3,1	
2	201,62	3		2	201,62	3,3	
4	202,55	0,4		4	202,55	0,7	
6	202,71	5,9		6	202,71	6,2	
12	197,92	2,4		12	197,92	2,7	
13	202,4	3		13	202,4	3,3	
14	204,28	2,6		14	204,28	2,9	
16	200,78	7,5		16	200,78	7,8	
26	195,44	7		26	195,44	7,3	
27	191,54	5,5		27	191,54	5,8	
28	191,02	5,2		28	191,02	5,5	
30	200,9	9		30	200,9	9,3	
31	197,69	9,6		31	197,69	9,9	
34	200,69	8,5		34	200,69	8,8	
50	197,8	8,5		50	197,8	8,8	
100	203,16	14,9		100	203,16	15,2	
101	200,01	6,6		101	200,01	6,9	
Вариант 3				Вариант 4			
1	203,81	3,3		1	203,81	3,1	
2	201,62	3,5		2	201,62	3,3	
4	202,55	0,9		4	202,55	0,7	
6	202,71	6,4		6	202,71	6,2	
12	197,92	2,9		12	197,92	2,7	
13	202,4	3,5		13	202,4	3,3	
14	204,28	3,1		14	204,28	2,9	
16	200,78	8		16	200,78	7,8	
26	195,44	7,5		26	195,44	7,3	
27	191,54	6		27	191,54	5,8	
28	191,02	5,7		28	191,02	5,5	
30	200,9	9,5		30	200,9	9,3	
31	197,69	10,1		31	197,69	9,9	
34	200,69	9		34	200,69	8,8	
50	197,8	9		50	197,8	8,8	
100	203,16	15,4		100	203,16	15,2	
101	200,01	7,1		101	200,01	6,9	

Продолжение таблицы 11.1

Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м	Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м
Вариант 5				Вариант 6			
1	203,81	3,2		1	203,81	3,4	
2	201,62	3,4		2	201,62	3,6	
4	202,55	0,8		4	202,55	1	
6	202,71	6,3		6	202,71	6,5	
12	197,92	2,8		12	197,92	3	
13	202,4	3,4		13	202,4	3,6	
14	204,28	3		14	204,28	3,2	
16	200,78	7,9		16	200,78	8,1	
26	195,44	7,4		26	195,44	7,6	
27	191,54	5,9		27	191,54	6,1	
28	191,02	5,6		28	191,02	5,8	
30	200,9	9,4		30	200,9	9,6	
31	197,69	10		31	197,69	10,2	
34	200,69	8,9		34	200,69	9,1	
50	197,8	8,9		50	197,8	9,1	
100	203,16	15,3		100	203,16	15,5	
101	200,01	7		101	200,01	7,2	
Вариант 7				Вариант 8			
1	203,81	3,6		1	203,81	3,8	
2	201,62	3,8		2	201,62	4	
4	202,55	1,2		4	202,55	1,4	
6	202,71	6,7		6	202,71	6,9	
12	197,92	3,2		12	197,92	3,4	
13	202,4	3,8		13	202,4	4	
14	204,28	3,4		14	204,28	3,6	
16	200,78	8,3		16	200,78	8,5	
26	195,44	7,8		26	195,44	8	
27	191,54	6,3		27	191,54	6,5	
28	191,02	6		28	191,02	6,2	
30	200,9	9,8		30	200,9	10	
31	197,69	10,4		31	197,69	10,6	
34	200,69	9,3		34	200,69	9,5	
50	197,8	9,3		50	197,8	9,5	
100	203,16	15,7		100	203,16	15,9	
101	200,01	7,4		101	200,01	7,6	

Продолжение таблицы 11.1

Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м	Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м
Вариант 9				Вариант 10			
1	203,81	4,1		1	203,81	3,5	
2	201,62	4,3		2	201,62	3,7	
4	202,55	1,7		4	202,55	1,1	
6	202,71	7,2		6	202,71	6,6	
12	197,92	3,7		12	197,92	3,1	
13	202,4	4,3		13	202,4	3,7	
14	204,28	3,9		14	204,28	3,3	
16	200,78	8,8		16	200,78	8,2	
26	195,44	8,3		26	195,44	7,7	
27	191,54	6,8		27	191,54	6,2	
28	191,02	6,5		28	191,02	5,9	
30	200,9	10,3		30	200,9	9,7	
31	197,69	10,9		31	197,69	10,3	
34	200,69	9,8		34	200,69	9,2	
50	197,8	9,8		50	197,8	9,2	
100	203,16	16,2		100	203,16	15,6	
101	200,01	7,9		101	200,01	7,3	
Вариант 11				Вариант 12			
1	203,81	3,7		1	203,81	3,8	
2	201,62	3,9		2	201,62	4	
4	202,55	1,3		4	202,55	1,4	
6	202,71	6,8		6	202,71	4	
12	197,92	3,3		12	197,92	3,4	
13	202,4	3,9		13	202,4	4	
14	204,28	3,5		14	204,28	3,6	
16	200,78	8,4		16	200,78	8,5	
26	195,44	7,9		26	195,44	8	
27	191,54	6,4		27	191,54	6,5	
28	191,02	6,1		28	191,02	6,2	
30	200,9	9,9		30	200,9	10	
31	197,69	10,5		31	197,69	10,6	
34	200,69	9,4		34	200,69	9,5	
50	197,8	9,4		50	197,8	9,5	
100	203,16	15,8		100	203,16	15,9	
101	200,01	7,5		101	200,01	7,6	

Продолжение таблицы 11.1

Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м	Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м
Вариант 13				Вариант 14			
1	203,81	2,8		1	203,81	3,1	
2	201,62	3		2	201,62	3,3	
4	202,55	0,4		4	202,55	0,7	
6	202,71	5,9		6	202,71	6,2	
12	197,92	2,4		12	197,92	2,7	
13	202,4	3		13	202,4	3,3	
14	204,28	2,6		14	204,28	2,9	
16	200,78	7,5		16	200,78	7,8	
26	195,44	7		26	195,44	7,3	
27	191,54	5,5		27	191,54	5,8	
28	191,02	5,2		28	191,02	5,5	
30	200,9	9		30	200,9	9,3	
31	197,69	9,6		31	197,69	9,9	
34	200,69	8,5		34	200,69	8,8	
50	197,8	8,5		50	197,8	8,8	
100	203,16	14,9		100	203,16	15,2	
101	200,01	6,6		101	200,01	6,9	
Вариант 15				Вариант 16			
1	203,81	3,3		1	203,81	3,1	
2	201,62	3,5		2	201,62	3,3	
4	202,55	0,9		4	202,55	0,7	
6	202,71	6,4		6	202,71	6,2	
12	197,92	2,9		12	197,92	2,7	
13	202,4	3,5		13	202,4	3,3	
14	204,28	3,1		14	204,28	2,9	
16	200,78	8		16	200,78	7,8	
26	195,44	7,5		26	195,44	7,3	
27	191,54	6		27	191,54	5,8	
28	191,02	5,7		28	191,02	5,5	
30	200,9	9,5		30	200,9	9,3	
31	197,69	10,1		31	197,69	9,9	
34	200,69	9		34	200,69	8,8	
50	197,8	9		50	197,8	8,8	
100	203,16	15,4		100	203,16	15,2	
101	200,01	7,1		101	200,01	6,9	

Продолжение таблицы 11.1

Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м	Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м
Вариант 17				Вариант 18			
1	203,81	3,2		1	203,81	3,4	
2	201,62	3,4		2	201,62	3,6	
4	202,55	0,8		4	202,55	1	
6	202,71	6,3		6	202,71	6,5	
12	197,92	2,8		12	197,92	3	
13	202,4	3,4		13	202,4	3,6	
14	204,28	3		14	204,28	3,2	
16	200,78	7,9		16	200,78	8,1	
26	195,44	7,4		26	195,44	7,6	
27	191,54	5,9		27	191,54	6,1	
28	191,02	5,6		28	191,02	5,8	
30	200,9	9,4		30	200,9	9,6	
31	197,69	10		31	197,69	10,2	
34	200,69	8,9		34	200,69	9,1	
50	197,8	8,9		50	197,8	9,1	
100	203,16	15,3		100	203,16	15,5	
101	200,01	7		101	200,01	7,2	
Вариант 19				Вариант 20			
1	203,81	4,3		1	203,81	4,6	
2	201,62	4,5		2	201,62	4,8	
4	202,55	1,9		4	202,55	2,2	
6	202,71	7,4		6	202,71	7,7	
12	197,92	3,9		12	197,92	4,2	
13	202,4	4,5		13	202,4	4,8	
14	204,28	4,1		14	204,28	4,4	
16	200,78	9		16	200,78	9,3	
26	195,44	8,5		26	195,44	8,8	
27	191,54	7		27	191,54	7,3	
28	191,02	6,7		28	191,02	7	
30	200,9	10,5		30	200,9	10,8	
31	197,69	11,1		31	197,69	11,4	
34	200,69	10		34	200,69	10,3	
50	197,8	10		50	197,8	10,3	
100	203,16	16,4		100	203,16	16,7	
101	200,01	8,1		101	200,01	8,4	

Продолжение таблицы 11.1

Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м	Номер скважины	Альтитуда скважины, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка УГВ, м
Вариант 21				Вариант 22			
1	203,81	4,8		1	203,81	4	
2	201,62	5		2	201,62	4,2	
4	202,55	2,4		4	202,55	1,6	
6	202,71	7,9		6	202,71	7,1	
12	197,92	4,4		12	197,92	3,6	
13	202,4	5		13	202,4	4,2	
14	204,28	4,6		14	204,28	3,8	
16	200,78	9,5		16	200,78	8,7	
26	195,44	9		26	195,44	8,2	
27	191,54	7,5		27	191,54	6,7	
28	191,02	7,2		28	191,02	6,4	
30	200,9	11		30	200,9	10,2	
31	197,69	11,6		31	197,69	10,8	
34	200,69	10,5		34	200,69	9,7	
50	197,8	10,5		50	197,8	9,7	
100	203,16	16,9		100	203,16	16,1	
101	200,01	8,6		101	200,01	7,8	
Вариант 23				Вариант 24			
1	203,81	4,2		1	203,81	4,4	
2	201,62	4,4		2	201,62	4,6	
4	202,55	1,8		4	202,55	2	
6	202,71	7,3		6	202,71	7,5	
12	197,92	3,8		12	197,92	4	
13	202,4	4,4		13	202,4	4,6	
14	204,28	4		14	204,28	4,2	
16	200,78	8,9		16	200,78	9,1	
26	195,44	8,4		26	195,44	8,6	
27	191,54	6,9		27	191,54	7,1	
28	191,02	6,6		28	191,02	6,8	
30	200,9	10,4		30	200,9	10,6	
31	197,69	11		31	197,69	11,2	
34	200,69	9,9		34	200,69	10,1	
50	197,8	9,9		50	197,8	10,1	
100	203,16	16,3		100	203,16	16,5	
101	200,01	8		101	200,01	8,2	

11.4 Определение расхода подземного потока

11.4.1 Пример определения расхода подземного потока

Расчет производится по карте гидроизогипс, построенной по данным измерения уровней в скважинах, в местах выхода родников (рисунок 11.4).

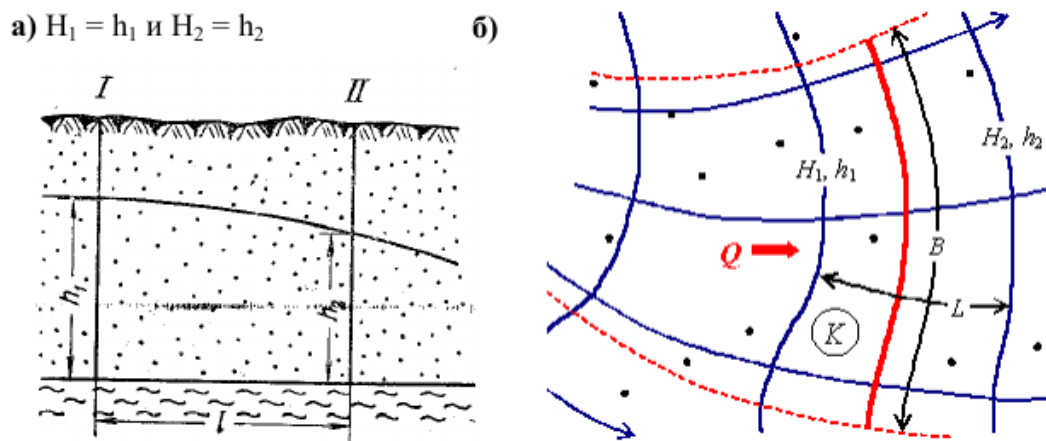


Рисунок 11.4 – Схема безнапорных вод с горизонтальным водоупором (а) и фрагмент карты гидроизогипс с расчетной лентой тока (б)

Если для выделенной расчетной ленты тока можно допустить относительное постоянство значений коэффициента фильтрации K_ϕ и глубин потока h_1 и h_2 , то расход Q ($\text{м}^3/\text{сут}$) через сечение B равен:

$$Q = B \cdot K_\phi \cdot \frac{(h_1 + h_2)}{2} \cdot \frac{(H_1 - H_2)}{L} = B \cdot K_\phi \cdot \frac{h_1 H_1 - h_2 H_2}{2 \cdot L}, \quad (11.1)$$

где B – ширина потока, м;

K_ϕ – коэффициент фильтрации, м/сут;

H_1 и H_2 – напоры в сечениях I и II на расстоянии L , м;

h_1 и h_2 – высота столба воды в тех же сечениях, м.

11.4.2 Практика определения расхода потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре

Пример решения варианта 1а. Пример определения расхода потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре (с его абсолютной отметкой) при заданных величинах K_f и B , а также замеренном расстоянии – L , (см. фрагмент карты гидроизогипс – рисунок 11.3, где надо рассчитать расход потока при его движении в направлении от скважины № 14 к скважине № 30).

Расчет отражен в таблице 11.2 в следующем порядке:

1. Проводится расчет высоты столба воды (h) в скважинах № 14 и № 30, т.е. высота столба воды в скважинах (или мощность водоносного пласта – h_1 и h_2) определяется как **разность** абсолютных отметок статического уровня (или УГВ) и кровли водоупора. В скважине № 14 ($h_1 = 201,18 \text{ м} - 163,0 \text{ м} = 38,18 \text{ м}$) и в скважине № 30 ($h_2 = 191,4 \text{ м} - 163,0 \text{ м} = 28,4 \text{ м}$).

2. Расход потока при заданных величинах рассчитывается по формуле 11.1 при условии: $H_1 = h_1$ и $H_2 = h_2$.

Таблица 11.2 – Пример определения расхода потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре

Номер варианта		1а	
Номер скважины		14	30
Ширина потока, B , м	Дано для всех расчетов	6	
Расстояние между скважинами, L , м		33	
Коэффициент фильтрации, K_f , м/сут		15,2	
Альтитуда скважины, м	Данные таблицы 11.1	204,28	200,90
Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м		3,10	9,50
Абсолютная отметка УГВ, м		201,18	191,40
Кровля водоупора (абсолютная отметка), м	Задано	163,0	163,0
Высота столба воды в скважинах, h_1 и h_2 , м	Расчет	38,18	28,40
Расход потока безнапорных вод, Q , м ³ /сут		899,8	

Исходные данные для определения расхода потока безнапорных вод по вариантам приводятся в таблице 11.3 (основа – таблица 11.1).

