

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

*по дисциплине*

### **Б1.О.05 ДУХОВНО-НРАВСТВЕННАЯ КУЛЬТУРА И ПАТРИОТИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ**

Направление подготовки  
**05.04.01 Геология**

Профиль  
**Гидрогеология**

Авторы: Бачинин И.В. к.п.н, доцент, Старостин А.Н., к. ист. н.,  
Суслонов П.Е., к. филос. н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

|        |                                                                                     |                                              |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Зав. к |  | Геологии                                     |
|        |                                                                                     | (название кафедры)                           |
|        |                                                                                     | ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН                            |
|        |                                                                                     | ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ                         |
|        |                                                                                     | (подпись)                                    |
|        |                                                                                     | к.п.н, доц. Бачинин И.В.                     |
|        |                                                                                     | Сертификат: 43D059E81F59110FB2CEBF5795FF2768 |
|        |                                                                                     | Владелец: Зубов Владимир Владимирович        |
|        |                                                                                     | Действ. до 09.09.2025                        |
|        |                                                                                     | Протокол № 3 от 13.11.2025                   |
|        |                                                                                     | (Дата)                                       |

Рассмотрена методической комиссией

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
|  | Факультета геологии и геофизики |
|  | (название факультета)           |
|  | Председатель                    |
|  | (подпись)                       |
|  | к.г.-м.н., доц. Вандышева К.В.  |
|  | (Фамилия И.О.)                  |
|  | Протокол № 3 от 13.11.2025      |
|  | (Дата)                          |

Екатеринбург

## Оглавление

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Методические указания по освоению дисциплины .....                  | 3  |
| Освоение лекционного курса .....                                    | 3  |
| Самостоятельное изучение тем курса.....                             | 3  |
| Подготовка к тестированию .....                                     | 6  |
| Подготовка к групповой дискуссии.....                               | 8  |
| Методические указания по подготовке к промежуточной аттестации..... | 10 |

# **Методические указания по освоению дисциплины**

## **Освоение лекционного курса**

Лекции по дисциплине дают основной теоретический материал, являющийся базой для восприятия практического материала. После прослушивания лекции необходимо обратиться к рекомендуемой литературе, прочитать соответствующие темы, уяснить основные термины, проблемные вопросы и подходы к их решению, а также рассмотреть дополнительный материал по теме.

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Одним из важных элементов освоения лекционного курса является самостоятельная работа на лекции. Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях. Конспект лекции лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

## **Самостоятельное изучение тем курса**

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебниками и книгами (а также самостоятельное теоретическое исследование проблем, обозначенных

преподавателем на лекциях) – это важнейшее условие формирования научного способа познания. Основные приемы можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;
- перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ, а что выходит за рамки официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и дипломных работ это позволит экономить время);
- определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;
- при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и научными руководителями, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;
- все прочитанные книги, учебники и статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);
- если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;
- следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать); Таким образом, чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьезный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студенты с этой целью заводят специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении научного текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);



- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);

- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);

- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к научному тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с научным текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

- Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

- Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

- Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

- Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

- Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять

план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны 15 распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

## **Подготовка к тестированию**

Тестирование - система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Тестовая система предусматривает вопросы / задания, на которые слушатель должен дать один или несколько вариантов правильного ответа из предложенного списка ответов. При поиске ответа необходимо проявлять внимательность. Прежде всего, следует иметь в виду, что в предлагаемом задании всегда будет один правильный и один

неправильный ответ. Это оговаривается перед каждым тестовым вопросом. Всех правильных или всех неправильных ответов (если это специально не оговорено в формулировке вопроса) быть не может. Нередко в вопросе уже содержится смысловая подсказка, что правильным является только один ответ, поэтому при его нахождении продолжать дальнейшие поиски уже не требуется.

На отдельные тестовые задания не существует однозначных ответов, поскольку хорошее знание и понимание содержащегося в них материала позволяет найти такие ответы самостоятельно. Именно на это слушателям и следует ориентироваться, поскольку полностью запомнить всю получаемую информацию и в точности ее воспроизвести при ответе невозможно. Кроме того, вопросы в тестах могут быть обобщенными, не затрагивать каких-то деталей.

Тестовые задания сгруппированы по темам учебной дисциплины. Количество тестовых вопросов/заданий по каждой теме дисциплины определено так, чтобы быть достаточным для оценки знаний обучающегося по всему пройденному материалу.

При подготовке к тестированию студенту следует внимательно перечитать конспект лекций, основную и дополнительную литературу по той теме (разделу), по которому предстоит писать тест.

Для текущей аттестации по дисциплине «Духовно-нравственная культура и патриотическое воспитание» применяются тесты, которые выполняются по разделам № 1-4.

Предлагаются задания по изученным темам в виде открытых и закрытых вопросов (35 вопросов в каждом варианте).

### *Образец тестового задания*

#### **Задание 1**

Согласно Православному вероучению, Таинства - это видимые действия, посредством которых невидимо нисходит на человека спасающая сила Божия. Сколько всего существует Таинств?

- 10
- 4
- 7

#### **Задание 2**

Что является одной из базовых российских ценностей?

- Государственная служба
- Политические партии
- Традиционные российские религии

#### **Задание 3**

Установите соответствие терминов и определений

|                                                                                                                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| А. Форма ксенофобии, подразумевающая дискриминацию людей по этническому и национальному признаку, проповедь национального превосходства с целью обоснования права на дискриминацию и угнетение других народов | 1. Расизм |
| Б. Антинаучная теория о врождённом превосходстве «полноценных» рас над «неполноценными» и исторической                                                                                                        | 2. Нацизм |

|                                                                                                                                                                                                               |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| необходимости господства «высших» рас над «низшими».                                                                                                                                                          |             |
| В. Тоталитарная идеология, предполагающая тоталитарные методы власти, официальную градацию всех наций по степени их «полноценности», а в качестве средства реализации своих идей – геноцид и военную агрессию | 3. Шовинизм |

#### **Задание 4**

Первое золото на Урале нашли на территории какого современного города Свердловской области?