Таблица 11.3 – Определение расхода потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре (основа – рисунок 11.3)

Номер варианта	Кровля водоупора (абсолютная отметка), м		Высота столба воды в скважинах, h_1 и h_2 , м (см. таблицу 11.2)		Расход потока безнапорных вод, Q , м ³ /сут
	Номер скважины				
	14	30	14	30	
	Дано		Расчет		
1	185,0	185,0			
2	184,0	184,0			
3	183,0	183,0			
4	182,0	182,0			
5	181,0	181,0			
6	180,0	180,0			
7	179,0	179,0			
8	178,0	178,0			
9	177,0	177,0			
10	176,0	176,0			
11	175,0	175,0			
12	174,0	174,0			
13	173,0	173,0			
14	172,0	172,0			
15	190,0	190,0			
16	189,0	189,0			
17	188,0	188,0			
18	191,0	191,0			
19	171,0	171,0			
20	170,0	170,0			
21	169,0	169,0			
22	168,0	168,0			
23	167,0	167,0			
24	166,0	166,0			

12 Движение подземных вод к искусственным дренажным сооружениям при установившейся фильтрации

12.1 Общие сведения

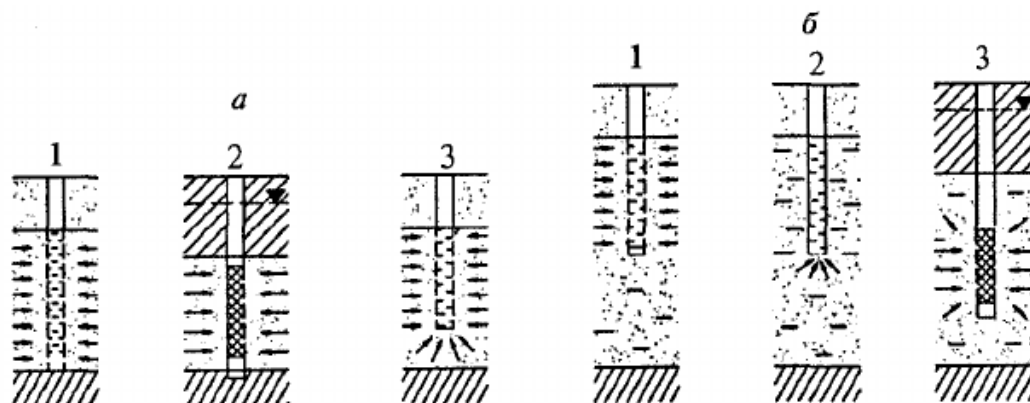
Сооружения, предназначенные для захвата и извлечения подземных вод с целью водоснабжения, отвода их с территорий строительства или изменения уровня (напора), т.е. водопонижения, называют *водозаборными* (раздел 4, [3]). Они являются искусственными дренами водоносного пласта и подразделяются на различные типы подземных водозаборных сооружений: вертикальные, горизонтальные, лучевые и комбинированные.

Отвод грунтовых вод со строительных площадок или снижение их уровней может производиться временно, только на период производства строительных работ или практически на весь период эксплуатации объекта. Временный отвод воды (или снижение уровня) называют строительным водозабором, а во втором случае – дренажами [1].

К *вертикальным дренам* относятся водозаборные и дренажные скважины, колодцы, шурфы, стволы шахт и др. Поток подземных вод к таким выработкам имеет радиальный характер или без большой погрешности для практических расчетов может быть принят за таковой, что значительно облегчает его изучение. *Горизонтальные дрены* (англ. drain — осушать) — это дренажные канавы, водосборные и дренажные галереи, дренажные штреки и др. Площадь обнажения водоносного пласта в горизонтальных выработках значительно превосходит площадь обнажения вертикально пройденных выработок.

По степени вскрытия водоносных пластов различают *совершенные и несовершенные сооружения (дрены)*.

К *совершенным* (рисунок 12.1, а) относятся выработки, которые вскрывают водоносный пласт на всю мощность, обеспечивая поступление воды в выработку по всей длине ее водоприемной части в пределах мощности водоносного пласта.



Условные обозначения: *a* – совершенные дрены в безнапорном (1, 3) и напорном (2) пластах конечной мощности; *б* – несовершенные дрены в безнапорном (1, 2) и напорном (3) пластах конечной мощности.

Рисунок 12.1 – Типы вертикальных дрен по степени вскрытия водоносного пласта

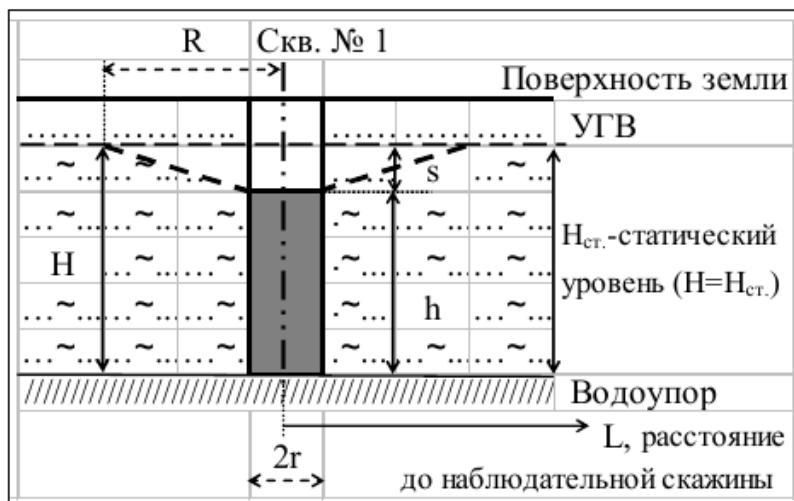
Несовершенные выработки (рисунок 12.1, *б*) вскрывают только часть пласта и обеспечивают поступление воды в пределах вскрытой части через боковые стенки или дно выработки. Водоприемная часть несовершенных дрен может располагаться в любой части водоносного пласта: у кровли или свободной поверхности, у подошвы или в средней части пласта.

12.2 Приток воды к водозаборным сооружениям

Теория движения подземных вод к водозаборным сооружениям разработана применительно к определению притока воды к вертикальным и горизонтальным водозаборам.

Если из водозаборного сооружения, например, из вертикальной скважины, откачивать воду с определенной интенсивностью $Q = const$, то уровень воды в ней, сначала быстро, а затем все медленнее понижаясь от своего первоначального положения H , через некоторое время достигнет положения h и

практически стабилизируется. Сниженный в результате продолжительной откачки уровень воды в вертикальной выработке (рисунок 12.2), соответствующий напору h в ней, называется динамическим уровнем в отличие от статического уровня, отвечающего первоначальному напору H в пласте. Величина S , на которую понижается уровень воды в выработке, называется *понижением*. Следовательно, $S = H - h$.



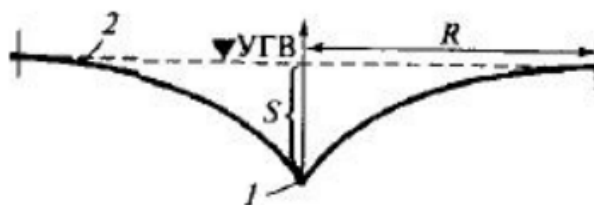
Условные обозначения: H – мощность водоносного пласта (высота уровня грунтовых вод в скважине при вскрытии), м; s – понижение уровня воды в скважине, м; h – динамический уровень воды в скважине, м; R – радиус влияния откачки, м; $2r$ – диаметр скважины, мм; L – расстояние от центральной скважины №1 до наблюдательной, м.

Рисунок 12.2 – Схема для определения гидрогеологических параметров в грунтовом водоносном горизонте

При откачке из безнапорного водоносного пласта осушение породы идет в пределах развивающейся *депресссионной воронки*, то есть происходит воронкообразное понижение уровня вследствие трения воды о частицы грунта. Образуется *воронка депрессии*, имеющая в плане форму, близкую к кругу. В

вертикальном разрезе воронка ограничивается кривыми депрессии, кривизна которых возрастает по мере приближения к точке откачки. Радиус депрессионной воронки называют *радиусом влияния* R . Размер *депрессионной воронки*, а следовательно и R , а также крутизна кривых депрессий зависят от водопроницаемости пород (рисунок 12.3).

Хорошо водопроницаемые гравий и песок, в которых меньше трение воды о частицы, характеризуются широкими воронками с большим радиусом влияния ($R = 50 \div 600$ и более). Для слабопроницаемых суглинков свойственны более узкие воронки с небольшим значением R .



Условные обозначения: 1 — точка откачки; 2 — нормальный уровень; S — понижение уровня в центре воронки; R — радиус воронки.

Рисунок 12.3 – Депрессионная воронка и радиус влияния

В ходе откачки, по существу, нельзя получить установившееся движение подземных вод. Однако практически можно считать поток подземных вод к дрене установившимся, если при длительном воздействии на пласт с постоянной интенсивностью уровень воды в выработке и в наблюдательных скважинах почти не изменяется во времени.

Впервые теория притока (Q) подземных вод к выработкам была разработана Ж. Дюпюи (1857). Предложенные им формулы и в настоящее время широко применяются на практике.

При эксплуатации подземных вод, а также при проведении дренажа и осушения месторождений скважины и другие искусственные дренажные

выработки располагаются обычно группами на расстоянии меньше двух радиусов влияния. В этих условиях они взаимодействуют.

Взаимодействие водозаборов выражается в снижении дебита (по сравнению с дебитами тех же водозаборов и при тех же динамических уровнях, но работающих в условиях отсутствия взаимодействия), динамических уровней, что преимущественно и наблюдается.

Взаимодействующие водозаборы располагаются линейно (преимущественно нормально к направлению потока подземных вод), по контурам геометрической фигуры (по кругу, в вершинах многоугольников и т.п.) или в каком-либо ином порядке.

12.3 Прогноз водопритоков к водозаборным сооружениям

Обводненность строительных котлованов, траншей и т.д. оценивают по результатам расчетов значений ожидаемых в них водопритоков Q (обычно выражаются в $\text{м}^3/\text{ч}$ или $\text{м}^3/\text{сут}$). Гидрогеологическая схематизация водопритоков включает составление расчетных схем, на которых показывают водоносные пласты (горизонты), водоупоры, дренажи, граничные условия и депрессионные кривые, развивающиеся вокруг дренажей.

Гидрогеологические характеристики включают в себя сведения о мощности водоносных горизонтов H (ненапорного) или m (напорного), величине полного напора $H_{уст.}$, водопроницаемости K_p , водоотдаче K_v , коэффициентах фильтрации K_f , уровнепроводности a , или пьезопроводности χ , режимах фильтрации, виде движения подземных вод и граничных условиях. В качестве граничных условий обычно принимаются пласт неограниченного распространения в плане и пласт, ограниченный водонепроницаемым экраном.

Прогноз включает в себя *гидрогеологическую схематизацию*, т.е. составление расчетных схем, на которых показывают водоносные пласты (горизонты), водоупоры, дренажи, граничные условия и депрессионные кривые, развивающиеся вокруг дренажей. Значения прогнозируемых и фактических

водопритоков при правильно выбранных методиках и использованных гидрогеологических и горнотехнических характеристиках имеют незначительные (1÷5 %) расхождения. Гидрогеологическая схематизация позволяет обосновать расчетную фильтрационную схему и выбрать соответствующие аналитические зависимости или аппарат математического моделирования. В аналитических расчетах используют усредненные параметры водоносных горизонтов, приведенные к схеме однородного пласта.

12.4 Практические задания. Гидрогеологические расчеты

12.4.1 Общие сведения

Гидрогеологические расчеты выполняются по цифровым данным, характеризующим водоносный горизонт. Важнейшей характеристикой водоносного горизонта является **коэффициент фильтрации** (K_f). Кроме коэффициента фильтрации определяются величина водопритока к вертикальным и горизонтальным дренажам, расход подземного потока. При определении коэффициента фильтрации применяется полевой метод (метод опытных откачек по результатам кустовых или одиночных откачек).

Гидрогеологические расчеты водозаборных сооружений, определяющие возможность получения требуемого количества воды при понижениях, не выходящих за пределы допустимых, представлены гидрогеологическими задачами, приведенными в пособии [3] в разделе 4.

Студентам требуется **ознакомиться с решением** следующих задач:

- 1) определение дебита в грунтовом водоносном горизонте – №№ 1, 3, 4; определение дебита в артезианском водоносном горизонте – № 2;
- 2) определение коэффициента фильтрации (K_f) в грунтовом водоносном горизонте методом пробных откачек – № 5; определение коэффициента фильтрации (K_f) в артезианском водоносном горизонте методом пробных откачек – № 6.

12.4.2 Практика и пример определения коэффициента фильтрации по данным одиночных опытных откачек из пластов с грунтовыми водами

В качестве образца выполнения задания, приведем пример решения задачи, по условиям которой требуется определить коэффициент фильтрации средnezернистых песков (K_{ϕ}) по результатам откачки грунтовых вод из одиночной скважины № 1 (см. рисунок 12.2). По условиям задачи в песках совершенной скважиной № 1 вскрыт горизонт грунтовых вод с круговым контуром питания на горизонтальном водоупоре. Откачка воды из горизонта проводилась при трех понижениях уровня грунтовых вод.

При откачке на каждом из понижений проводили систематические замеры уровней и количества откачиваемой воды (см. раздел 4, [3]).

По результатам откачек на каждом из трех понижений (таблица 12.1, где $H = s + h$) определены следующие параметры:

1. Коэффициент фильтрации определяется по формуле Дюпюи ($K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$, $K_{\phi 3}$) для каждой из ступеней понижения уровня грунтовых вод – s_1 , s_2 , s_3 :

$$K_{\phi} = 0,732 \cdot Q \cdot \frac{\lg R - \lg r}{(2 \cdot H - s) \cdot s}, \quad (12.1)$$

где Q – количество откачиваемой воды;

H – мощность водоносного слоя, м;

s – понижение уровня воды в скважине, м;

R – радиус влияния скважины при откачке, м;

r – радиус скважины, м.

2. Среднее значение коэффициента фильтрации равно:

$$K_{\phi.ср.} = \frac{K_{\phi 1} + K_{\phi 2} + K_{\phi 3}}{3}. \quad (12.2)$$

Данные при **трех понижениях** уровня и результаты определения фильтрационных параметров методом пробных откачек показаны в таблице 12.1.

Студентам требуется решить задачу по определению фильтрационных параметров методом пробных откачек при **одном понижении** уровня в скважине, пробуренной в грунтовом водоносном горизонте (таблица 12.2).

Таблица 12.1 – Данные для расчета и результаты определения фильтрационных параметров методом пробных откачек при трех понижениях уровня в скважине, пробуренной в грунтовом водоносном горизонте

Данные откачек								Результаты определения фильтрационных параметров					
№ скважины	Степень понижения уровня	Дебит воды при откачке		Понижение уровня	Динамический уровень воды	Диаметр скважины	Радиус влияния	Мощность водоносного слоя: $H = s + h$	Логарифмы			Коэффициент Фильтрации песков	Коэффициент водопроводимости
		Q, м ³ /мин	Q, м ³ /сут						s, м	h, м	2r, мм		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1,3	1872	2,0	63,0	160	100	65	-1,097	2,0	3,097	17,112	1078,07
	2	2,1	3024	3,4	61,6	160	100	65	-1,097	2,0	3,097	16,831	1036,76
	3	2,8	4032	4,8	60,2	160	100	65	-1,097	2,0	3,097	16,473	991,68
	Среднее значение											16,805	1035,503

*Радиус скважины следует перевести из миллиметров в метры, т.е.: $r = 2r/2000$.

3. Коэффициент водопроницаемости (T) и его среднее значение ($T_{cp.}$):

$$T = K_{\phi} \cdot H, \quad (12.3)$$

$$T_{cp.} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}. \quad (12.4)$$

Исходные данные к задаче по вариантам приводятся в таблице 12.2.

Таблица 12.2 – Данные откачек при одном понижении уровня в скважине

№ варианта	Ступень	Дебит воды при откачке		Понижение уровня s, м	Динамический уровень воды h, м	Диаметр скважины 2r, мм	Радиус влияния R, м
		Q, м ³ /мин	Q, м ³ /сут				
		1	2				
1	1	2,7	3888	4,8	60,2	160	120
2	1	2,6	3744	4,7	59,2	160	115
3	1	2,5	3600	4,6	58,2	160	110
4	1	2,4	3456	4,5	57,2	160	105
5	1	2,3	3312	4,4	56,2	160	100
6	1	2,2	3168	4,3	55,2	160	95
7	1	2,1	3024	4,2	54,2	160	90
8	1	2,0	2880	4,1	53,2	160	85
9	1	1,9	2736	4,0	52,2	160	80
10	1	1,8	2592	3,9	51,2	160	75
11	1	1,7	2448	3,8	50,2	160	70
12	1	1,6	2304	3,7	49,2	160	65
13	1	1,5	2160	3,6	48,2	160	60
14	1	1,4	2016	3,5	47,2	160	55
15	1	1,3	1872	3,4	46,2	160	50
16	1	1,2	1728	3,3	45,2	160	45
17	1	1,1	1584	3,2	44,2	160	40
18	1	1,0	1440	3,1	43,2	160	35
19	1	0,9	1296	3,0	42,2	160	30
20	1	0,8	1152	2,9	41,2	160	25
21	1	0,7	1008	2,8	40,2	160	20
22	1	0,6	864	2,7	39,2	160	15
23	1	0,5	720	2,6	38,2	160	10
24	1	0,4	576	2,5	37,2	160	5

13 Геологические карты, разрезы, колонки

13.1 Геологическая карта

13.1.1 Общие понятия

Инженер строитель должен овладеть азбукой картографического изображения, с помощью которой уметь по карте видеть местность такой, какая она есть в действительности, умении мысленно оживлять ее и наполнять содержанием, свойственным данной местности. Топографическая карта является основой, на которой наносится распространение различных горных пород, слагающих данную местность, показываются их взаимоотношение и характер залегания. Так составляется геологическая карта [5].