#### **Задание 5**

Какой правитель поспособствовал рождению геологической службы в нашей стране посредством отправки правительственной геолого-разведывательной партии:

Тест выполняется на отдельном листе с напечатанными тестовыми заданиями, выдаваемом преподавателем, на котором нужно обвести правильный вариант ответа. Тест подписывается сверху следующим образом: фамилия, инициалы, № группы, дата.

Оценка за тестирование определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы.

В зависимости от типа вопроса ответ считается правильным, если:

- в тестовом задании закрытой формы с выбором ответа выбран правильный ответ;
- в тестовом задании открытой формы дан правильный ответ;
- в тестовом задании на установление правильной последовательности установлена правильная последовательность;
- в тестовом задании на установление соответствия, если сопоставление произведено верно для всех пар.

## **Подготовка к групповой дискуссии**

Групповая дискуссия — это одна из организационных форм познавательной деятельности обучающихся, позволяющая закрепить полученные ранее знания, восполнить недостающую информацию, сформировать умения решать проблемы, укрепить позиции, научить культуре ведения дискуссии. Тематика обсуждения выдается на первых занятиях. Подготовка осуществляется во внеаудиторное время. Регламент – 3-5 мин. на выступление. В оценивании результатов наравне с преподавателем принимают участие студенты группы.

Обсуждение проблемы (нравственной, политической, научной, профессиональной и др.) происходит коллективно, допускается корректная критика высказываний (мнений) своих сокурсников с обязательным приведением аргументов критики.

Участие каждого обучающегося в диалоге, обсуждении должно быть неформальным, но предметным.

Темы для групповых дискуссий по разделам

*Тема для групповой дискуссии по разделу 1. История инженерного дела в России. Создание и развитие Уральского государственного горного университета.*

Студентам заранее дается перечень великих уральцев XVIII – начала XX вв. (Демидовы, И.С. Мясников и Твердышевы, Г.В. де Генин, В.А. Глинка, М.Е. Грым-

Гржимайло и др.), внесших существенный вклад в развитие металлургической и горной промышленности. Студенты разбиваются на несколько групп, каждой из которых дается один исторический персонаж. Задача студентов по литературным и интернет-источникам подробно познакомиться с биографией и трудами своего героя. В назначенный для дискуссии день они должны не только рассказать о нем и его трудах, но и, главным образом, указать на то, каким образом их жизнь и деятельность повлияла на культуру и жизненный уклад их современников, простых уральцев.

*Тема для групповой дискуссии по разделу 2. «Основы российского патриотического самосознания»*

Студенты должны заранее освежить в памяти произведения школьной программы: К.М. Симонова «Жди меня», М.Ю. Лермонтова «Бородино», Л.Н. Толстого «Война и мир», А.А. Фадеева «Молодая гвардия».

Вопросы, выносимые на обсуждение:

Какие специфические грани образа патриота представлены в произведениях К.М. Симонова «Жди меня», М.Ю. Лермонтова «Бородино», Л.Н. Толстого «Война и мир», А.А. Фадеева «Молодая гвардия», выделите общее и особенное.

Какие еще произведения, в которых главные герои проявляют патриотические качества, вы можете назвать. Соотнесите их с героями вышеупомянутых писателей.

*Тема для групповой дискуссии по разделу 3. Религиозная культура в жизни человека и общества.*

Описание изначальной установки:

Группа делится на 2 части: «верующие» и «светские». Каждая группа должна высказать аргументированные суждения по следующей теме:

*«Может ли верующий человек прожить без храма/мечети/синагоги и другие культовые сооружения?»*

Вопросы для обсуждения:

1. Зачем человеку нужен храм/мечеть/синагога и др. культовые сооружения?
2. Почему совесть называют голосом Божиим в человеке?
3. Что означает выражение «вечные ценности»?
4. Что мешает человеку прийти в храм/мечеть/синагогу и др. культовое сооружение?

Каждый из групп должен представить развернутые ответы на поставленные вопросы со ссылкой на религиозные источники и нормативно-правовые акты, аргументированно изложить свою позицию.

*Тема для групповой дискуссии по разделу 4. «Основы духовной и социально-психологической безопасности»*

**Тема дискуссии: «Воспитание трезвых убеждений»**

Основой дискуссии как метода активного обучения и контроля полученных знаний является равноценное владение материалом дискуссии всеми студентами. Для этого при предварительной подготовке рекомендуется наиболее тщательно повторить темы раздела, касающиеся формирования системы ценностей, манипуляций сознанием, методов ведения конспиративной войны, методике утверждения трезвости как базовой национальной ценности.

В начале дискуссии демонстрируется фильм Н. Михалкова «Окна Овертона» из серии Бесогон ТВ.

Затем перед студентами ставится проблемная задача: сформулировать ответ на вопрос «Возможно ли применение данной технологии формирования мировоззрения в благих целях — для воспитания трезвенных убеждений?»

### ***Возможные варианты точек зрения:***

1. Это манипулятивная технология, применение ее для воспитания трезвенных убеждений неэтично.
2. Это универсальная социально-педагогическая технология, применение ее во зло или во благо зависит от намерений автора. Использование ее в целях формирования трезвенных убеждений обосновано и может реализоваться в практической деятельности тех, кто овладел курсом «Основы утверждения трезвости»

Результатом дискуссии не могут быть однозначные выводы и формулировки. Действие ее всегда пролонгировано, что дает студентам возможность для дальнейшего обдумывания рассмотренных проблемных ситуаций, для поиска дополнительной информации по воспитанию трезвенных убеждений.

Незадолго до проведения групповой дискуссии преподаватель разделяет группу на несколько подгрупп, которая, согласно сценарию, будет представлять определенную точку зрения, информацию. При подготовке к групповой дискуссии студенту необходимо собрать материал по теме с помощью анализа научной литературы и источников.

Используя знание исторического, теологического и правового материала, исходя из изложенных изначальных концепций, каждая группа должна изложить свою точку зрения на обсуждаемый вопрос, подкрепив ее соответствующими аргументами.