Собственно **геологическими** называются такие карты, на которых расчленение горных пород произведено по возрасту, то есть горные породы, имеющие различный состав, но одинаковый возраст, раскрашиваются одинаковым цветом. Этот принцип составления геологических карт основывается на том представлении, что накопление различных осадков может происходить в одно и то же время на различных участках местности.

Расчленение пород по возрасту позволяет вскрывать по геологической карте тектонические структуры, предвидеть поведение слоистых толщ на значительных глубинах от дневной поверхности.

Геологическая карта сопровождается *условными обозначениями, стратиграфической колонкой и разрезом.*

Условные обозначения размещаются справа от карты в виде вертикального столбика. Вначале приводятся условные знаки главнейших стратиграфических подразделений (приложение Б, таблица Б.14), затем условные обозначения интрузивных тел (при их наличии) и условные знаки отдельных опорных горизонтов, далее границы согласного и несогласного залегания пород, знаки тектонических структур и их элементов и др.

Стратиграфическая колонка располагается вертикально, в которой показывают последовательность напластования горных пород в возрастном порядке: в основании - самые древние, над ними - более молодые.

Стратиграфическая колонка является *сводным нормальным разрезом*. Ее составление основано на изучении возрастных соотношений стратифицированных толщ на различных участках района, представленного геологической картой. В колонке могут быть указаны горные породы, не выходящие на территории рассматриваемого района на дневную поверхность, но известные **по данным бурения скважин** (колонка буровой скважины) или из сопоставления с геологическим строением смежных районов. В колонке также могут быть указаны магматические горные породы, залегающие согласно с подстилающими или покрывающими породами и занимающие вполне определенное положение в стратиграфическом разрезе. Перерывы в осадконакоплении обычно показываются в колонке волнистой линией.

Все породы в колонке изображаются залегающими горизонтально независимо от их действительного залегания в земной коре (система, отдел, ярус и т. д.; литологическая колонка, ее мощность и описание пород).

13.1.2 Типы и масштабы геологических карт

Геологической называется такая карта, на которой условными знаками показаны площади распространения горных пород различного возраста и состава. Основой геологических карт служат *топографические планшеты*.

Карты различаются по следующим признакам:

1) по детальности (масштабу) – мелкомасштабные (1:500 000; 1:2 500 000 и мельче), среднемасштабные (1:200 000 – 1:50 000) и крупномасштабные (1:25 000 и крупнее);

2) по назначению – общие или сводные, специализированные карты, последние служат дополнением к общим картам (например, карты гидро- и пьезоизогипс, карты общей и эффективной мощности, температуры и др.);

3) по целевому содержанию: по инженерно-геологическим, гидрогеологическим, почвенным и другим условиям; параметрам и показателям; по районированию и др.

13.1.3 Разновидности геологических карт

В процессе геологической съемки работы ведутся комплексно и обычно завершаются составлением не только собственно геологической карты, но и ее главных разновидностей, например, таких как инженерно-геологические и гидрогеологические.

Инженерно-геологические карты. На этих картах производится подразделение горных пород по их физико-механическим свойствам: прочности, трещиноватости, пористости и т.д. Указывается распределение мощностей рыхлых отложений и глубина залегания скальных пород.

Гидрогеологические карты составляются на базе карт геологических. На них указывается распределение различных типов подземных вод, выделяются водоносные горизонты, проставляются все известные в районе источники, дается характеристика их дебита и химизма. Часто в изолиниях показывается зеркало грунтовых вод.

Наибольший интерес представляет собственно геологическая карта, позволяющая вскрывать особенность строения земной коры и историю геологического развития района, отраженного картой [5].

13.1.4 Чтение геологической карты

Геологическая карта, отображающая горизонтальное залегание горных пород, имеет свои особенности:

➤ наиболее молодые породы занимают наиболее высокие участки местности (вершины гор), а самые древние породы обнажаются в депрессиях рельефа (обычно в низовьях долины самой крупной реки изучаемого района);

- границы между слоями нигде не пересекаются с горизонталями рельефа, а проходят примерно параллельно им;
- границы между слоями имеют весьма неправильные, часто замкнутые контуры, целиком зависящие от характера рельефа.

Геологическая карта, отражающая складчатое залегание слоистых толщ, характеризуется своими особенностями. Главной особенностью такой карты является то, что слои одинакового возраста и состава неоднократно повторяются в направлении, поперечном их простиранию. Это повторение слоев является вполне закономерным и зависит от последовательности напластования и глубины эрозионного среза складчатой системы.

13.2 Составление геологического разреза

Строение земной коры, выявляемое в процессе полевых геологических наблюдений и отраженное в условных знаках на геологических картах, обычно принято иллюстрировать **геологическими разрезами**.

13.2.1 Составление геологических разрезов по стратифицированным комплексам пород

Одним из главнейших принципов составления геологических разрезов стратифицированных комплексов пород является допущение первичного горизонтального залегания пород. При таком залегании кровля пласта параллельна его подошве. При ненарушенном залегании стратифицированных пород каждый последующий (залегаящий выше) слой имеет более молодой возраст. Таким образом, геологическая карта участка земной поверхности с горизонтальным залеганием слоев будет отражать литологию и возраст последнего, самого молодого слоя, а разрез будет напоминать "слоеный пирог" (рисунок 13.1) Основными характеристиками пласта (слоя) при горизонтальном залегании является его **возраст** и **мощность**. В природе нередки случаи, когда

на древние дислоцированные толщи налегает комплекс более молодых осадочных пород горизонтального залегания, например (см. таблицу Б.14), над породами каменноугольного периода (С) залегают породы четвертичного периода (Q). Такое налегание является *стратиграфически несогласным*.

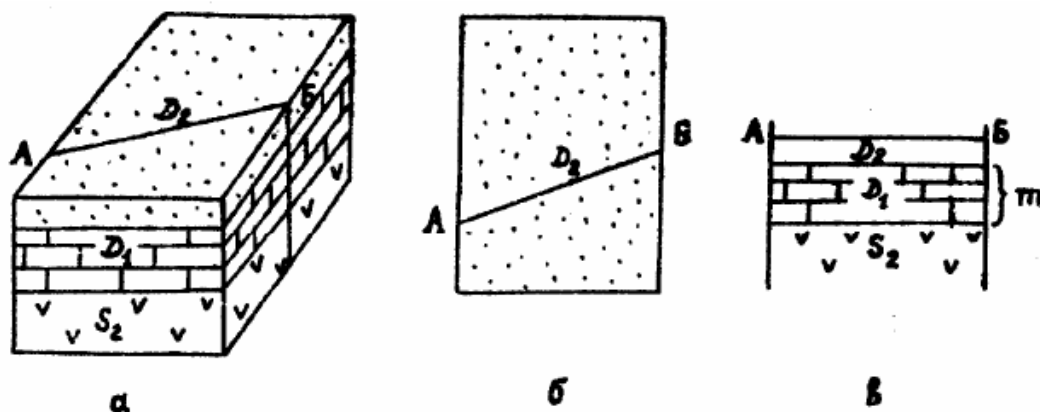


Рисунок 13.1 - Объёмная модель (а), схематическая карта участка (б) и геологический разрез (в), отражающий горизонтальное залегание горных пород

В стратиграфической колонке (или на профиле) несогласное залегание отражается волнистой линией. Если волнистая линия переходит в ровную, то это означает, что в районе имеются локальные несогласия, то есть на одних участках между выделенными в колонке стратиграфическими подразделениями наблюдаются признаки размыва более древних толщ, но другие толщ залегают согласно и признаков размыва не отмечается.

Если какой-либо однородный слой есть в одной из пробуренных скважин, а в соседней скважине его нет, то в этой, соседней скважине, слой выклинивают или показывают его фациальное замещение.

Линию выклинивания проводят до середины расстояния между этими скважинами. Фациальное замещение одних толщ другими при одинаковом возрасте пород, в частности, в стратиграфической колонке, показывают ломаной (в виде гармошки) линией.

Необходимо также учитывать, что более древние по возрасту слои располагаются под молодыми. **Последний слой** обычно вскрывается не полностью, поэтому его не следует ограничивать линиями снизу, необходимо лишь показать на нем забой (горизонтальной черточкой).

13.2.2 Практика составления геологических разрезов

Построение удобнее всего вести на масштабной (миллиметровой) бумаге. Для построения разреза необходимо иметь: транспортир, линейку, карандаш средней твердости и циркуль (он может потребоваться при построении разрезов по истинным мощностям) [5].

Работа начинается со снятия с карты точек (скважин) пересечения линией профиля геологических границ. С помощью линейки следует измерить расстояния между точками (скважинами), расположенными в плане вдоль намеченного профиля, и переложить их величины горизонтально на лист миллиметровки. Над линией разреза указывают возрастные или литологические обозначения геологических тел. Внимательно анализируя геологическую карту (или схему расположения скважин) в тонких штриховых линиях, строят разрез. После такой отстройки и увязки разреза с картой геологические контуры заполняются литологическими знаками, буквенными индексами и начисто вычерчивают все геологические границы. Все лишние вспомогательные элементы построения аккуратно убираются резинкой.

Боковые ограничения оцифровываются шкалой глубин в соответствии с принятым масштабом.

Высотные отметки (альтитуду) и глубину залегания уровня грунтовых вод на карте обычно задают в абсолютных величинах, которые расположены над уровнем поверхности (от нулевой отметки уровня моря). В абсолютных величинах принято задавать забои скважин и проводить пересчет глубин залегания пластов на абсолютные отметки с учетом мощности пластов, выявленных в разрезе буровых скважин.

13.2.3 Оформление геологических разрезов

Над разрезом (в средней части) указывают горизонтальный и вертикальный масштабы, а выше надписывают заголовок. Составленный разрез должен быть соответствующим образом оформлен. Линия дневной поверхности разреза проводится жирными линиями; при этом последние должны выступать над линией профиля на 1-2 мм. Над ними ставятся заглавные буквы (или номера скважин), отмечающие линии разреза на карте.

Все чистовые построения должны выполняться заточенным простым карандашом средней твердости. Линии тектонических нарушений могут быть подняты красной пастой (тушью) или карандашом. Геологические границы наносятся линиями средней толщины, тонкими линиями вычерчиваются литологические знаки. При этом штриховые знаки литологии должны подчеркивать направление слоистости.

Оформленный разрез подписывается составителем. Здесь же вычерчиваются условные обозначения [5].

13.3 Составление и анализ инженерно-геологического разреза

Инженерно-геологические разрезы (профили) – широко применяемая форма графической обработки и обобщения информации, характеризует инженерно-геологические и гидрогеологические условия территории в вертикальном сечении участка земной коры в заданном направлении (разрезе).

Инженерно-геологические разрезы дополняют геологические карты и имеют самостоятельное значение. В первом случае их масштаб и содержание определяются масштабом и содержанием геологической карты, во втором – целевым назначением работы.

Выделяют разрезы общие и специальные.

Общие инженерно-геологические разрезы характеризуют условия залегания и распространения горных пород разной пористости, прочности,

трещиноватости, выветрелости и т.д. На них указывается распределение толщ рыхлых отложений и глубина залегания скальных пород, также они характеризуют условия залегания и приуроченность подземных вод к различным горным породам, их связь с поверхностными водами, положение пьезометрических уровней, напора, уклона подземного потока и т.д.

Специальные инженерно-геологические разрезы – характеризуют изменение определенных свойств и их показателей, подразделяются на: средне-, мелко-, и крупномасштабные (1:500 000 и мельче; 1:200 000 и 1:50 000; 1:25 000 и крупнее, соответственно).

13.3.1 Принципы и последовательность построения разрезов

Разрезы строят по данным съемки, бурения, геофизических и гидрохимических исследований, режимным наблюдениям и данным полевых и лабораторных работ.

Для построения разреза необходимы следующие данные:

- 1) топографическая карта;
- 2) геологический и геоморфологический профили по выбранному направлению;
- 3) геолого-литологические колонки скважин, шурфов и других выработок, находящихся на линии разреза или вблизи него;
- 4) оценка инженерно-геологических свойств генетических типов горных пород по данным полевых и лабораторных исследований;
- 5) результаты наблюдений за водопроявлениями в скважинах и пр.;
- 6) результаты опробования водоносных горизонтов, положение опробуемых интервалов на колонках скважин;
- 7) результаты наблюдений на гидрометрических постах.

Последовательность построения разреза:

1. Выбирают типовые направления в соответствии с назначением исследований и результатом анализа геолого-гидрогеологических условий.

При **мелко- и среднемасштабном** картировании направления совпадают с линиями наибольшей изменчивости свойств горных пород и подземных вод, располагаются «вкрест» простирания основных геологических структур, пересекают геоморфологические элементы, зоны разломов, речные долины и так далее. Для **крупномасштабных** профилей эти направления связаны с местонахождением будущих горнодобывающих и других инженерных сооружений (например: линия расположения водозаборных скважин и т.д.);

2. Выбирают горизонтальный и вертикальный масштабы.

Горизонтальный назначают в соответствии с масштабом карты, к которой будет приложен разрез, или несколько крупнее.

Вертикальный должен обеспечить четкое изображение условий залегания и взаимосвязи водоносных комплексов, рек и т.п. (например: 10-20 м в 1 см – для средне-, и 1-5 м в 1 см – для крупномасштабных разрезов).

3. Строится гипсометрический профиль, на котором вертикальными линиями показывают местоположение скважин, отметки их устья и забоя, рельеф поверхности земли.

По данным бурения строят геолого-литологические колонки, проводят геологические и литологические границы, зоны разломов, наносят источники и т.д. На основании гидрогеологических данных выделяют водоносные горизонты и комплексы, разделяющие их относительные водоупоры, указывают интервалы опробования, количественные показатели изученных свойств.

13.3.2 Характеристика инженерно-геологических условий района

По данным построения разреза дается инженерно-геологическая характеристика условий района, в которой освещаются следующие вопросы:

1. Физико-географический очерк района.

В очерке рассматривается климат, геоморфологические особенности, глубина промерзания грунтов, сейсмичность, гидрографическая сеть,

растительность, наличие местных строительных материалов, существующая транспортная сеть и т.д.

2. Характеристика геолого-литологического строения района.

Проводится с обоснованием инженерно-геологических свойств и оценки петрографических и генетических типов горных пород в качестве грунтов основания строительных сооружений и строительного материала. В соответствии с этим рекомендуется:

➤ выделить на инженерно-геологическом разрезе комплекс слоев четвертичного возраста (Q_{1+4}) и породы коренного залегания;

➤ в петрографической последовательности описать все петрографические типы горных пород (при описании слоя указывается возраст, генезис, мощность слоя и ее изменение по разрезу, литологический состав, текстурные и структурные особенности, условия залегания и элементы залегания пласта);

➤ дать инженерно-геологическую характеристику описанных пород в соответствии с их генетическими типами (элювиальные, делювиальные, пролювиальные, морские и т.п.), используя таблицу Б.15 настоящего пособия;

При изложении инженерно-геологической характеристики горных пород необходимо указать на отношение пород к выветриванию; охарактеризовать показатели плотности, пористости, влажности, водопроницаемости, водоемкости, набухания, размокаемости, растворимости, степени уплотнения грунтов, нормативных значений прочности и деформируемости и пр.

3. Гидрогеологические условия и геолого-фильтрационное строение.

В этой части раздела, используя данные инженерно-геологического разреза, следует установить тип (грунтовые, артезианские воды и др.) и вид подземных вод (напорные и ненапорные); к каким породам они приурочены; толщину водоносных пород; глубину залегания и особенности водоупорных пород. Отдельно следует сказать о глубине залегания подземных вод, их появлении и устранении при бурении, об отметках выхода источников с величиной их дебита и т.п.

Оценить свойства водовмещающих толщ: дебиты скважин, коэффициент фильтрации, химический состав подземных вод и др., а также значение уровней и глубин рек, озер и т.п.

4. Физико-геологические и инженерно-геологические процессы и связанные с ними явления.

При описании этой части раздела следует ориентироваться на данные о составе, строении и инженерно-геологические свойства горных пород.

На основании анализа этих данных можно предвидеть характер и проявление тех или иных физико-геологических и инженерно-геологических процессов (оползни, пльвуны, суффозии, просадочность лессов, осадки оснований, фильтрацию и др.).

При анализе фильтрации следует исходить из водопроницаемости, величины коэффициента фильтрации, степени трещиноватости горных пород.

При выборе несущего слоя в качестве основания для инженерного сооружения следует исходить из инженерно-геологической оценки генетических типов горных пород (см. приложение А, таблицу А.3 [3]) и прогноза физико-геологических и инженерно-геологических процессов, которые могут проявляться при строительстве и эксплуатации разных инженерных сооружений.