Каждый из групп по очереди приводит аргументы в защиту своей позиции. Соответственно другая группа должна попытаться привести контраргументы, свидетельствующие о нецелесообразности, пагубности позиции предыдущей группы и стремится доказать, аргументированно изложить свою позицию.

*Оценивание выступления на групповой дискуссии производится следующим образом:*

| Критерий                                                                                                      | Балл     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Полнота и правильность суждений (точки зрения)                                                                | 1        |
| Высказывает собственное суждение по вопросу, аргументировано отвечает на вопросы оппонентов, формирует выводы | 2        |
| Демонстрирует предварительную информационную готовность к обсуждению                                          | 1        |
| Соблюдает нормы литературной речи, использует профессиональную лексику                                        | 1        |
| <i>Итоговый максимальный балл</i>                                                                             | <i>5</i> |

## **Методические указания по подготовке к промежуточной аттестации**

Каждый учебный семестр заканчивается промежуточной аттестацией в виде зачетно-экзаменационной сессии. Подготовка к зачетно-экзаменационной сессии, сдача зачетов и экзаменов является также самостоятельной работой студента. Основное в подготовке к сессии – повторение всего учебного материала дисциплины, по которому необходимо сдавать зачет или экзамен. Только тот студент успевает, кто хорошо усвоил учебный материал. Если студент плохо работал в семестре, пропускал лекции, слушал их

невнимательно, не конспектировал, не изучал рекомендованную литературу, то в процессе подготовки к сессии ему придется не повторять уже знакомое, а заново в короткий срок изучать весь учебный материал. Все это зачастую невозможно сделать из-за нехватки времени. Для такого студента подготовка к зачету или экзамену будет трудным, а иногда и непосильным делом, а конечный результат – возможное отчисление из учебного заведения.

Ознакомление обучающихся с процедурой и алгоритмом оценивания (в течение первой недели начала изучения дисциплины).

Сообщение результатов оценивания обучающимся.

Оформление необходимой документации.

Зачет - форма контроля промежуточной аттестации, в результате которого обучающийся получает оценку по шкале: «зачтено», «не зачтено».

Зачет проводится по расписанию.

Цель зачета – завершить курс изучения дисциплины, проверить сложившуюся у обучающегося систему знаний, понятий, отметить степень полученных знаний, определить сформированность компетенций.

Зачет подводит итог знаний, умений и навыков обучающихся по дисциплине, всей учебной работы по данному предмету.

К зачету по дисциплине «Духовно-нравственная культура и патриотическое воспитание» необходимо начинать готовиться с первой лекции, так как материал, набираемый памятью постепенно, неоднократно подвергавшийся обсуждению, образует качественные знания, формирует необходимые компетенции.

Зачет по дисциплине «Духовно-нравственная культура и патриотическое воспитание» проводится в письменной форме путем выполнения зачетного тестового задания.

При опоздании к началу зачета обучающийся на зачет не допускается. Использование средств связи, «шпаргалок», подсказок зачете является основанием для удаления обучающегося с зачета, а в зачетной ведомости проставляется оценка «не зачтено».

Для подготовки зачету (составления конспекта ответа) обучающийся должен иметь лист (несколько листов) формата А-4.

Лист (листы) формата А-4, на котором будет выполняться подготовка к ответу зачетного задания, должен быть подписан обучающимся в начале работы в правом верхнем углу. Здесь следует указать:

- Ф. И. О. обучающегося;
- группу, курс
- дату выполнения работы
- название дисциплины «Духовно-нравственная культура и патриотическое воспитание».

Страницы листов с ответами должны быть пронумерованы.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины «Духовно-нравственная культура и патриотическое воспитание» проводится в форме теста.

На зачете преподаватель может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы. Дополнительные вопросы задаются помимо вопросов теста и связаны, как правило, с плохим ответом. Уточняющие вопросы задаются в рамках теста и направлены на уточнение мысли студента.

*Система оценивания по оценочным средствам промежуточного контроля*

| Форма и описание контрольного мероприятия                                                                                        | Балловая стоимость контрольного мероприятия | Критерии начисления баллов |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Тест - система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося | 0-40 баллов<br>(35 заданий)                 | Правильность ответов       |
| Итого                                                                                                                            | 40 баллов                                   |                            |

*Количество баллов за промежуточную аттестацию складывается из суммы баллов за каждое задание, 1 правильный ответ = 1, 143 балла.*

В зависимости от типа вопроса ответ считается правильным, если:

- в тестовом задании закрытой формы с выбором ответа выбран правильный ответ;
- в тестовом задании открытой формы дан правильный ответ;
- в тестовом задании на установление соответствия, если сопоставление произведено верно для всех пар.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ

### Б1.О.07 ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГИДРОГЕОЛОГИИ

Направление подготовки

**05.04.01 Геология**

Направленность (профиль)

**Гидрогеология**

год набора: 2026

Автор: Рыбников П.А., к.г.-м.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

Гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии

(название кафедры)

Зав.кафедрой

(подпись)

Абатурова И.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 46 от 24.09.2025

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией  
факультета

Геологии и геофизики

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Вандыасова К.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол №3 от 13.11.2025

(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                       | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....                       | 6  |
| ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ .....                 | 7  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ .....          | 9  |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ..... | 13 |
| ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ .....                           | 15 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....          | 16 |

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении – это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;

- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных заданий и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Инженерные изыскания для строительства» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче экзамена.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и ис-

следовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине *«Геоинформационные системы в гидрогеологии»* являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим занятиям (в т.ч. вопросы для самопроверки);
- выполнение самостоятельного домашнего задания (практико-ориентированного задания (решение кейс-задач));
- подготовка к опросу;
- подготовка к экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое геоинформатика и какие задачи она решает? Как геоинформатика может быть применена для гидрогеологии?
2. Какие типы геоданных вы знаете? В чем разница между векторными и растровыми данными?
3. Что такое системы координат и проекции? Какие из них наиболее часто используются в России?
4. Какие ГИС-программы вы знаете? В чем заключаются особенности их использования?
5. Что такое атрибутивные и зачем они нужны?
6. Как организовать сбор и подготовку пространственных данных для анализа в ГИС?
7. Какие источники геоданных вы знаете?
8. Как произвести геопривязку растровых данных?
9. Что такое оцифровка растровых данных и какими инструментами она выполняется?
10. Как обработать атрибутивные данные в ГИС?
11. Какие методы пространственного анализа вы знаете (буферный анализ, наложение слоев, интерполяция и т.д.)?
12. Как построить цифровую модель рельефа (ЦМР) и какие параметры рельефа на основе неё рассчитать?
13. Как автоматизированно проанализировать гидрологические данные (например, водосборные бассейны, направление потоков)?
14. Как можно использовать ГИС для анализа подземных вод (например, построение карт гидроизогипс)?
15. Как подготовить макет в ГИС для последующей публикации отчета?

## **ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Введение в геоинформатику**

Базовые вопросы геоинформатики

Геоинформатика как наука и прикладная деятельность

Основные понятия и задачи геоинформатики

Типы геоданных: векторные, растровые, атрибутивные

Системы координат и проекции

### **Тема 2. ГИС-программы и инструменты**

Десктопные и web-ГИС

Обзор популярных ГИС (ArcGIS, QGIS, MapInfo)

Особенности архитектуры ГИС и принципов хранения данных

Основы работы с ГИС: интерфейс, инструменты, слои

### **Тема 3. Работа с геоданными**

Сбор и обработка пространственных данных

Источники геоданных: спутниковые снимки, карты

Геопривязка и оцифровка данных

### **Тема 4. Пространственный анализ**

Буферный анализ, наложение слоев, интерполяция

Растровый анализ: алгебра карт, реклассификация

### **Тема 5. Визуализация данных**

Создание карт: условные обозначения, легенды, масштабирование

Визуализация данных

Оформление отчетов и графических материалов

### **Тема 6. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)**

Подготовка цифровых моделей рельефа

Использование спутниковых снимков для анализа гидрологических, гидрогеологических и геоморфологических процессов

Обработка и интерпретация данных ДЗЗ

### **Тема 7. Обработка ЦМР и геоморфологический анализ территорий**

Работа с рельефом: ЦМР, уклоны, экспозиция склонов

Анализ форм рельефа: долины, холмы, террасы

Построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) на основе ДЗЗ и их анализ

Выделение морфометрических параметров: кривизна, профиль, плановые формы

### **Тема 8. Гидрологические данные в ГИС**

Работа с гидрологическими данными: речные сети, водоемы, осадки  
Анализ водосборных бассейнов и русел рек

### **Тема 9. Анализ гидрологических процессов**

Особенности подготовки цифровых моделей рельефа (ЦМР) для гидрологического анализа

Расчет параметров речного стока, уклона, направления потоков

Определение зон затопления

Прогнозирование рисков наводнений с использованием ГИС

### **Тема 10. Гидрогеологические данные в ГИС**

Работа с данными о подземных водах

Уровни, химический состав, водоносные горизонты

Анализ карт гидроизогипс и гидроизопьез

Интеграция данных гидрологии и гидрогеологии



## САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;
- перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамки официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);
- определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;
- при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;
- все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);
- если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;
- следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьезный,

кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познако-

миться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

- Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

- Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

- Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

- Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

- Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков,

вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис – это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта – основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование – наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

## ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что требует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;
2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;
3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;
- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;
- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;
- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

## ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Подготовка к опросу проводится в ходе самостоятельной работы студентов и включает в себя повторение пройденного материала по вопросам предстоящего опроса. Тема и вопросы к предстоящему опросу, вопросы для самоконтроля доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой. Для подготовки к устному опросу студенту необходимо ознакомиться с материалом, посвященным теме семинара, в учебнике или другой рекомендованной литературе, записях с лекционного занятия, обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины, выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам.

В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 3 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы. Опрос предполагает устный ответ студента на один основной и несколько дополнительных вопросов преподавателя. Ответ студента должен представлять собой развёрнутое, связанное, логически выстроенное сообщение.

При выставлении оценки преподаватель учитывает правильность ответа по содержанию, его последовательность, самостоятельность суждений и выводов, умение связывать теоретические положения с практикой, в том числе и с будущей профессиональной деятельностью.

## ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к экзамену по дисциплине «Геоинформационные системы в гидрогеологии» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины *Геоинформационные системы в гидрогеологии*.

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на экзамене особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на экзамене (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к экзамену на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### Б1.В.03 ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Направление подготовки  
**05.04.01 Геология**

Направленность (профиль)  
**Гидрогеология**

год набора: 2026

Автор: Рыбников П.А., к.г.-м.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

Гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии  
(название кафедры)

Зав.кафедрой

(подпись)

Абатурова И.В.  
(Фамилия И.О.)

Протокол № 46 от 24.09.2025

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией  
факультета

Геологии и геофизики  
(название факультета)

Председатель

(подпись)

Вандышова К.В.  
(Фамилия И.О.)

Протокол №3 от 13.11.2025

(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                |   |
|----------------------------------------------------------------|---|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                 | 3 |
| 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА ..... | 4 |
| 2 ПРИМЕРНЫЙ ПЛАН И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....           | 5 |
| 3 СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....          | 6 |
| 4 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....              | 6 |
| 5 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....                        | 8 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основной целью курсового проектирования является закрепление знаний, полученных студентами при изучении курса «Основы гидрогеологического моделирования». Кроме того, курсовой проект подготавливает студентов к написанию дипломного проекта.

Основные **задачи**, которые ставятся перед студентом:

- 1) овладение приёмами и методами гидрогеологического моделирования;
- 2) овладение методикой выполнения намеченных работ и обработки результатов.

При составлении курсового проекта студент обязан пользоваться новейшими достижениями науки и техники, отраженными как в отечественной, так и зарубежной литературе, а также использовать компьютерные технологии.