13.4 Практика построения инженерно-геологического разреза и геологической колонки по данным буровых скважин

Дана схема размещения 17-и скважин, расположенных в плане произвольно в пределах фрагмента геологической карты (см. рисунок 11.3 настоящего пособия). Горизонтальный масштаб – $M_T 1:1\ 000$.

На схеме приведены номера скважин, которые указаны в числителе и абсолютные отметки уровней грунтовых вод (с учетом расчета их по вариантам) – в знаменателе. Данные буровых скважин для построения инженерно-геологического профиля по вариантам приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Данные для построения инженерно-геологического профиля (геологических колонок) по разрезу скважин

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст				
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м				
					суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый
Вариант 1									
1	203,81	2,8	201,01	189,81		5	3	3	3
4	202,55	0,4	202,15	186,55		4	7	3	2
14	204,28	2,6	201,68	187,28	1	9	4	2	1
30	200,9	9	191,9	181,9	6	7	3	1	2
50	197,8	8,5	189,3	179,8	6	6	2	2	2
Вариант 2									
1	203,81	3,1	200,71	187,81	2	4	3	3	4
4	202,55	0,7	201,85	185,55		5	7	3	2
14	204,28	2,9	201,38	186,28	1	8	5	2	2
30	200,9	9,3	191,6	180,9	5	8	3	2	2
50	197,8	8,8	189	178,8	7	6	2	2	2
Вариант 3									
1	203,81	3,3	200,51	184,81	3	4	4	4	4
4	202,55	0,9	201,65	184,55		6	7	3	2
14	204,28	3,1	201,18	185,28	1	8	5	2	3
30	200,9	9,5	191,4	179,9	5	8	3	3	2
50	197,8	9	188,8	177,8	7	7	2	2	2
Вариант 4									
6	202,71	6,2	196,51	177,71	5	6	7	4	3
26	195,44	7,3	188,14	173,44	4	10	3	2	3
27	191,54	5,8	185,74	173,54		12	2	2	2
100	203,16	15,2	187,96	180,16	8	10	2	2	1
28	191,02	5,5	185,52	178,02	1	8	2	1	1

152

Продолжение таблицы 13.1

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст				
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м				
					суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый
Вариант 5									
6	202,71	6,3	196,41	178,71	4	6	7	4	3
26	195,44	7,4	188,04	175,44	2	10	3	2	3
27	191,54	5,9	185,64	173,54	2	10	2	2	2
100	203,16	15,3	187,86	177,16	9	11	3	2	1
28	191,02	5,6	185,42	175,02	3	9	2	1	1
Вариант 6									
6	202,71	6,5	196,21	176,71	5	6	8	4	3
26	195,44	7,6	187,84	175,44	3	10	4	3	
27	191,54	6,1	185,44	174,54		11	2	2	2
100	203,16	15,5	187,66	177,16	11	10	3	2	
28	191,02	5,8	185,22	176,02	2	9	2	2	
Вариант 7									
1	203,81	3,6	200,21	189,81		5	3	4	2
4	202,55	1,2	201,35	186,55		4	6	4	2
14	204,28	3,4	200,88	187,28	1	9	3	3	1
30	200,9	9,8	191,1	181,9	6	7	2	2	2
50	197,8	9,3	188,5	179,8	6	6	2	3	1
Вариант 8									
1	203,81	3,8	200,01	187,81	2	4	4	3	3
4	202,55	1,4	201,15	185,55		5	7	4	1
14	204,28	3,6	200,68	186,28	1	8	4	3	2
30	200,9	10	190,9	180,9	5	8	3	2	2
50	197,8	9,5	188,3	178,8	7	6	3	2	1

153

Продолжение таблицы 13.1

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст				
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м				
					суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый
Вариант 9									
1	203,81	4,1	199,71	184,81	2	6	3	4	4
4	202,55	1,7	200,85	184,55		7	6	3	2
14	204,28	3,9	200,38	185,28	1	7	6	2	3
30	200,9	10,3	190,6	178,9	5	8	4	3	2
50	197,8	9,8	188	177,8	6	8	2	2	2
Вариант 10									
6	202,71	6,6	196,11	179,71	4	5	7	4	3
26	195,44	7,7	187,74	174,44	3	9	4	2	3
27	191,54	6,2	185,34	174,54		10	3	2	2
100	203,16	15,6	187,56	179,16	9	11	2	1	1
28	191,02	5,9	185,12	177,02	1	7	2	2	2
Вариант 11									
6	202,71	6,8	195,91	176,71	5	7	7	5	2
26	195,44	7,9	187,54	173,44	4	9	2	4	3
27	191,54	6,4	185,14	172,54		10	3	3	3
100	203,16	15,8	187,36	179,16	10	9	3	2	
28	191,02	6,1	184,92	173,02	3	9	2	2	2
Вариант 12									
6	202,71	4	198,71	177,71	5	6	7	4	3
26	195,44	8	187,44	174,44	4	9	3	2	3
27	191,54	6,5	185,04	173,54	2	9	3	2	2
100	203,16	15,9	187,26	175,16	10	11	3	2	2
28	191,02	6,2	184,82	174,02	4	8	3	1	1

154

Продолжение таблицы 13.1

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст				
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м				
					суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый
Вариант 13									
1	203,81	2,8	201,01	189,81		5	3	3	3
4	202,55	0,4	202,15	186,55		4	7	3	2
14	204,28	2,6	201,68	189,28	1	7	4	2	1
30	200,9	9	191,9	179,9	6	8	4	1	2
50	197,8	8,5	189,3	179,8	6	6	2	2	2
Вариант 14									
1	203,81	3,1	200,71	187,81	2	4	3	3	4
4	202,55	0,7	201,85	185,55		5	7	3	2
14	204,28	2,9	201,38	186,28	1	8	5	2	2
30	200,9	9,3	191,6	178,9	6	9	3	2	2
50	197,8	8,8	189	178,8	7	6	2	2	2
Вариант 15									
1	203,81	3,3	200,51	185,81	1	5	4	4	4
4	202,55	0,9	201,65	184,55		6	7	3	2
14	204,28	3,1	201,18	185,28	1	8	5	2	3
30	200,9	9,5	191,4	178,9	6	8	3	3	2
50	197,8	9	188,8	176,8	8	7	2	2	2
Вариант 16									
6	202,71	6,2	196,51	176,71	5	7	7	4	3
26	195,44	7,3	188,14	173,44	3	11	3	2	3
27	191,54	5,8	185,74	174,54		11	2	2	2
100	203,16	15,2	187,96	178,16	9	12	2	1	1
28	191,02	5,5	185,52	175,02	2	10	2	1	1

155

Продолжение таблицы 13.1

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст				
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м				
					суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый
Вариант 17									
6	202,71	6,3	196,41	177,71	4	6	7	4	4
26	195,44	7,4	188,04	175,44	2	10	3	2	3
27	191,54	5,9	185,64	175,54	1	10	2	2	1
100	203,16	15,3	187,86	177,16	10	10	2	2	2
28	191,02	5,6	185,42	177,02	2	8	2	1	1
Вариант 18									
6	202,71	6,5	196,21	175,71	5	6	8	4	4
26	195,44	7,6	187,84	176,44	4	9	2	2	2
27	191,54	6,1	185,44	174,54		11	2	2	2
100	203,16	15,5	187,66	177,16	10	12	3	1	
28	191,02	5,8	185,22	176,02	3	9	2	1	
Вариант 19									
1	203,81	2,8	201,01	189,81		5	3	3	3
4	202,55	0,4	202,15	186,55		4	7	3	2
14	204,28	2,6	201,68	187,28	1	9	4	2	1
30	200,9	9	191,9	181,9	6	7	3	1	2
50	197,8	8,5	189,3	179,8	6	6	2	2	2
Вариант 20									
1	203,81	3,1	200,71	187,81	1	5	3	3	4
4	202,55	0,7	201,85	185,55		5	7	3	2
14	204,28	2,9	201,38	186,28	1	8	5	2	2
30	200,9	9,3	191,6	180,9	5	8	3	2	2
50	197,8	8,8	189	178,8	7	6	2	2	2

156

Продолжение таблицы 13.1

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст				
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м				
					суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый
Вариант 21									
1	203,81	3,3	200,51	184,81	3	4	4	4	4
4	202,55	0,9	201,65	184,55		6	7	3	2
14	204,28	3,1	201,18	185,28	1	8	5	2	3
30	200,9	9,5	191,4	179,9	5	8	3	3	2
50	197,8	9	188,8	177,8	7	7	2	2	2
Вариант 22									
6	202,71	6,2	196,51	177,71	5	6	7	4	3
26	195,44	7,3	188,14	174,44	3	10	3	2	3
27	191,54	5,8	185,74	175,54		10	2	2	2
100	203,16	15,2	187,96	176,16	8	12	4	2	1
28	191,02	5,5	185,52	176,02	2	9	2	1	1
Вариант 23									
6	202,71	6,3	196,41	178,71	4	6	7	4	3
26	195,44	7,4	188,04	174,44	3	10	3	2	3
27	191,54	5,9	185,64	174,54	1	10	2	2	2
100	203,16	15,3	187,86	178,16	11	10	2	1	1
28	191,02	5,6	185,42	176,02	2	9	2	1	1
Вариант 24									
6	202,71	6,5	196,21	176,71	5	6	8	4	3
26	195,44	7,6	187,84	176,44	4	9	3	3	
27	191,54	6,1	185,44	175,54		10	2	2	2
100	203,16	15,5	187,66	175,16	11	12	3	2	
28	191,02	5,8	185,22	176,02	1	10	2	2	

157

Задание и порядок выполнения. Для построения используются:

1. Схема размещения скважин в плане (см. рисунок 11.3).
2. Данные описания буровых скважин по вариантам (см. таблицу 13.1)

для построения профиля по одному из следующих линий разрезов:

- **(I - I)** – скважины №№ 1, 4, 14, 30, 50; с расстоянием между ними 22, 33, 33 и 38 м, соответственно;
- **(II - II)** – скважины №№ 6, 26, 27, 100, 28; с расстоянием между ними 48, 25, 29 и 24 м, соответственно.

3. Построить и оформить профиль по данным бурения и размещения скважин в плане в следующих масштабах: вертикальном – M_B 1:200 и горизонтальном – M_H 1:1 000.

4. Определить направление движения потока грунтовых вод.

5. Далее следует построить геологическую колонку одной из скважин, пробуренной в пределах геологической карты, вертикальный масштаб 1:200.

6. Описать инженерно-геологические свойства горных пород на примере одного из слоев и химический состав подземных вод.

13.4.1 Пример построения инженерно-геологического разреза

В таблице 13.2 приведены данные для построения инженерно-геологического профиля (разрез II-II по линии скважин №№ 6, 26, 27, 100, 28).

Разрез строят на миллиметровой бумаге в следующем порядке:

1. В нижней части листа проводят горизонтальную линию – условную нулевую поверхность.

2. Учитывая, что горизонтальные масштабы карты и разреза по условию задачи совпадают, на горизонтальной линии отмечают начало и конец разреза по заданной линии скважин (на примере – это №№ 6, 26, 27, 100, 28) в принятом масштабе (см. рисунок 11.3).

3. Далее, для характеристики скважин и указания расстояний между ними в нижней части листа (под горизонтальной шкалой) составляют таблицу

из **пяти граф**. В первой указывается расстояние между скважинами, во второй – номер скважины, в третьей – абсолютная отметка устья скважины (альтитуда) в метрах, в четвертой – абсолютная отметка уровня грунтовых вод в скважине (УГВ) в метрах, в пятой – абсолютная отметка забоя скважины в метрах.

Таблица 13.2 – Данные для построения инженерно-геологического профиля (разрез II-II) и геологической колонки буровой скважины № 6

Номер скважины	Альтитуда, м	Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ), м	Абсолютная отметка, м		Геологический возраст					
					Q ₃	Q ₃	Q ₂	C ₁	D ₃	γPR
			УГВ	Забоя скважины	Толщина пропластков, м					
				суглинок серый	песок средней крупности	известняк трещиноватый	глина твердая	аргиллит серый	гранит (условно)	
6	202,71	6,50	196,21	181,71	5	4	4	4	4	7
26	195,44	7,60	187,84	179,44	1	9	2	4	-	5
27	191,54	6,10	185,44	176,54	-	9	2	2	2	2,5
100	203,16	15,50	187,66	176,16	11	11	3	2	-	2
28	191,02	5,80	185,22	176,02	4	7	2	2	-	2

4. У начала разреза (а иногда и в конце его) строят вертикальную шкалу абсолютных отметок с таким расчетом, чтобы максимальная отметка была несколько выше верхней точки рельефа, а минимальная ниже забоя самой глубокой скважины (см. данные таблиц 13.1 и 13.2). Вертикальную шкалу абсолютных отметок рекомендуется строить с учетом отступления ее на 2 см по горизонтальному направлению от начала первой скважины в разрезе.

5. Далее приступают к построению топографического профиля, который выполняется по данным абсолютных отметок скважин и расстоянию между ними в соответствии с планом расположения скважин. То есть откладывают от начала разреза расстояние до каждой скважины (или проецируют скважины с плана на разрез), при этом оси скважин обозначают вертикальными линиями

(линии показывают пунктиром). В графе номер скважины наносят вертикальный штрих. Под штрихами указывают номера скважин.

6. На вертикальных линиях точками отмечают абсолютные отметки устьев скважин (или поверхности земли) и УГВ, а черточками – положение забоя скважин, которые дают дополнительные точки для построения профиля. Соединив все точки абсолютных отметок устьев скважин плавными линиями, получают топографический профиль поверхности земли по заданному направлению.

7. Нанесение на топографический профиль разрезов скважин (колонок буровых скважин), т.е. слоев пород в соответствии с их мощностями (толщинами). Обычно при крупном масштабе разреза ствол скважины обозначают двумя вертикальными отрезками, в остальных случаях - одним. На нижнем конце отрезка, соответствующем абсолютной отметке низшей точки пробуренной скважины (забою), ставят короткий поперечный штрих. Справа от штриха записывают абсолютную отметку забоя, вычисляемую как разность между абсолютной отметкой устья и глубиной скважины (если нет данных). Например, для **скважины № 6** абсолютная отметка забоя равна $202,71 - 21,0 = 181,71$ м.

8. Вдоль линии скважины размечают границы слоев и проставляют их абсолютные отметки, которые вычисляют как разность абсолютной отметки устья скважины и глубин залегания соответствующих слоев. Например, в **скважине № 6** абсолютная отметка границы между первым и вторым слоями равна $202,71 - 9,0 = 193,71$ м.

9. Горные породы при этом показывают принятыми условными знаками (например, см. ниже колонку буровой скважины № 6). Рядом с каждым слоем индексом указывается геологический возраст и генетический тип пород.

Индексы геологического возраста и генетического типа приведены в выданных вариантах буровых скважин (см. таблицу 13.1). Например, правее скважины 6 на профиле отмечают границу между нижнекаменноугольными глинами (C_1) и верхнечетвертичными отложениями (Q_2).

10. Увязка геологических разрезов скважин (т.е. инженерно-геологического разреза). Абсолютные отметки кровли и подошвы однородных слоев (условный одинаковый знак по легенде), прослеживающие в скважинах и имеющие одинаковые возрастные и генетические индексы, соединяют плавными линиями. Если какой-либо однородный слой есть в одной из скважин, а в соседней скважине его нет, то в этой, соседней скважине, слой выклинивают или показывают его фациальное замещение. Линию выклинивания проводят до середины расстояния между этими скважинами. Необходимо также учитывать, что более древние по возрасту слои располагаются под молодыми. Если последний слой вскрывается не полностью, его не следует ограничивать линиями снизу, необходимо лишь показать на нем забой (горизонтальной черточкой).

11. Последний слой (кристаллический фундамент) не вскрыт во всех скважинах, расположенных в пределах рассматриваемой карты. В рассматриваемом варианте толщина гранитного слоя дана условно (см. таблицу 13.2). В заданных вариантах предполагается, что все скважины вскрывают толщу пород до гранитного слоя (т.е. до кристаллического фундамента) и в повариантных заданиях последний (шестой по счету) пропласток не задается, но гранитный слой следует учитывать при построении разреза. В этом случае следует задавать минимальные отметки в скважинах по вертикальной шкале с таким учетом, чтобы они были ниже забоя самой глубокой скважины.

Пример построения инженерно-геологического разреза по данным бурения и размещения скважин в плане (разрез II-II) показан на рисунке 13.2.