## 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Необходимые материалы для курсового проекта и задание по моделированию выдаёт руководитель курсового проекта.

Общие для всех параметры для модели:

1. 3 слоя, размер 5\*5 км, размер блока 25 м, мощность модели 100м
2. Все слои одинаковой мощности
3. В первом слое правая граница модели – первый род, отметка 90 м
4. Коэффициент фильтрации первого слоя 3 м/сут, 2 слоя 0.1 м/сут, 3 слоя 10 м/сут.

Коэффициент фильтрации по вертикали равен коэффициенту фильтрации по горизонтали

5. Пористость первого и второго слоя 0.25, третьего слоя 0.01
6. В третьем слое задаем откачивающую скважину с координатами  $x=2500$ ,  $y=2500$
7. Изменяющиеся параметры – инфильтрационное питание и расход скважины (в файле Параметры\_для\_курсовой). Также выдается файл с индивидуальными параметрами для каждого магистранта.

Рекомендуемый формат наименования темы курсового проекта приведен ниже (жирным шрифтом показаны одинаковые для всех части названия, а подчеркнутым курсивом – уникальные для каждого конкретного студента):

«1. **Численное моделирование геофильтрации методом конечных разностей**  
*защитная стена*».

## 2 ПРИМЕРНЫЙ ПЛАН И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из текстовой и расчетной части.

Текстовая часть курсового проекта должна состоять из:

**-введения;**

**-двух основных глав:** Глава 1 – содержит описание принципа работы РМ; постановку задачи; описание сеточной разбивки, количества слоев, их тип; описание характеристик задачи по времени; описание внешних граничных условий; описание начальных условий; описание фильтрационных и ёмкостных параметров по пластам; описание внутренних граничных условий. Глава 2 – непосредственно результаты и анализ расчетов;

**-заключения.**

Обязательным является представление в текстовой части проекта списка использованной литературы.

Расчетная часть курсового проекта подтверждается проектом выполненном в системе processing modflow (РМ).

Таким образом, содержание текстовой части может быть такого вида (пример):

### **Введение**

#### **Глава 1. Общие сведения**

- 1.1. Принципа работы РМ
- 1.2. Постановка задачи
- 1.3. Сеточная разбивка, количество слоев и их тип
- 1.4. Характеристика задач по времени
- 1.5. Внешние граничные условия
- 1.6. Начальные условия
- 1.7. Фильтрационные и емкостные параметры по пластам
- 1.8. Внутренние граничные условия
- 1.9.

#### **Глава 2. Результаты моделирования и анализ**

#### **Заключение**

#### **Список использованных источников**

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

**Введение.** Во введении следует своими словами описать актуальность, цель и методы решения задач в системе processing modflow (PM)

#### Глава 1. Общие сведения

1.1 **Раздел «Принцип работы PM»** содержит описание численного моделирования геофильтрации методом конечных разностей.

1.2 **Раздел «Постановка задачи»** содержит перечень исходных материалов и данных, описание задачи.

1.3 **Раздел «Сеточная разбивка, количество слоев и их тип»** содержит описание напорного, безнапорного, напорно-безнапорного с постоянной проводимостью, напорно-безнапорного с переменной проводимостью. Как определяются проводимость и перетеканием.

1.4 **Раздел «Характеристика задач по времени»** содержит описание (стационарная, нестационарная), на сколько этапов и временных шагов разбита, почему (т.е. как это связано с постановкой задачи).

1.5 **Раздел «Внешние граничные условия»** содержит описание внешних граничных условий (постоянный напор, непроницаемые границы и т.д.), почему заданы такие границы (т.е. как это связано с постановкой задачи).

1.6 **Раздел «Начальные условия»** содержит описание начальных условий - в вашем случае: принцип задания начальных напоров или уровней подземных вод.

1.7 **Раздел «Фильтрационные и емкостные параметры по пластам»** содержит описание фильтрационных и ёмкостных параметров по пластам (коэффициенты фильтрации по горизонтали и вертикали, пористость, гравитационная и упругая ёмкости).

1.8 **Раздел «Внутренние граничные условия»** содержит описание внутренних граничных условий: реки и способы их задания, инфильтрация, дрена, резервуары, и т.д. Т.е. все из вкладки Models\Flow Packages

**Глава 2 «Результаты моделирования и анализ»,** содержит результаты расчета: графики (если задача нестационарная), карта гидроизогипс, градиентная карта с уровнями и т.д.; отстроить области захвата и модельные разрезы в rmpath, балансы (на разные временные шаги если задачи нестационарные) и анализ результатов: баланса по составляющим, их изменения во времени (для нестационарных задач), графиков изменения уровня, причин таких изменений, карт гидроизогипс, описание депрессионной воронки, где и почему она сформировалась (если задача с понижением уровня подземных вод).

В завершающем разделе проекта **«Заключение»** следует своими словами описать основные результаты, повторить какие методы использовались, что нового узнали, как это может быть использовано для решения гидрогеологических проблем.

### 4 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект следует оформить с помощью компьютера и представить в печатном и электронном вариантах. Содержание и объём работы не должны превышать 30 страниц.

Структура курсового проекта включает: титульный лист; оглавление; введение; основную часть; заключение; библиографический список; приложения.

**Титульный лист** пояснительной записки является первым листом курсового проекта. Образец титульного листа курсового проекта приведен в Приложении А.

Раздел **Содержание** выполняется посредством редактора в виде автособираемого оглавления. Требования к размеру и типу шрифта такие же, как и к основному тексту курсового проекта.

**Основная часть** должна быть оформлена средствами цифрового текстового редактора.

Для правильного оформления текста пояснительной записки следует соблюдать перечисленные ниже условия:

Размер шрифта – 12, шрифт Time New Roman, межстрочный интервал 1,0. Поля: верхнее и нижнее – 2,0 см, левое – 3,0 см, правое 1,5 см.

Текст курсовой работы делят на разделы и подразделы. Заголовки разделов выделяют жирным шрифтом. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей работы и обозначаться арабскими цифрами, точки после номера глав не ставятся. Введение и заключение не нумеруются. Подразделы нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела, например: 2.3 (третий подраздел второго раздела); более дробными подразделениями нумеруются пункты в пределах разделов и подразделов, например: пункт 1 в указанном подразделе должен иметь номер 2.3.1 и т. д. Страницы текста нумеруются арабскими цифрами, проставляемыми в верхнем правом углу. Титульный лист входит в общую нумерацию, номер страницы на нем не ставится. Иллюстрации (таблицы, графики, рисунки, фото), которые расположены на отдельных страницах работы, включаются в общую нумерацию.

**Оформление таблиц.** Таблицы нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. В правом верхнем углу, над соответствующим заголовком таблицы помещается надпись «Таблица 2.1» (первая таблица второго раздела). При переносе части таблицы на другую страницу слово «Таблица» и ее номер указываются один раз, над другими частями пишут слово «Продолжение табл. 2.1». Таблицу помещают в тексте сразу за первым упоминанием о ней. Большие таблицы помещаются на отдельных листах. Если в одной и той же графе таблицы приводятся целые числа и числа с десятичными знаками, следует соответственно в целых числах дополнительно после запятой проставлять нули.

Одинаковые числа заменять кавычками не допускается. Отсутствие данных отмечается прочерком в соответствующей графе.

**Оформление рисунков.** Все иллюстрации в тексте именуются рисунками и нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. Например: Рис. 2.1 (первый рисунок второго раздела). Иллюстрации должны быть расположены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота текста или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации располагают после первой ссылки на них. Наименование иллюстрации помещают под ней, после номера иллюстрации.

**Написание формул.** Формулы следует выделять из текста свободными строками. Если уравнение не вмещается в одной строке, оно может быть перенесено после знаков равенства, плюса, минуса, умножения, деления. Пояснения значений символов в формулах следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле.

Значение каждого символа и числового коэффициента дается с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия.

Формулы нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе. Номер указывается с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например: (3.1) – первая формула третьего раздела.

**Ссылки.** Ссылки в тексте на источники следует указывать в виде номера, счет ссылок ведется в порядке их упоминания.

Список использованных источников оформляется с помощью стандартных средств редактора текста используя инструментарий работы со ссылками и источниками литературы, номера ссылок и список литературы формируется автоматически.

**Приложения.** Все приложенные к проекту чертежи на отдельных листах (если автор считает их нужными), по своим форматам, условным обозначениям, раскраске, шрифтам и масштабам должны соответствовать существующим стандартам. Список приложений является частью «Содержания».

## 5 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Охрана подземных вод от загрязнения: учеб. пособие / Бешенцев В. А., Трофимова Н. С. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 48 с.*
- Геоинформационные системы и математическое моделирование: учеб. пособие Букаты М.Б. – Томск: Изд. ТПУ, 2009 – 75 с.*
- Groundwater Hydrology, Prof. CharlesHarvey, LecturePacket №1: CourseIntroduction, WaterBalanceEquation. Электронный ресурс. URL: [https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-72-groundwater-hydrology-fall-2005/lecture-notes/1\\_72\\_lecture\\_1.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-72-groundwater-hydrology-fall-2005/lecture-notes/1_72_lecture_1.pdf). Дата обращения: 03.01.2022 г.*
- Simcore Software. Processing Modflow. An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and Reactive Processes, 2012.*





**МИНОБРНАУКИ РФ**  
**ФГБОУ ВО «Уральский Государственный Горный Университет»**  
Факультет геологии и геофизики  
Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

# **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**Тема проекта:** «Численное моделирование геофильтрации методом конечных разностей (вариант защитная стена)»

**Руководитель:** П. А. Рыбников

**Студент:** И. И. Иванов

**Группа:** ГИГЗ-17

Екатеринбург  
2025 г

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ

### Б1.В.03 ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Направление подготовки

**05.04.01 Геология**

Направленность (профиль)

**Гидрогеология**

год набора: 2026

Авторы: Рыбников П.А., к.г.-м.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

Гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии

(название кафедры)

Зав.кафедрой

(подпись)

Абатурова И.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 46 от 24.09.2025

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией  
факультета

Геологии и геофизики

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Вандышова К.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол №3 от 13.11.2025

(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                       | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....                       | 6  |
| ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ .....                 | 8  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ .....          | 10 |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ..... | 14 |
| ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ .....                           | 16 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....          | 17 |

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении – это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;

- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных заданий и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Инженерные изыскания для строительства» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче экзамена.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и ис-

следовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «*Основы гидрогеологического моделирования*» являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим занятиям (в т.ч. вопросы для самопроверки);
- выполнение самостоятельного домашнего задания (практико-ориентированного задания (решение кейс-задач));
- подготовка к опросу;
- подготовка к экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

### **Тема 1. Основы геофильтрационных расчетов**

1. Методы геофильтрационных расчетов
2. Математические основы теории движения подземных вод.
3. Закон Дарси.

### **Тема 2. Общая методика проведения моделирования**

1. Порядок выполнения моделирования: схематизация; создание модели; решение эпигнозных задач.
2. Принципы выделения стационарных и нестационарных периодов при решении обратных задач.
3. Калибрация модели по расходу и напору (уровням подземных вод).

### **Тема 3. Метод конечных разностей, сеточная дискретизация. История разработки и особенности программ использующих метод конечных разностей**

1. Основы метода конечных разностей.
2. История разработки и особенности программ использующих метод конечных разностей.
3. Геометризация и сеточная разбивка модели.
4. Послойная организация модели.

### **Тема 4. Схематизация природных условий**

1. Типы граничных условий потока подземных вод. I, II и III род
2. Какие реальные условия могут соответствовать ГУ I рода
3. Какие реальные условия могут соответствовать ГУ II рода
4. Какие реальные условия могут соответствовать ГУ III рода
5. Методы определения фильтрационных параметров и их точность

### **Тема 5. Способы решения обратных задач**

1. Основные способы решения обратных задач в моделировании – калибрация параметров модели.
2. Ручная калибрация.
3. Автоматическая калибрация.