П р и м е ч а н и е – Наиболее древними породами, вскрытыми скважинами, являются верхнедевонские аргиллиты (D_3), которые в ряде скважин выклиниваются. Между аргиллитами и залегающими ниже гранитами имеется стратиграфический перерыв. На аргиллитах без стратиграфического перерыва под наклоном залегают нижнекаменноугольная глина (C_1). На глине со стратиграфическим перерывом под наклоном залегают трещиноватые известняки (Q_2). В послекамменноугольное время вплоть до начала и в течение четвертичного периода происходило осадконакопления на данном участке.

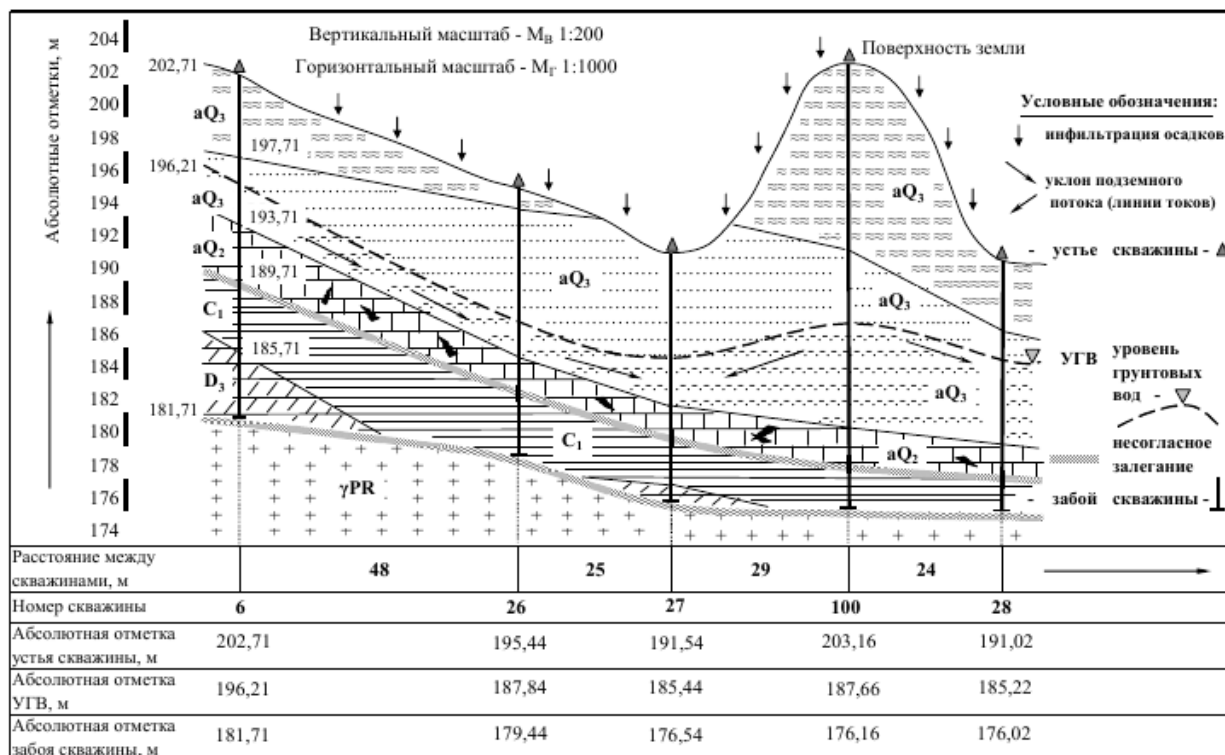


Рисунок 13.2 – Пример построения инженерно-геологического профиля по данным бурения скважин (разрез II-II)

13.4.2 Пример построения геологической колонки скважины, пробуренной в пределах геологической карты

Для построения геологической колонки скважины используются описания буровых скважин, представленных в таблице 13.1, пробуренных в пределах геологической карты (см. рисунок 11.3).

Для построения геологической колонки, например **скважины № 6**, составляется ее описание с учетом данных таблицы 13.2, которое сводится в табличную форму 13.3.

Таблица 13.3 – Описание буровой скважины № 6 к фрагменту геологической карты для построения геологической колонки

№ скважины и абсолютная отметка устья, м	№ слоя	Геологический возраст пород	Описание горных пород	Глубина залегания подошвы слоя, м	Глубина залегания уровня воды, м
1	2	3	4	5	6
<u>6</u> 202,71	1	aQ ₃	Суглинок серый полутвердый	5	
	2	aQ ₃	Песок средней крупности плотный	6,5	
			Песок средней крупности плотный, с водой	9	196,21
	3	aQ ₂	Известняк трещиноватый, с водой	13	
	4	C ₁	Глина твердая водоупорная	17	
	5	D ₃	Аргиллит серый слаботрещиноватый	21	
	6	γPR	Гранит трещиноватый, выветрелый (залегает ниже забоя скважины)	≈ 28	

Колонки строят на миллиметровой бумаге в установленном порядке.

На рисунке 13.3 в графе 1 указывают принятый вертикальный масштаб геологической колонки – 1:200. В графу 2 проставляют в заданном масштабе шкалу глубин, считая началом устье скважины (точку пересечения ствола скважины с поверхностью). В графе 3 задают номер каждого слоя, в графе 4 указывают возраст пород. Мощность каждого слоя задают в графе 5.

Абсолютные отметки подошв слоев (графа 6) определяют как разность абсолютной отметки устья скважины и глубины залегания подошвы соответствующего слоя (см. таблицу 13.3). Например, для слоя 3 абсолютная отметка подошвы равна: $202,71 - 13 = 189,71$ м., и т.д. Затем по данным графы 6 откладывают на шкале глубин глубину залегания подошвы каждого слоя и через полученные точки проводят горизонтальные линии.

После записи в графе 6 можно сделать проверку: разность абсолютных отметок подошв соседних слоев равна мощности слоя. Например, для слоя 3 (водонасыщенного) мощность определяют вычитанием: $193,71 - 189,71 = 4,0$ м.

В середине графы 7 двумя тонкими линиями обозначают ствол скважины и с обеих сторон от ствола показывают условными обозначениями литологический состав пород каждого слоя (эти условные обозначения обычно берут из стратиграфической колонки). Стволы скважин в интервалах развития водоносных слоев затемняют (от УГВ до кровли водоупора – глины твердой).

В графе 8 приводят абсолютную отметку установившегося (в скв. № 6 – 196,21 м) уровня грунтовых вод. Далее вычитают мощность водонасыщенных слоев в скв. № 6 (песка и известняка): $196,21 - 189,71 = 6,5$ м.

Из описания видно (графа 9), что скважиной вскрыты (сверху вниз) четвертичные отложения (Q_3 и Q_2), представленные тремя слоями: суглинком серым, песком средней крупности плотным и трещиноватыми известняками. Ниже лежат нижнекаменноугольные твердые глины, подстилаемые верхнедевонскими серыми аргиллитами. Под аргиллитами встречены протерозойские граниты.

Графы и их названия к геологической колонке буровой скважины № 6 располагаются аналогично в приводимом ниже рисунке 13.3.



Рисунок 13.3 – Геологическая колонка буровой скважины № 6

Примечание – В колонке обычно указывают инженерно-геологические свойства горных пород. Составление колонки основано на изучении возрастных соотношений стратифицированных толщ на различных участках района, представленного геологической картой. Все породы в колонке изображаются залегающими горизонтально независимо от их действительного залегания в земной коре.

13.4.3 Пример описания одного из слоев

На примере построения профиля и колонки скважины № 6 видно, что скважинами вскрыты (сверху вниз) четвертичные отложения: суглинок серый, полутвердый (1 слой - Q_3); песок средней крупности плотный (2 слой - Q_3); трещиноватый известняк (3 слой - Q_2). Ниже лежат твердые глины (4 слой - C_1), подстилаемые серыми аргиллитами (5 слой - D_3). Под аргиллитами встречены протерозойские граниты (6 слой – γPR). Для оценки инженерно-геологических и гидрогеологических свойств горных пород, опишем например **слой 2**, выделенный на приведенном *профиле* и в *колонке* (см. рисунки 13.2 и 13.3).

Слой 2 вскрыт скважинами: №№ 6, 26, 27, 100 и 28, который представлен верхнечетвертичным аллювиальным песком средней крупности (**а Q_3**). Представленный **слой 2** относится к четвертичным отложениям и по генетической классификации относится к аллювиально-делювиальному типу (**ад Q** – см. таблицу Б.15), по фациальной характеристике отложений – к фации присклоновых частей пойм и террас. Общая толщина **слоя 2** изменяется от 4,0 до 11,0 м, его подошва расположена на водопроницаемом слое (трещиноватые известняки). Породы водонасыщенные, приурочены к песчаным и карбонатным грунтам. Мощность водоносного **слоя 2** изменяется от 2,4 до 6,5 м, а водоносного горизонта – от 4,4 до 9,5 м (скв. №№ 26 и 100, соответственно).

Уровень грунтовых вод в скважинах изменяется и установлен на отметках от 196,21 (№ 6) до 185,22 м (№ 28). Тип подземных вод – грунтовые, вид – ненапорные. Зеркало грунтовых вод наклонное, что свидетельствует о движении подземных вод в направлении уклона, поэтому *на профиле* стрелками показано направление движения грунтового потока к скважинам № 27 и № 28.

Между поверхностными и грунтовыми водами существует постоянная гидравлическая связь. О характере связи можно судить по картам гидроизогипс (см. раздел 11). Химический состав подземных вод рассмотрен в разделе 9.

По классификации – слой 2 это осадочная порода, образующаяся в результате разрушения под воздействием физико-химических процессов (главным образом выветривания) любых других пород. По классу – это мелкообломочные породы (*псаммиты*). Размер обломков – 0,25-0,5 мм.

Слой 2 – это мелкообломочная порода. Строение зернистое. Сложение плотное. Более 50 % массы составляют обломки размером мельче 2 мм. По зерновому составу и размеру зерен – песок средней крупности, а по относительной величине зерен – однородные пески. Минеральный состав - кварцевый (до 90 % кварца), цвет – желтовато-белый. При насыщении водой **слоя 2** плавучесть не возникает, хотя плавучины возможны для песков с большим содержанием глинистых частиц.

Физико-механические свойства песка. Механические свойства обломочных несвязных пород определяются минеральным и гранулометрическим составом, степенью уплотненности. Влажность не влияет на механические свойства таких пород. Водопроницаемость их высокая, в частности, коэффициент фильтрации (K_f) **слоя 2** равен 50 м/сут.

Физико-механические свойства песка характеризуются следующими величинами: плотностью (ρ) – 2,2 г/см³; пористостью (n) – 24,6 %; влажностью (W) – 8 %; коэффициентом пористости (ϵ) – 0,325; водопоглощением (W_n) – 1,6÷10,2 %; степенью водонасыщения (S_R) – 0,55; средней прочностью при сжатии (R_c) – 15÷20 МПа. Основной прочностной характеристикой сыпучих пород является сопротивление сдвигу, оно зависит от угла внутреннего трения (ϕ , который равен 7÷19 ° и даже 32 °) и сцепления (C) (таблицы Б.12 и Б.16).

Важной характеристикой сыпучих обломочных пород является угол естественного откоса (L). Угол внутреннего трения (ϕ) всегда несколько больше угла естественного откоса, отношение (L/ϕ) изменяется в зависимости от минерального состава и размеров обломков от 0,53 до 0,94.

14 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Для промежуточной аттестации (экзамен) приводится полный перечень вопросов, выносимых на экзамен.

14.1 Контрольные вопросы для самопроверки

14.1.1 Введение, основные понятия

1. Структура, задачи геологии, её роль в строительной отрасли.
2. История развития геологии. Основные этапы развития.
3. Понятие «инженерная геология», связь ее с дисциплинами геологического и обеспечивающего (последующего) циклов.
4. Каковы задачи инженерной геологии в строительстве?
5. Методы, используемые в инженерной геологии.
6. Основная технологическая последовательность проектирования сооружений.

14.1.2 Основы геологии

1. Что изучает геология?
2. Каково современное представление о строении Земли?
3. Какие гипотезы о происхождении Земли Вы знаете?
4. Каковы форма и размеры, основные черты рельефа поверхности Земли?
5. Опишите строение земного шара и его внешние и внутренние оболочки.
6. Охарактеризуйте мощность, строение и температурный режим земной коры. Как определяется температурный режим земной коры?

7. Что такое геотермический градиент и геотермическая ступень?
8. Под действием каких процессов формируется Земная кора?
9. Из каких пород состоит Земная кора? Виды Земной коры.
10. Что такое геохронология?
11. Как определяют абсолютный возраст горных пород?
12. Как определяют относительный возраст горных пород?
13. Какое значение имеет возраст породы для строительства?
14. Какой период продолжается и поныне?
15. Что изучает палеонтология?
16. Что изучает геотектоника?
17. Каковы основные черты рельефа поверхности Земли.
18. Назовите основные тектонические структуры континентов и океанов.
19. Назовите виды тектонических движений.
20. Как определяются элементы залегания пласта?
21. Назовите виды нарушения первичного залегания горных пород.
22. Какие Вы знаете складки и их элементы.
23. Назовите типы разрывных и неразрывных нарушений (дислокаций).
24. Что называется платформой и каково ее строение?

14.1.3 Минералы и горные породы. Массивы горных пород

1. Что такое «минерал»? Его строение. Классификация.
2. Перечислите основные свойства минералов.
3. Перечислите процессы минералообразования.
4. Назовите важнейшие породообразующие минералы.
5. Чем выражен химический состав минералов?
6. Для чего нужна шкала Мооса.
7. Что такое «горная порода», «грунты»?
8. Каково различие между «грунтом» и «горной породой»?
9. Что такое структура и текстура горной породы?

10. Назовите инженерно-геологические особенности магматических и метаморфических горных пород.
11. В чем различие между интрузивным и эффузивным магматизмом?
12. Какие формы интрузивных тел Вы знаете?
13. Какие магматические горные породы Вы знаете и на каком признаке основана их классификация?
14. Какие виды метаморфизма Вы знаете?
15. Какие факторы обуславливают метаморфизм?
16. Какие метаморфические породы Вам известны?
17. Назовите генетические группы осадочных пород и дайте характеристики их физико-механических свойств.
18. Виды инженерно-геологических классификаций грунтов (горных пород).
19. Физические свойства грунтов. Показатели физических свойств грунтов. Методы их определения.
20. Плотность грунтов, основные показатели.
21. Водно-физические свойства глинистых грунтов: размокание, набухание, усадка, липкость. Число пластичности. Консистенция.
22. Особые свойства глинистых пород.
23. Механические свойства грунтов. Общее представление, показатели деформационных и прочностных свойств.
24. Определение сопротивления грунтов сдвигу. Формула Кулона. Приборы. Построение графиков. Паспорт сдвига.
25. Компрессионные испытания грунтов: определение коэффициента сжимаемости (α), модуля общей деформации (E_0), относительной деформации (ϵ), модуля осадки (I_p). Построение компрессионных кривых.
26. Какая горная порода самая прочная?
27. Физико-химические свойства грунтов, их значение в строительной практике. Тиксотропия.

28. Грунт как многофазная система. Характер структурных связей в грунте.

29. Инженерно-геологическая классификация горных пород. Дайте характеристику основных классов грунтов (горных пород) по ГОСТ 25100.

30. Показатели грунтов 1 и 2 классов.

31. Что такое «массив» горных пород, и каковы его особенности?

32. Массив горных пород как объект инженерно-геологического исследования.

33. Назовите факторы, определяющие поведение массива горных пород при взаимодействии с инженерными сооружениями.

34. Трещиноватость массивов горных пород: классификация трещин, оценка трещиноватости, меры борьбы.

35. Назовите основные виды трещин. Показатель трещинной пустотности (количественная оценка) – определение. Каковы меры борьбы с трещиноватостью горных пород при строительстве?

36. Какими факторами определяется структура массива ГП?

37. Как оценивается напряженное состояние ГП в массиве?

14.1.4 Подземные воды

1. Теория происхождения подземных вод: инфильтрационная, конденсационная, седиментационная, ювенильная, метаморфогенно-магматогенная.

2. Какие воды называются подземными?

3. Как залегают подземные воды в земной коре.

4. Что такое поверхностный и подземный стоки? Дайте определение

5. Дайте классификацию подземных вод по химическому составу. Кто автор?

6. Дайте классификацию подземных вод по условиям залегания. Кто автор?

7. Подземные воды: основные типы.
8. Дайте определение понятий «водоносный горизонт», «водоупорный горизонт», «комплекс».
9. Физические свойства подземных вод
10. Основные химические компоненты подземных вод.
11. Химическая классификация подземных вод.
12. Химический состав подземных вод и формы его выражения. Агрессивность и жесткость подземных вод.
13. Основные химические компоненты подземных вод. Формула Курлова.
14. Графические методы систематизации химического анализа подземных вод.
15. Воды зоны аэрации: условия залегания, распространения, питания и разгрузки.
16. Грунтовые воды: условия залегания, распространения, питания и разгрузки.
17. Карты гидроизогипс и гидроизобат. Их анализ.
18. Что такое режим рек? От чего зависит режим?
19. Межпластовые подземные воды. Основные типы межпластовых подземных вод по характеру формирования и режиму (напорные и безнапорные воды).
20. Артезианские воды: условия залегания, распространения, питания и разгрузки. Элементы артезианских бассейнов. Карты гидроизопьез.
21. Карстовые воды. Трещинные воды.
22. Мерзлые воды.
23. Назовите водные и физические свойства горных пород
24. Вводно-физические свойства горных пород. Дайте определение понятиям: водоустойчивость, влагоемкость, водопроницаемость, капиллярное поднятие, водоотдача, водопоглощение, водонасыщение.
25. Физические свойства горных пород. Дайте определение понятиям: пористость, плотность, влажность.

26. Назовите виды воды в горных породах.
27. Закон движения подземных вод. Ламинарное и турбулентное движение. Формула Дарси. Как отличаются ламинарное и турбулентное движение подземных вод?
28. Что такое коэффициент фильтрации (K_f) и скорость фильтрации? Что такое напорный градиент?
29. Методы определения коэффициента фильтрации (K_f).
30. Приток воды к горизонтальным выработкам и водозаборным сооружениям. Виды и типы сооружений (канавы, траншеи, колодцы, скважины, галереи и пр.). Назовите как отличаются водозаборы по характеру вскрытия.
31. Элементы фильтрационного потока: напор, напорный градиент, мощность, линии тока, линии равного напора, скорость, расход.
32. Как рассчитать приток подземных вод к водозабору – к совершенной дренажной канаве?
33. Понятия: абсолютная отметка, глубина залегания. Понятия: статический уровень, динамический уровень. Понятия: пьезометрический уровень и уровень грунтовых вод.
34. Понижение уровня подземных вод. Что такое дренаж?
35. Названия, виды дренажных сооружений.
36. Как образуется депрессионная воронка и что такое радиус влияния дренажного сооружения?
37. Понижение уровня подземных вод. Дать определение понятиям: воронка депрессии, радиус депрессии. Как отличаются воронки депрессии?

14.1.5 Геологические и инженерно-геологические процессы и явления

1. Геологические и инженерно-геологические процессы и явления (эндогенные, экзогенные и антропогенные). В чем их отличие?
2. Факторы, определяющие развитие геологических и инженерно-геологических процессов и явлений.

3. Эндогенные инженерно-геологические процессы и явления. Общая характеристика.
4. Что называется землетрясением, гипоцентром, эпицентром?
5. Какие сейсмические волны возникают при землетрясениях, и с помощью каких приборов их изучают?
6. Какова природа землетрясений, и какие бывают землетрясения?
7. Как определяется сила землетрясения? Что Вы знаете о прогнозе землетрясений?
8. Выветривание – тип процесса. Группы климатических условий выветривания. Типы выветривания.
9. Каковы основные факторы выветривания и чем представлены зоны коры выветривания полного профиля?
10. Что такое элювий, делювий, пролювий, коллювий, аллювий? Их инженерно-геологические особенности.
11. Назовите экзогенные гидродинамические процессы, связанные с движением подземных и поверхностных вод.
25. Назовите стадии развития оврагов. Осовы. Меры борьбы с оврагообразованием при производстве строительных работ.
26. Речные долины. Речная эрозия. Базис эрозии.
27. Селевые процессы, их деление.
28. Что такое карст. Условия образования карста. Каковы формы его проявления? Количественная оценка, меры борьбы.
29. Понятие «суффозия», «пльвун», причина возникновения, меры борьбы.
30. Процессы и явления связанные с многолетней мерзлотой: морозное пучение, бугры пучения, термокарст, наледи, каменные реки.
31. Инженерно-геологическая оценка многолетнемерзлых пород.
32. Каковы причины и механизм образования оползней? Оползневые процессы, прогноз и меры борьбы. Их инженерно-геологическая оценка.
33. Напряженное состояние горных пород.

34. Просадочность грунтов: сущность явления, оценка просадочности, меры борьбы.

35. Назовите критерии оценки инженерно-геологических условий местности.

36. Критерии однообразности (сложности) инженерно-геологических (ИГ) условий территорий. Классификации.

37. Назовите факторы, учитываемые при классификации территорий по благоприятности ИГ условий.

14.1.6 Геологические карты разрезы

1. Геологическая карта и ее назначение. Какие типы геологических карт Вы знаете?

2. Требования к построению карт. Чтение геологических разрезов и карт.

3. Построение и анализ карт гидроизогипс.

4. Определение расхода подземного потока.

5. Практика построения карты гидроизогипс по данным буровых скважин.

6. Построение и анализ инженерно-геологических разрезов. Практика построения.

7. Построения геологической колонки скважины, пробуренной в пределах геологической карты.

14.1.7 Инженерно-геологические изыскания для строительства

1. Этапы инженерно-геологических изысканий для строительства.

2. Современные методы исследования и обработки инженерно-геологической информации.

3. Основные виды исследований для строительства: полевые опытно-фильтрационные работы, лабораторные исследования грунтов.

4. Методы инженерно-геологического опробования и последовательность опробования.

14.2 Фонд тестовых заданий

Фонд тестовых заданий, предназначенный для контроля знаний студентов архитектурно-строительного факультета, обучающихся по направлению подготовки 270800.62 «Строительство» по учебной дисциплине "Геология", представлен в электронном виде на сайте Оренбургского государственного университета (дисциплина – "Инженерная геология").

Тестирование студентов проводится в процессе обучения перед каждым рубежным контролем.

Список использованных источников

Основная литература

1. Ананьев, В. П. Инженерная геология: учебник для вузов/ В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа. 2002. – 511 с.

2. Чернышов, С.Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии: учебное пособие для вузов/ С.Н. Чернышов, А.Н. Чумаченко, И.А. Ревелис. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Высшая школа, 2001. – 245 с: ил.

3. Ломачевская, Е. Д. Гидрогеология и инженерная геология [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Е. Д. Ломачевская; М-во образования и науки РФ, Гос. образов. учреждение высш. проф. образования "ОГУ". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3,91 МБ). - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. - Adobe Acrobat Reader 5.0.

4. СТО 02069024.101-2010. Стандарт организации. Работы студенческие. Общие требования и правила оформления. – Введен 2010-01.10. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2010.- 93 с.

Дополнительная литература

5. Черняхов, В.Б. Довузовская подготовка школьников Оренбургской области к геологическим специальностям: методическое пособие/ В.Б. Черняхов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. - 187 с.

6. Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии: учеб. пособие для вузов / В. Н. Павлинов [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 149 с: ил.

7. Ананьев, В. П. Основы геологии, минералогии и петрографии: учеб. для вузов/ В. П. Ананьев, А. Д. Потапов.- 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 2005. - 398 с.

8. Буллах, А.Г. Общая минералогия: учебное пособие для вузов/ А.Г. Буллах. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 1999. – 356 с.

9. Малкина, Г.С. Основы инженерной геологии: учебное пособие: Ч.1/ Г.С. Малкина. – Оренбург: ОГУ, 1998. – 108 с: ил.

10. Панюков, П.Н. Инженерная геология: учебник для вузов/ П.Н. Панюков. – М: Недра, 1978. – 295 с: ил.

11. Ломачевская, Е. Д. Гидрогеология и инженерная геология [Электронный ресурс]: лаб. практик./ Е. Д. Ломачевская; М-во образования и науки РФ, Гос. образов. учреждение высш. проф. образования "ОГУ". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1,56 МБ). - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. - Adobe Acrobat Reader 5.0.

12. Ломтадзе, В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: учебное пособие для вузов/ В.Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Недра, 1990. – 328 с: ил.

- 13.Сергеев, Е.М. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Полевые методы: учебное пособие для вузов: в 2 т. Т.1/ Е.М. Сергеев. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1984. – 423 с: ил.
- 14.Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология: учеб. для вузов/ В. Д. Ломтадзе. - Л.: Недра, 1978. - 496 с.
- 15.Сергеев, Е.М. Инженерная геология: учебник для вузов/ Е.М. Сергеев. – М.: Издательство МГУ, 1982. – 247 с: ил.
- 16.Добровольский, В.В. Геология: учебник для вузов/ В.В. Добровольский. – М.: ВЛАДОС, 2008.
- 17.Короновский, Н.В. Общая геология: учебник для вузов/ Н.В. Короновский. – М.: Издательство МГУ, 2002. – 448 с.
- 18.Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология: учебник для вузов/ В.Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Недра, 1984. – 511 с: ил.
- 19.Всеволожский, В.А. Основы гидрогеологии: классический университетский учебник/ В.А. Всеволожский. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: МГУ, 2007. – 448 с: ил.
- 20.Дружинин, М.К. Основы инженерной геологии: учебник для техникумов/ М.К. Дружинин. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М: Недра, 1978. – 246 с: ил.
- 21.Климентов, П.П. Методика гидрогеологических исследований: учебное пособие для вузов/ П.П. Климентов, В.М. Кононов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Высшая школа, 1989. – 448 с: ил.
- 22.Гавич, И.К., Сборник задач по общей гидрогеологии: учебное пособие для вузов/ И.К. Гавич, А.А. Лучшева, С.М. Семенова-Ерофеева. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1985. – 412 с: ил.
- 23.Седенко, М.В. Основы гидрогеологии и инженерной геологии: учебник для техникумов/ М.В. Седенко. – 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1979. – 200 с: ил.

24. Справочное руководство гидрогеолога: в 2 т. Т.1/ под ред. В.М. Максимова. – 3-е изд., перераб. и дополн. – Л.: Недра, 1979. – 512 с: ил.

25. Маккавеев, А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии/ А.А. Маккавеев. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1961. – 186 с.

Нормативная литература

26. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – Введен 1996-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 35 с.

27. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – Взамен ГОСТ 12071-84; введен 2001-01-07. – М.: Госстрой России, 2001. – 25 с.

28. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – Введен 1997-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 22 с.

29. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Взамен ГОСТ 12248-78, ГОСТ 17245-79, ГОСТ 23908-79, ГОСТ 24586-90, ГОСТ 25585-83, ГОСТ 26518-85; введен 1997-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 76 с.

30. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – Введен 1991-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 27 с.

31. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Введен 1985-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 27 с.

32. ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки. – Введен 1981-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 20 с.

П р и м е ч а н и е – Список литературы является примерным и не ограничивает использование других материалов, включая интернет ресурсы.

Приложение А
(обязательное)
Структурные элементы работы

А.1 Пример оформления титульного листа практической работы

<p>Министерство образования и науки Российской Федерации</p> <p>ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»</p> <p>Геолого-географический факультет</p> <p>Кафедра геологии</p> <p>Практическая работа по дисциплине «Геология»</p> <p>Преподаватель: доцент кафедры геологии _____ Е.Д. Ломачевская « _____ » _____</p> <p>Исполнитель: студент группы _11 ГС _____ _____ И. П. Сидоров « _____ » _____</p> <p>Оренбург 2012</p>
--

А.2 Пример оформления содержания

Содержание	
Введение	с.
1 Породообразующие минералы. *Раздел 7, подраздел 7.3, пункт 7.3.4 .	
1.1 Диагностика минералов. *Таблица Б.3 Определитель минералов	
Выводы	
Список использованных источников	
2 Основные горные породы *Раздел 8, подраздел 8.4	
2.1 Диагностика магматических горных пород. *Таблица Б.6	
2.2 Диагностика обломочных осадочных горных пород. *Таблица Б.8	
2.3 Диагностика прочих осадочных горных пород. *Таблицы Б.9	
2.4 Диагностика метаморфических горных пород. *Таблица Б.10	
Выводы	
Список использованных источников	
3 Расчетно-графические работы. Вариант № 7	
3.1 Практика обработки, систематизации и классификации результатов химического анализа подземных вод. Оценка агрессивных свойств воды. *Раздел 9, подраздел 9.3, пункт 9.3.2	
3.2 Практика и пример определения коэффициента фильтрации по результатам опыта для грунтов разной степени водопроницаемости. *Раздел 10, пункт 10.4.2	
3.3 Практика построение карты гидроизогипс. *Раздел 11, подраздел 11.3 ... Практика определения расхода потока безнапорных подземных вод при горизонтальном водоупоре. *Раздел 11, пункт 11.4.2	
3.4 Практика и пример определения коэффициента фильтрации по данным одиночных опытных откачек из пластов с грунтовыми водами. *Раздел 12, пункт 12.4.2	
3.5 Практика построения инженерно-геологического разреза и геологической колонки по данным буровых скважин. *Раздел 13, подраздел 13.4. Таблицы Б.11, 12, 14÷16	
Выводы	
* См. приложения А и Б и разделы (подразделы, пункты) настоящего пособия.	

Приложение Б
(обязательное)
Минералы и горные породы

Таблица Б.1 – Шкала Мооса

Эталонные минералы	Химический состав	Твердость по шкале Мооса	Число интенсивной твердости	Визуальные признаки твердости	Твердость по группам минералов
1	2	3	4	5	6
Тальк	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	1	24	Мягкий карандаш оставляет царапину. Легко чертится ногтем	Мягкие
Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	360	Чертится ногтем	-«»-
Кальцит (известковый шпат)	$CaCO_3$	3	1090	Латунная монета оставляет царапину	Средней твердости
Флюорит (плавиковый шпат)	CaF_2	4	1890	Стекло оставляет царапину	-«»-
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$	5	5360	Стекло не царапает. Нож оставляет едва заметную царапину	-«»-
Ортоклаз (полевоый шпат)	$K(AlSi_3O_8)$	6	7967	Царапает стекло. Ножом оставляет едва заметную царапину	Твердые
Кварц	SiO_2	7	11200	Царапает стекло. Ножом не чертится	-«»-
Топаз	$Al_2(SiO_4)(F, OH)_2$	8	14270	Режет стекло. Кварц не царапает	Очень твердые
Корунд	Al_2O_3	9	20600	Режет стекло. Царапает кварц	-«»-
Алмаз	C	10	100600	Режет стекло. Царапает корунд	-«»-

Таблица Б.2 – Определитель и классификация минералов по химическому составу и кристаллической структуре

Название, химический состав минерала	Цвет, прозрачность	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Удельный вес, г/см ³	Геологические процессы образования	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I класс. Силикаты								
Роговая обманка (Ca,Na) ₂ (Mg,Fe,Al,Mn,Ti) ₅ (Si ₄ O ₁₁) ₂ (OH) ₂	Темно-зеленый, черный, непрозрачный	Зеленый	Блеск рогового вещества	Совершенная, излом неровный, игольчатый	5-6	3,1÷3,5	Эндогенное (магматическое, метаморфическое)	Входит в состав магматических и метаморфических пород, используемых как строительный камень
Мусковит KAl ₃ (OH, F) ₂ ·[AlSi ₃ O ₁₀] или K ₂ O·3Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ ·2H ₂ O (белая калиевая слюда)	Бесцветный с розовым и желтым оттенком, прозрачный	Бесцветный	Перламутровый	Весьма совершенная, излом неровный	2÷3	2,7÷3,1	Эндогенное (магматическое и метаморфическое)	В электро- и радио-промышленности, для изготовления огнестойких строительных материалов
Хризотил-асбест Mg ₃ [Si ₂ O ₇](OH) ₂ ·H ₂ O или Mg ₃ (OH) ₄ (Si ₂ O ₅) ₂ (горный лен)	Белый, серый, бл.-зеленый, непрозрачный	Бледно-зеленый	Шелковистый	Весьма совершенная, излом игольчатый	2÷3	2,36÷2,5	Эндогенное метаморфическое	Огнеупорный материал в электротехнической, промышленности, в строительстве
Ортоклаз K[AlSi ₃ O ₈] или K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ (группа полевых шпатов)	Белый, сероватый, розовый, непрозрачный	Нет	Стеклообразный	Совершенная, излом ступенчатый	6,0÷6,5	2,6	Эндогенное (магматическое, реже метаморфическое)	В керамической, стекольной промышленности