### **Тема 6. Основы геомиграционного моделирования.**

1. Понятие геомиграции.
2. Скорость фильтрации и действительная скорость движения воды.
3. Основные процессы, влияющие на миграцию вещества в потоке подземных вод: диффузия; гидродисперсия; сорбция; радиоактивный распад.
4. Методы изучения миграционных процессов.

## **Тема 7. Отчет о гидрогеологическом моделировании.**

1. Состав отчета о гидрогеологическом моделировании
2. ГОСТ Р 53579-2009 «Система стандартов в области геологического изучения недр (СО-ГИН).



## **ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Основы геофильтрационных расчетов**

- методы геофильтрационных расчетов;
- аналитические уравнения;
- фильтрация подземных вод;
- математические основы теории движения подземных вод;
- закон Дарси.

### **Тема 2. Общая методика проведения моделирования**

- порядок выполнения моделирования;
- создание модели;
- калибровка модели;
- прогнозные задачи.

### **Тема 3. Метод конечных разностей, сеточная дискретизация. История разработки и особенности программ использующих метод конечных разностей (МКР).**

- основы метода конечных разностей;
- граничные условия
- инфильтрационное питание.

### **Тема 4. Схематизация природных условий.**

- типы граничных условий потока подземных вод I рода;
- типы граничных условий потока подземных вод II рода;
- типы граничных условий потока подземных вод III рода;
- методы определения фильтрационных параметров.

### **Тема 5. Способы решения обратных задач.**

- способы решения обратных задач в моделировании;
- принципы калибровки;
- геофильтрационные параметры;
- калибровка модели.

### **Тема 6. Основы геомиграционного моделирования.**

- геомиграция;
- миграционные процессы;
- схема поршневого вытеснения;
- геомиграционное моделирование.

### **Тема 7. Отчет о гидрогеологическом моделировании.**

- Состав отчета о гидрогеологическом моделировании;

- ГОСТ Р 53579-2009 «Система стандартов в области геологического изучения недр (СО-ГИН). Отчет о геологическом изучении недр. Общие требования к содержанию и оформлению.

## САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;
- перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамки официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);
- определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочесть более внимательно, а какие – просто просмотреть;
- при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;
- все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);
- если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;
- следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьезный,

кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познако-

миться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

- Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

- Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

- Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

- Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

- Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков,

вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис – это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта – основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование – наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

## ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что требует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;
2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;
3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;
- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;
- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;
- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.



## ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Подготовка к опросу проводится в ходе самостоятельной работы студентов и включает в себя повторение пройденного материала по вопросам предстоящего опроса. Тема и вопросы к предстоящему опросу, вопросы для самоконтроля доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой. Для подготовки к устному опросу студенту необходимо ознакомиться с материалом, посвященным теме семинара, в учебнике или другой рекомендованной литературе, записях с лекционного занятия, обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины, выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам.

В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 3 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы. Опрос предполагает устный ответ студента на один основной и несколько дополнительных вопросов преподавателя. Ответ студента должен представлять собой развёрнутое, связанное, логически выстроенное сообщение.

При выставлении оценки преподаватель учитывает правильность ответа по содержанию, его последовательность, самостоятельность суждений и выводов, умение связывать теоретические положения с практикой, в том числе и с будущей профессиональной деятельностью.

## ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к экзамену по дисциплине «Основы гидрогеологического моделирования» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Инженерные изыскания для строительства».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *экзамену* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.



МИНОБНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»  
(ФГБОУ ВО УГГУ)

**С.Н. Тагильцев**

## **Гидрогеомеханика**

**Методические указания  
по организации самостоятельной работы для обучающихся направления  
подготовки  
21.05.02 – Прикладная геология**

Специализация № 2 «Поиски и разведка подземных вод и  
инженерно-геологические изыскания»

Квалификация подготовки – горный инженер-геолог

Форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург  
2019

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Уральский государственный горный университет»  
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

**ОДОБРЕНО:**

Зав. кафедрой ГИГТ

Иван **С. Н. Тагильцев**

« 13 » апреля 2019 г.



**С.Н. Тагильцев**

# Гидрогеомеханика

**Методические указания  
по организации самостоятельной работы для обучающихся направления  
подготовки  
21.05.02 – Прикладная геология**

Специализация № 2 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания»

Квалификация подготовки – горный инженер-геолог

Форма обучения: очная, заочная

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|    |                                                                                   |   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|---|
|    | Введение                                                                          | 3 |
| 1. | Общие положения                                                                   | 4 |
| 2. | Самостоятельная работа студентов, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям | 7 |
|    | 2.1. Повторение материала лекций                                                  | 7 |
|    | 2.2. Самостоятельное изучение тем курса                                           | 8 |
|    | 2.3. Подготовка к практическим и лабораторным работам                             | 8 |
| 3. | Другие виды самостоятельной работы                                                | 8 |
|    | 3.1. Подготовка и написание контрольной работы                                    | 8 |
|    | 3.2. Подготовка к экзамену                                                        | 9 |

## **Введение**

Самостоятельная работа в современном образовательном процессе рассматривается как форма организации обучения, которая способна обеспечивать самостоятельный поиск необходимой информации, творческое восприятие и осмысление учебного материала в ходе аудиторных занятий, разнообразные формы познавательной деятельности студентов на занятиях и во внеаудиторное время, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, выработку умений и навыков рациональной организации учебного труда.

Таким образом, самостоятельная работа – форма организации образовательного процесса, стимулирующая активность, самостоятельность, познавательный интерес студентов.

В методических указаниях рассматриваются вопросы организации самостоятельной работы для студентов Уральского государственного горного университета.