183

Продолжение таблицы Б.2

Название, химический состав минерала	Цвет, прозрачность	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Удельный вес, г/см ³	Геологические процессы образования	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
II класс. Карбонаты								
Кальцит CaCO ₃ (известковый шпат)	Бесцветный, прозрачный или просвечивающий, при наличии примесей окраска меняется	Белый	Стеклообразный, перламутровый, матовый	Совершенная, излом ступенчатый, зернистый	3	2,7	Экзогенное осадочное	В оптических приборах, в металлургической, химической промышленности, в строительстве
III класс. Оксиды								
Кварц SiO ₂	От белого прозрачного до черного, прозрачного, молочно-белый, полупрозрачный	Нет	Стеклообразный или жирный	Весьма несовершенная, излом раковистый	7	2,5÷2,8	Эндогенное (магматическое и метаморфическое)	Подделочный камень, для оптических приборов, в радиотехнике
IV класс. Гидрооксиды								
Лимонит Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O (бурая железняк)	Бурая, охряно-желтая, непрозрачная	Ржаво-бурая	Металлоидный или матовый	Весьма несовершенная, излом неровный	1÷5	3,3÷4	Эндогенное, осадочное (химическое выветривание)	Железная руда, производство красок (охра, умбра)
V класс. Сульфиды								
Пирит FeS ₂ (серый или железный колчедан)	Золотисто-желтый, непрозрачный	Черный	Металлический	Несовершенная, излом неровный	6	5	Эндогенное, экзогенное (на дне болот, озер)	Для получения серной кислоты, для очистки отходов химич-х предприятий

184

Продолжение таблицы Б.2

Название, химический состав минерала	Цвет, прозрачность	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Удельный вес, г/см ³	Геологические процессы образования	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
VI класс. Сульфаты								
Гипс CaSO ₄ ·2H ₂ O (легкий шпат)	Бесцветный, розовый, серый, полу- и прозрачный, непрозрачный	Белый	Стеклообразный, перламутровый, шелковистый, матовый	Совершенная, излом неровный	2+2,5	2,3	Экзогенное осадочное	В архитектуре, скульптуре, в медицине, в бумажной промышленности, прозрачный - в оптике, в промышленности
VII класс. Галоиды								
Галит NaCl (каменная соль)	Бесцветный, прозрачный, белый с оттенками	Белый	Стеклообразный	Совершенная, излом неровный, ступенчатый	2+2,5	2,2	Экзогенное осадочное	В пищевой, химической промышленности, в металлургии, в медицине
VIII класс. Фосфаты								
Апатит Ca ₃ (Cl, F) (PO ₄) ₃	Голубой, зеленый с серыми пятнами, непрозрачный	Белый	Стеклообразный, сахаровидный	Весьма несовершенная, излом неровный	5	3,2	Эндогенное (магматический и метаморфический)	Для получения суперфосфатов, для получения фосфора и фосфорной кислоты
IX класс. Вольфрамиты								
Вольфрамит (Fe, Mn)WO ₄	Буровато-черный	Бурая	На плоскостях: алмазный; напр. - жирный	Совершенная, излом неровный	4,5÷5,5, хрупкий	6,7÷7,5	Магматогенного (глубинного)	Важнейшая вольфрамовая руда
X класс. Самородные элементы								
Сера, S	Желтый, различных оттенков	Бледно-желтый	Стеклообразный, алмазный, жирный, матовый	Несовершенная, излом неровный	1,5+2,5	2+2,1	Вулканическое или экзогенное	Для получения серной кислоты, в бумажной промышленности, в резиновой промышленности, в сельском хозяйстве, пр.

185

Таблица Б.3 – Определитель минералов – задание студентам

Название, химический состав минерала	Цвет, прозрачность	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Удельный вес, г/см ³	Геологические процессы образования	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I класс. Силикаты								
Авгит, (Na,Ca) ₃ (Mg,Fe,Al) [(SiAl ₂)O ₆]								
Каолинит, Al ₂ (OH) ₄ [Si ₄ O ₁₀]								
II класс. Карбонаты								
Доломит, CaMg(CO ₃) ₂								
III класс. Оксиды								
Магнетит, FeFe ₂ O ₄ (магнитный железняк)								
IV класс. Гидрооксиды								
Опал, SiO ₂ ·nH ₂ O (водный камень)								
VI класс. Сульфаты								
Ангидрит, CaSO ₄ (безводный гипс)								
VII класс. Галоиды								
Флюорит, CaF ₂ (плавиковый шпат)								
X класс. Самородные элементы								
Графит, C								

186

Таблица Б.4 – Структуры и текстуры горных пород

Типы горных пород		Структура	Текстура
Магматические*	Интрузивные	<p>По степени кристаллизации различают: скрыто-, полно- и неполнокристаллические (стекловатая масса - обсидиан) структуры.</p> <p>По размеру кристаллических зерен различают:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) весьма крупнозернистую (более 10 мм); 2) крупнозернистую - более 3 мм; 3) среднезернистую - от 1 до 3 мм; 4) мелкозернистую - менее 1 мм; 5) плотную, где отдельные зерна не видны даже в лупу (для излившейся породы). <p>По форме минеральных зерен различают: равномерно -, неравномернозернистую и порфиловую структуры (эффузивные породы).</p>	<p>По способу заполнения пространства выделяют компактные (массивные) и пористые (шлаковые).</p> <p>В зависимости от размеров и количества полостей в породах различают пузыристые, пенистые и другие текстуры.</p> <p>Как разновидность пористой выделяется миндалекаменная текстура (поры и пустоты заполняются каким-либо минералом).</p> <p>По расположению минералов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) массивная с беспорядочным расположением минералов; 2) полосчатая с полосчатым расположением минералов; 3) такситовая с пятнистым, неравномерным распределением цветных минералов; миндалевидная (с веществом другого состава); 4) флюидальная, особенно свойственная многим эффузивным породам, с наличием следов течения и расположением минералов и других элементов породы как бы потоками (эффузивные породы).
	Эффузивные	<p>Полно-, мелко- и средние кристаллическая (например, мрамор).</p> <p>Зернистая (для массивных пород - мрамор).</p> <p>Мелкозернистая, сливная (кварциты).</p> <p>Сланцеватые кристаллические (например, гнейс, сланцы).</p> <p>Катакlastические или структуры дробления.</p> <p>Реликтовая (структура, которую породы имели до метаморфизма).</p>	<p>Текстуры массивные и сланцеватые. Сланцеватость связана с чередованием размещения темных и светлых минералов в породах:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) сланцеватая (удлиненные минералы располагаются длинными сторонами взаимно параллельно); 2) волокнистая (волоконистые минералы переплетаются между собой); 3) полосчатая или ленточная (чередуются полосы разной толщины); 4) очковая (зерна минералов, выделяющихся на темном фоне); 5) плейчатая - порода сложена в мелкие складочки (гофрирована).
Метаморфические**		<p>Полно-, мелко- и средние кристаллическая (например, мрамор).</p> <p>Зернистая (для массивных пород - мрамор).</p> <p>Мелкозернистая, сливная (кварциты).</p> <p>Сланцеватые кристаллические (например, гнейс, сланцы).</p> <p>Катакlastические или структуры дробления.</p> <p>Реликтовая (структура, которую породы имели до метаморфизма).</p>	<p>Текстуры массивные и сланцеватые. Сланцеватость связана с чередованием размещения темных и светлых минералов в породах:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) сланцеватая (удлиненные минералы располагаются длинными сторонами взаимно параллельно); 2) волокнистая (волоконистые минералы переплетаются между собой); 3) полосчатая или ленточная (чередуются полосы разной толщины); 4) очковая (зерна минералов, выделяющихся на темном фоне); 5) плейчатая - порода сложена в мелкие складочки (гофрирована).
* Полнокристаллическая структура свойственна интрузивным породам. Неполнокристаллическая структура (присуща в основном - эффузивным породам и некоторым интрузивным).			
**Метаморфические породы в большинстве случаев имеют ясно выраженную кристаллическую структуру. В зависимости от степени метаморфизма в породе в той или иной степени сохраняется структура исходной породы. Текстуры для массивных пород аналогичны структурам и характеризуются как зернистые массивные (например, мрамор, кварцит).			

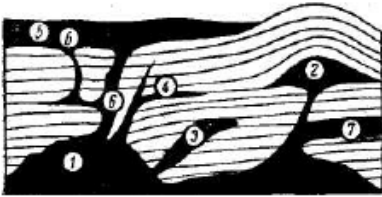
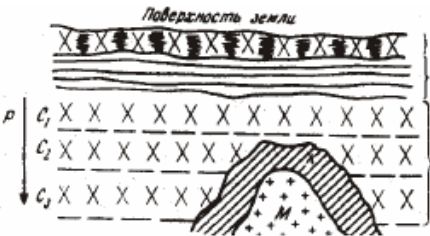
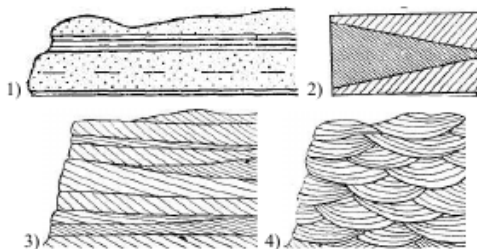
187

Продолжение таблицы Б.4

Типы горных пород		Структура	Текстура
Осадочные*		<p>Обломочная (рыхлые): грубо-, крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые (по происхождению).</p> <p>По форме обломков: угловатые, окатанные.</p> <p>По величине зерна: крупно-, средне-, мелко-, тонкозернистая (или кристаллическая).</p> <p>**Обломочная (сцементированные): нормально-осадочные породы и туфогенные.</p> <p>Брекчиевидная (спаянность обломков).</p> <p>Равнозернистая и разнозернистая.</p> <p>Оолитовая (зерна имеют форму мелких шаровых стяжений различного размера).</p> <p>Листовая (листовато-слоистое сложение).</p> <p>Игольчатая и волокнистая (от формы и величины слагающих их минералов).</p> <p>Кристаллическая (например, каменная соль).</p> <p>Органогенная (органические остатки, отпечатки).</p> <p>Пелитовая (например, глины, диатомит).</p>	<p>Текстуры в основном слоистые: параллельные; линзовидные, клиновидные</p> <p>Выделяются следующие текстуры:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) беспорядочная, при которой составляющий породу материал расположен без всякого порядка и как бы перемешан. Эта текстура характерна для морены, грубого конгломерата и т. п.; 2) листоватая, при которой порода разделяется на тончайшие пропластки в связи с частой сменой зерен различного размера по слоистости; 3) черепитчатая - разновидность листоватой. Характер зерен изменяется в этом случае по тонко выклинивающимся плоскостям, благодаря чему порода легко разделяется на тонкие черепицы; 4) плейчатая, при которой плоскости слоистости волнообразно изгибаются и выклиниваются. <p>Текстуры для массивных пород (например, хемогенных - каменная соль, ангидрит, известняки) аналогичны структурам и характеризуются как зернистые массивные.</p>
		<p>*Пористость в осадочных породах имеет настолько крупное прикладное значение. По степени пористости можно выделить породы: а) плотные, в которых пористость не заметна на глаз; б) мелкопористые, в которых можно различить мелкие частые поры; в) крупнопористые, где величина пор колеблется от 0,5 до 2,5 мм; г) кавернозные (нередки среди известняков), где поры представляют собой сложные каверны, возникшие на месте выщелоченных раковин и других органических остатков, а также отдельных участков породы.</p>	
**Масса тонкозернистого материала, скрепляющая отдельные зерна породы, называется цементом последней. Прочность цементирующего вещества (глинистого, карбонатного, сульфатного, железистого, кремнистого) определяет прочность породы в целом (см. структуры с различными типами цементации - рисунок Г.4, [3]).			

188

Таблица Б.5 – Формы залегания горных пород в земной коре

Типы горных пород		Залегание, преобразование и слоистость пород	Условные обозначения
Магматические породы	Интрузивные породы		Формы залегания изверженных пород Условные обозначения: 1 — батолит; 2 — лакколит; 3 — шток; 4 — пластовая жила; 5 — покров; 6 — секущие жилы (дайки); 7 — пластовая интрузия.
	Эффузивные породы		
Метаморфические породы Форма залегания метаморфических пород соответствует форме залегания горных пород, из которых они образовались (осадочных или метаморфических)			Зоны преобразования горных пород в земной коре Условные обозначения: А — выветривания; В — цементации; С — метаморфизма с подзонами (С ₁ - эпи, С ₂ - мезо, С ₃ - ката, аналог регионального метаморфизма); Р — увеличения давления с глубиной; К — контактового метаморфизма; М — магмы.
Осадочные породы Первичной формой залегания осадочных образований является слой, или пласт. Пласт - геологическое тело, сложенное однородной осадочной породой определенной мощности.			Виды слоистости осадочных пород Условные обозначения: 1 — прямая или горизонтальная слоистость; 2 — диагональная слоистость; 3 — косая слоистость; 4 — перекрестная слоистость. В напластании (форме залегания) наблюдается ритмичность, т.е. циклическая повторяемость слоев, обусловленная условиями осадконакопления.

189

Таблица Б.6 – Определитель магматических горных пород (пример выполнения и задание*)

Наименование породы	Глубинная или излившаяся	Цвет, твердость	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Ультрасиенные (SiO₂ менее 45 %)							
Оливинит (дунит)*							
2. Основные (SiO₂ 45÷52%)							
Габбро*							
Базальт	Излившаяся (эффузивная)	Темно-серый, царапает стекло	Плагиоклазы, пироксен (авгит), оливин	Неполнокристаллическая, Порфири-видная или мелкокристаллическая	Шлаковая, пористая	$\rho_s = 2,7+3,2 \text{ г/см}^3$, $\rho = 2,0+2,6 \text{ г/см}^3$, $n = 7,9+24 \%$, $W_n = 1+4\%$ (водопоглощение), $R_{сж} = 100+500 \text{ МПа}$	Стеновой, бортовой камень. Плита для облицовки. Отходы - щебень для легких бетонов. Самая прочная порода, слагающая верхнюю часть земной коры.
3. Средние (SiO₂ 52÷65 %)							
Диориты (отделяю)	Глубинная (интрузивная)	Светло-темно-серая, царапает стекло	Плагиоклаза 75 %, роговая обманка (мало авгита и биотита), иногда есть кварц, 25-30 % цветных минералов	Полнокристаллическая, зернистая, реже порфири-видная	Массивная	$\rho_s = 2,8+3,2 \text{ г/см}^3$, $\rho = 2,0+3,0 \text{ г/см}^3$, $n = 0,25+1,25\%$, $R_{сж} = 180+270 \text{ МПа}$. Выветривается. Окраска: зеленовато-серая, непригодны в строительстве. Морозостойкие	Как дорожный материал (вязкий). Хорошо полируется - для облицовки, отделки. Изготовление - камень, щебень.

190

Продолжение таблицы Б.6

Наименование породы	Глубинная или излившаяся	Цвет, твердость	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8
4. Щелочные (SiO₂ 55+65 %) – имеет ограниченное распространение							
Нефелиновый сиенит	Глубинная (интрузивная)	Серо-красно-коричневый, черный, царапает стекло	Нефелин, полевые шпаты, биотит	Полнокристаллическая, крупно-зернистая	Массивная	Не определены	Сырье для получения алюминия
5. Кислые (SiO₂ 55+75 %)							
Гранит (биотитовый)*							
Обсидиан (вулканическое стекло)	Излившаяся (эффузивная)	Светло-темно-коричневый, черный, царапает стекло	Кварц, полевые шпаты, H ₂ O до 10 %	Стекло-видная	Сплошная, сливная	Хрупкий, но твердый	Как отделочный камень, Отходы - щебень.
6. Ультракислые (SiO₂ более 75 %) – имеет ограниченное распространение							
Пегматиты (крепкая связь)	Глубинная (интрузивная)	Светлая, царапает стекло	Кварц, полевые шпаты, есть цветные металлы	Графическая или пегматитовая	Массивная	Выветриваются - обломки каолининовой глины	Керамическое сырье
*Задание студентам: описать магматические горные породы.							

191

Таблица Б.7 – Классификация осадочных пород

Обломочных осадочных пород						
Размер обломков, мм (структура)	Обломки		Обломочные породы			Фракции по ГОСТ 25100
	угловатые	окатанные	Рыхлые (сыпучие)	Компактные (сцементированные)		
				угловатых	окатанных	
Более 200 (агломераты)	Глыбы	Валуны	Грубообломочные	Валуны	Валунные конгломераты	Валунная (каменистая)
200 – 40 (псефиты)	Щебень	Галечник	Крупнообломочные	Брекчии	Конгломераты	Галечниковая (щебенистая)
40 – 2 (псефиты)	Дресва	Гравий		Дресвяники	Гравелиты	Гравийная (дресвяная)
2 - 0,05 (псаммиты)	Песчаные (пески разные)		Средне- и мелко-обломочные песчаные	Песчаники		Песчаная
0,05-0,005 (алевроиты)	Пылеватые (алевроиты, лёссы)		Мелкообломочные пылеватые	Алевролиты		Пылеватая
Менее 0,005 (пелиты)	Глинистые (глины разные)		Тонкообломочные глинистые породы	Аргиллиты		Глинистая
Пирокластические или вулканогенные*			Вулканические глыбы, бомбы, лапилли и др.	Туфы, туффиты и др. (сцементированные); лемза и др. (спекшиеся)		
Химические осадки (хемогенные породы)						
Каменная соль, сильвин, гипс, ангидрит, известняки, доломиты, мергель и другие. Породы в основном мономинеральные.						
Органические образования (органогенные и органогенно-обломочные породы)						
Известняки-ракушечники, диатомиты, трепел, опока, каменный уголь и др.						
Породы смешанного происхождения						
Супеси, суглинки, мергели, опока, трепел и пр.						
*Пирокластические породы – обломочные горные породы, образующие в результате накопления обломочного материала, выброшенного при извержении вулканов.						

192

Таблица Б.8 – Определитель обломочных осадочных горных пород (пример выполнения и задание *)

Наименование породы	Размер и окатанность обломков	Тип цементации. Состав цемента	Цвет. Минеральный состав	Текстура	Физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию	Применение
1	2	3	4	5	6	7
1. Рыхлые песчаные						
Песок*		Отсутствует				
2. Цементированные						
Брекчия	10-100 мм, неокатанные	Базальтовый, контактовый, поровый. По составу - все виды цемента	Цвет и состав различные, зависят от состава обломков и цемента	Беспорядочная	Более прочные брекчии с базальтовым кремнистым и железистым цементом	Плиты для облицовки, строительные блоки. Отходы - щебень
Песчаник*						
3. Глинистые						
Глина*						
Аргиллит*						
4. Пирокластические						
Вулканические туфы	2-0,005 мм, угловатая	Контактный, поровый. По составу - кремнеглинистый	Белая, серая, розовая. Обломки эффузивных пород и магматических минералов цементированы пепловым материалом	Слоистая	$\rho = 0,75 \div 1,4 \text{ г/см}^3$, $n = \text{до } 70 \%$, $R_{сж} = 8 \div 70 \text{ МПа}$. Морозостойкий. Малотеплопроводный	Добавки к цементу. Плиты для облицовки наружных стен. Отходы - щебень
*Задание студентам: описать обломочные осадочные горные породы (структура: обломочная).						

193

Таблица Б.9 – Определитель прочих осадочных горных пород (пример выполнения и задание *)

Наименование породы	Цвет. Минеральный состав	Группа	Структура	Текстура	Физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию	Применение
1	2	3	4	5	6	7
Хомогенные породы						
Гипс	Белый, серый, розовый	Хомогенная	Волокнистая, тонко-мелко-кристаллическая	Массивная, слоистая	При обезвоживании переходит в ангидрит; по сравнению с каменной солью, растворяется медленнее	Производство: алебастр. Отделка: интерьеров, скульптурных форм
Ангидрит*						
Биогенные породы						
Известняк – ракушечник*		Хомогенная или биогенная				
Смешанные (криптогенные) породы						
Опока	Белый, серый, бурый, (90 % опала и 10 % пылеватых частиц)	Хомогенная обломочная	Скрытокристаллическая	Массивная	$n = 45-60 \%$, $R_{сж} = 2 \div 3 \text{ МПа}$. Не размокает. Не морозостойкий	Как абсорбирующий материал
Супесь*						
Суглинок*						
*Задание студентам: описать прочие осадочные горные породы.						

194

Таблица Б.10 – Определитель метаморфических горных пород (пример выполнения и задание *)

Наименование породы	Тип метаморфизма, исходящая порода	Цвет, твердость	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физико-механические свойства и показатели, устойчивость к выветриванию	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8
Мрамор	Контактово-термальный, известняк	От белого до черного, стекло не царапает	Кальцит, доломит	Микро-крупно-кристаллическая	Массивная	$\rho_s = 2,7 \pm 2,84 \text{ г/см}^3$, $\rho = 2,64 \pm 2,8 \text{ г/см}^3$, $n = 0,3 \pm 2,0 \%$, $W_n = 0,12 \pm 0,9 \%$ (водопоглощение), $R_{сж} = 44 \pm 300 \text{ МПа}$. Морозостойкий.	Плиты для отделки зданий, колонн, интерьеров. Стеновые блоки, скульптурные группы. Отходы - щебень, крошка.
Кварцит*							
Серпентинит*						Не определялись	
Гнейс*							
Сланец графитовый	Региональный; каменный уголь	Черный, мягкий	Графит	Тонко-кристаллическая	Сланцевая	Не определялись	Для получения графита

*Задание студентам: описать метаморфические горные породы.

195

Таблица Б.11 – Свойства основных магматических и метаморфических горных пород

Типы горных пород		Коэффициент размягчаемости	Степень выветрелости, $K_{вт}$ **	Коэффициент крепости	Временное сопротивление одноосному сжатию, R_c , МПа		Плотность ρ , г/см ³	Пористость n , %	Водопоглощение W_n , %	Водопроницаемость K_f **** м/сут
		$K_{сж}$ *	ГОСТ 25100	$f_{кр}$, $K_{кр}$ ***	ГОСТ 25100	значения				
Магматические	Интрузивные	0,75±0,9	1 1÷0,9 0,9±0,8	$R_c/300$ + $\sqrt{R_c}/300$	>120 (очень прочные) 120÷50 50÷15 15÷5 5÷3 3÷1 <1 (очень непрочные)	до 500	3,2 2,62±2,65 и 2,29 (в зоне выверивания)	1÷3 и 10÷20 (при повышенной трещинности)	0,5÷1	0,01<10 (моноклиты) 10÷40 (трещин-е) 100 (сильно трещин-е)
	Эффузивные		<0,8							
Метаморфические		0,76±0,99	1 1÷0,9			кварциты				0,01<10
						180÷350	2,95±3,1	0,5±0,7	0,1±0,35	
						мрамор				
						40÷180	2,7±2,84	0,3±2,0	0,12±0,9	0,01<10

*Неразмягчаемые горные породы ($\geq 0,75$), размягчаемые ($< 0,75$).
**Невыветрелые (моноклитные 1); слабовыветрелые (1÷0,9); выветрелые (0,9±0,8); сильновыветрелые (рухляки < 0,8).
***Есть 10 категорий крепости, 5 из них относятся к магматическим горным породам (по М.М. Протодыяконову). Также выделяют показатели крепости и деформируемости в зависимости от степени выветрелости, их 4 (по А.Г. Горянскому), где $K_{кр}$ равен: 15, 10, 6 и 2, соответственно степени выветрелости.
****Породы невлагоемкие, водопроницаемы только по трещинам, также K_f зависит от степени выветрелости пород.

196

Таблица Б.12 – Свойства основных осадочных горных пород

Кoeffициент округлости, $P = r/R^*$	Угол внутреннего трения φ, градусы	Кoeffициент бокового распора (коэффициент Пуассона) μ	Временное сопротивление одноосному сжатию R _c , МПа	Плотность ρ, г/см ³	Пористость п, %	Влажность W, %	Водопоглощение W _п , %	Водопроницаемость K _ф м/сут	Наименование породы
Обломочные осадочные рыхлые породы									
0,7÷15*	7÷19 ° до 27÷43 °	0,25÷0,37	0,5÷10 15÷50	2,2÷2,6	24÷28 37÷47	0,5÷8	1,6÷10,2	30÷100 до 1000	Пески разные
Обломочные осадочные сцементированные породы									
	-	0,2÷0,29	80 5÷200	1,6÷3,0 1,8÷2,6	1,4 2÷30	0,2÷10	0,2÷0,4 0,8÷12	2÷100	Конгломераты Песчаники
Глинистые породы**									
Глины разные, число пластичности более 17 %	14÷25 °	0,42	0,5÷10 до 50	2,75÷2,79	1÷6	2÷10 до 22÷44	25 до 71	< 0,001	
Химические осадки (хемогенные породы)									
Каменная соль ÷ ангидрит Карбонаты	-	0,28	0,3÷80 от 24÷160	2,09÷2,69 2,78	5,1÷4,9 0,8÷35,0	0,28÷0,43 0,2÷10	2,7÷4,2 от 0,45	-	
Органические образования (органогенные и органогенно-обломочные породы)									
Диатомит Мел	-	0,28	4÷5 15	0,4÷0,85 1,2÷2,4	60÷70 30÷54	0,4 1÷30	большое	-	
Породы смешанного происхождения**									
Суглинки ÷ супеси Опока	16÷27 ° -	0,3÷0,35	6÷7 до 30 2,5÷3,5 до 0,6	2,72÷2,65 1,1÷1,8	12÷20 20 до 65	1÷16	2÷20 большое	0,05÷0,5 5	

*Кoeffициент округлости несвязных пород, где r - радиус кривизны проекции зерна, R - радиус максимальный.

**Глинистые грунты (глины, суглинки, супеси и др.) могут находиться в твердом, пластичном или текучем состояниях, которое оценивается числом пластичности (I_p); I_p - это разница между границей текучести (W_L) и границей раскатывания (W_p), диапазон: 1÷17 %.

197

Таблица Б.13 – Виды воды в горных породах (по В.Д. Ломтадзе)

Виды воды		Состояние породы по степени влажности (заполнение пор водой)	Распространение видов воды	Подвижность воды	Силы, определяющие подвижность воды
Свободная	Гравитационная	Сильновлажная или влажная (полное или частичное, значительное)	Водоносные горизонты, зоны, комплексы	Легко-подвижная	Гравитационные
	Капиллярная		Зона капиллярного насыщения и увлажнения	Подвижная	Гравитационные и капиллярные
	Иммобилизованная		В породах слабопроницаемых, и водонепроницаемых	Слабо-подвижная	Гравитационные
Физически связанная	Поверхностных слоев	Слабовлажная (частичное или полное)	Зона аэрации. В других зонах в тонкодисперсных породах и микротрещинах любых пород	Мало-подвижная	Сорбционные – поверхностные на границе раздела твердой и жидкой фаз
	Адсорбированная			Трудно-подвижная	
Парообразная	Свободно сообщающаяся с наземной атмосферой	Воздушно-сухая (отсутствует)	Зона аэрации	Подвижная	Разность упругости пара
	Защемленная в порах	Сильновлажная (значительная)	В защемленном виде в любых горных породах	Неподвижная	-
В твердом состоянии	В дисперсном состоянии	Мерзлая (частичное или полное)	В зоне деятельного слоя и многолетнемерзлых пород	Практически неподвижная	-
	В виде линз, крупных кристаллов, скоплений, прослоев, жил				

Примечание – Горные породы содержат также химически связанную (кристаллизационную, конституционную, цеолитную) и биологически связанную воду (в микроорганизмах, растениях, животных). Эти воды изучают минералогия, биология, биохимия и другие науки.

198

Таблица Б.14 – Шкала геологического времени земной коры

Эон (эонотема)	Эра* (эратема, группа), индекс	Периоды** (система)	Условные обозначения, индекс
1	2	3	4
Фанерозой	Кайнозойская KZ	Четвертичный (антропоген)	Q
		Неоген	N
		Палеоген	P (Pg)
	Мезозойская MZ	Мел	K (Cg)
		Юра	J
		Триас	T
	Палеозойская PZ	Пермь	P
		Карбон	C
		Девон	D
		Силур	S
		Ордовик	O
	Кембрий	€ (Cm)	
Криптозой	Протерозойская PR	Поздний протерозой	(докембрийская) PR (Pt)
		Средний протерозой	
		Ранний протерозой	
	Архейская A	Архей	AR (A)
*Названия эр отвечают главнейшим этапам развития животного и растительного мира. Архейская эра обозначает начало жизни; протерозойская – эра первичной жизни; палеозойская – эра древней жизни; мезозойская – эра средней жизни, кайнозойская – эра новой жизни.			
**Названия геологических периодов были введены в науку учеными различных стран и в разное время; они даны преимущественно по тем местам материков, где впервые были изучены отложения данной системы, или по наиболее характерным породам. Кембрийская система была установлена в Англии в 1836 году, название происходит от древнего названия провинции Уэльс, где эти отложения впервые были изучены. Пермская – от названия бывшей губернии в России (ныне Пермская область) и т. д. Каменноугольная (или карбон) система получила название по отложениям каменного угля, а меловая – по отложениям белого пясчого мела. Поздние по времени периоды – третичный и четвертичный – сохранили свои названия от старого деления всей истории Земли на четыре эры: первичную (палеозой), вторичную (мезозой), затем третичную (палеогеновый и неогеновый) и четвертичную.			

Таблица Б.15 – Основные генетические типы четвертичных отложений

Наименование отложений	Индекс	Фациальная характеристика отложений
Ледниковые (моренные)	gQ; gl	Фации донных, краевых и поверхностных морен
Флювиогляциальные (водно-ледниковые)	fgQ; fgl	Фации задровые, озовые, флювиогляциальных дельт
Морские	mQ; m	Фации прибрежные, лагунные, мелководные и глубоководные
Озерные (лимнические)	lQ; l	Фации прибрежные (мелководье), донные (глубоководье) и пляжные
Элювиальные	eQ; el	Фации выветривания и почвообразования
Аллювиальные (речные)	aQ; al	Фации: русловая, пойменная, старичная, дельтовая и отмелей (кос)
Делювиальные	dQ; dl	Фации склонов и подножий (делювиальных шлейфов)
Проллювиальные (временные потоки)	pQ; p	Фация конусов выноса и селевые
Лёссовые	LQ; l	Фации покровно-лессовые, покровно-лессовые (навесания)
Эоловые (песчаные)	vQ; vol	Фации покровные, пустынные (барханные), береговые (дюнные)
Вулканические образования	β Q; β	Фации оседания вулканического пепла
Хемогенные и болотные (биогенные)	hQ; h	Фации солончаков, карстовых полостей, минеральных источников, торфяников
Коллювиальные (гравитационные ряды)	cQ; c	Фации оползневые, осыпные и обвалов
Оползневые (гравитационные ряды)	dpQ; dp	Фации оползневые, осыпные и обвалов
Солифлюкционные	sQ; s	Фации оплывин, натечных и нагорных террас
Техногенные (антропогенные)	tQ; tg	Фации отвалов, насыпей, наносов и «культурный слой»
Эолово-делювиальные	vdQ; vl-dl	Фации водоразделов, склонов, Поверхностей надпойменных террас
Элювиально-делювиальные	edQ; el-dl	Фации пологих склонов
Делювиально-аллювиальные	daQ; dl-al	Фации присклоновых частей, пойм, террасоувалов
Озерно-ледниковые	lgQ; l-gl	Фации приледниковых озер (ленточные) и надледниковых озер (комовые отложения)
Озерно-аллювиальные	laQ; l-al	Фации озерно-речных равнин, озерных дельт

Таблица Б.16 – Некоторые характеристики грунтов по ГОСТ 25100

	Предел прочности на одноосное сжатие, R_c , МПа		Коэффициент пористости песков средней крупности, e , доли ед.	Плотность скелета, ρ_d , г/см ³		Коэффициент фильтрации, K_f , м/сут		**Размер зерен, частиц, d , мм	Содержание зерен, частиц, % по массе
Очень прочный	>120	Очень плотный	-	>2,50	Неводопроницаемый	<0,005	Пески гравелистые	>2	>25
Прочный	120+50	Плотный	<0,55	2,50+2,10	Слабоводопроницаемый	0,005+0,30	Пески крупные	>0,50	>50
Средней прочности	50+15	Средней плотности	0,55+0,70	-	Водопроницаемый	0,30+3	Пески средней крупности	>0,25	>50
Малопрочный	15+5	Рыхлый	>0,70	2,10+1,20	Сильноводопроницаемый	3+30	Пески мелкие	>0,10	≥75
Пониженной прочности	5+3	Очень рыхлый	-	<1,20	Очень сильноводопроницаемый	>30	Пески пылеватые	>0,10	<75
Низкой прочности	3+1	-	-	-	-	-	-	-	-
Очень низкой прочности	<1	-	-	-	-	-	-	-	-

*Практически непучинистый грунт: Глинистые при $I_L \leq 0$ (где I_L или $B(I_p)$ – консистенция). Пески гравелистые, крупные и средней крупности, пески мелкие и пылеватые при $S_r \leq 0,6$ ($S_r = W_n / W_{max}$; где S_r – коэффициент водонасыщения), а также пески, содержащие менее 15 % по массе частиц мельче 0,05 мм. Крупнообломочные грунты с заполнителем до 10 %.

**По степени неоднородности гранулометрического состава C_u , крупнообломочные грунты и пески подразделяют на:
 — однородный грунт $C_u \leq 3$; — неоднородный грунт $C_u > 3$.