Методическое указание включает три главы, которые логически связаны друг с другом. Первая глава знакомит читателя с теоретическими основами самостоятельной работы студентов и особенностями подготовки к ней в вузе. Во второй и третьей главах представлен материал, который содержит информацию о видах самостоятельной работы по данной дисциплине, а также об источниках информации для осуществления самостоятельной работы. Эмпирической основой разработки системы критериев и показателей оценки форм самостоятельной работы стал практический опыт работы преподавателей кафедры геодезии и кадастров.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов всех форм и видов обучения является одним из обязательных видов образовательной деятельности, обеспечивающей реализацию требований Федеральных государственных стандартов высшего образования (ФГОС), созданных на основе Федерального закона от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

Конкретные требования к самостоятельной работе студентов определяются в Федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования по направлению.

Нормативные требования к самостоятельной работе студентов дополняются документами локального характера: Уставом Уральского государственного горного университета, рабочей программой дисциплины.

Согласно требованиям нормативных документов, самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом образовательного процесса, так как она обеспечивает закрепление получаемых на лекционных занятиях знаний путем приобретения навыков осмысления и расширения их содержания, навыков решения актуальных проблем формирования общекультурных и профессиональных компетенций, подготовки к практическим занятиям, сдаче зачета и экзамена.

Самостоятельная работа студентов представляет собой совокупность внеаудиторных занятий и работ, обеспечивающих успешное освоение образовательной программы высшего образования в соответствии с требованиями ФГОС.

Навыки самостоятельной работы по освоению каких-либо знаний приобретаются человеком с раннего детства и развиваются в течение всей жизни. К началу обучения в вузе каждый студент имеет личный опыт и навыки организации собственных действий, полученные в процессе обучения в школе, учреждениях дополнительного образования, во время внешкольных занятий и в

быту. Однако при обучении в вузе требования к организации самостоятельной работы существенно возрастают, так как они связаны с освоением сложных общекультурных и профессиональных компетенций.

Практика показывает, что студенты различаются по уровню готовности к реализации требований к самостоятельной работе. Выделяются две основные группы студентов. Первая характеризуется тем, что ее представители ориентированы на выполнение заданий самостоятельной работы и обладают универсальными учебными компетенциями, позволяющими успешно справиться с требованиями к ее выполнению (умением понимать и запоминать приобретаемую информацию, логически мыслить, воспроизводить материал письменно и устно, проводить измерения, вычисления, проектировать и т. д.). Студенты второй группы не имеют устойчивой ориентации на постоянное выполнение самостоятельной работы при освоении учебного материала и отличаются низким уровнем развития универсальных учебных компетенций и навыков самоорганизации.

Самостоятельная работа в рамках образовательного процесса в вузе решает следующие задачи:

- закрепление и расширение знаний, умений, полученных студентами во время аудиторных и внеаудиторных занятий, превращение их в стереотипы умственной и физической деятельности;
- приобретение дополнительных знаний и навыков по дисциплинам учебного плана;
- формирование и развитие знаний и навыков, связанных с научно-исследовательской деятельностью;
- развитие ориентации и установки на качественное освоение образовательной программы;
- развитие навыков самоорганизации;
- формирование самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;



- выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной теоретической, практической и учебно-исследовательской деятельности.

Для реализации задач самостоятельной работы студентов и ее осуществления необходим *ряд условий*, которые обеспечивает университет:

- наличие материально-технической базы;
- наличие необходимого фонда информации для самостоятельной работы студентов и возможности работы с ним в аудиторное и внеаудиторное время;
- наличие помещений для выполнения конкретных заданий, входящих в самостоятельную работу студентов;
- обоснованность содержания заданий, входящих в самостоятельную работу студентов;
- связь самостоятельной работы с рабочими программами дисциплин, расчетом необходимого времени для самостоятельной работы;
- развитие преподавателями у студентов навыков самоорганизации, универсальных учебных компетенций;
- сопровождение преподавателями всех этапов выполнения самостоятельной работы студентов, текущий и конечный контроль ее результатов.

Специфическими *принципами организации* самостоятельной работы в рамках современного образовательного процесса являются:

- принцип интерактивности обучения (обеспечение интерактивного диалога и обратной связи, которая позволяет осуществлять контроль и коррекцию действий студента);
- принцип развития интеллектуального потенциала студента (формирование алгоритмического, наглядно-образного, теоретического стилей мышления, умений принимать оптимальные или вариативные решения в сложной ситуации, умений обрабатывать информацию);

- принцип обеспечения целостности и непрерывности дидактического цикла обучения (предоставление возможности выполнения всех звеньев дидактического цикла в пределах темы, раздела, модуля).

Самостоятельная работа студентов планируется преподавателем в рабочей программе дисциплины.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение: в учебном плане в целом по теоретическому обучению, по каждому из циклов дисциплин, по каждой дисциплине; в рабочих программах учебных дисциплин с ориентировочным распределением по разделам или конкретным темам.

Самостоятельная работа студентов классифицируется: по месту организации (аудиторная и внеаудиторная); по целям организации (цели дисциплины, сформулированные и обоснованные в рабочей программе); по способу организации (индивидуальная, групповая).

Выбор формы организации самостоятельной работы студентов (индивидуальная или групповая) определяется содержанием учебной дисциплины и формой организации обучения (лекция, семинар, практическое занятие, контрольное занятие и др.).

В зависимости от формы промежуточной аттестации виды самостоятельной работы дополняются подготовкой к экзамену, зачету и процедурами текущей аттестации.

## **2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПОДГОТОВКУ К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ**

### ***2.1. Повторение материала лекций***

Источники информации по теме лекции:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием;

2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения лекционного занятия;

3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

## ***2.2. Самостоятельное изучение тем курса***

Самостоятельное изучение тем осуществляется при обучении на заочной форме обучения.

Источники информации для самостоятельного изучения тем:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед сессией;

2) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

## ***2.3. Подготовка к практическим и лабораторным занятиям***

Типовые задания (примеры) работ, выполняемые на практических занятиях представлены в комплекте оценочных материалов.

Принципы работы на практических занятиях озвучиваются преподавателем на соответствующих лекционных занятиях.

Источники информации для подготовки к практическим занятиям:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием либо в начале сессии;

2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения практического или лабораторного занятия (при наличии);

3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины;

4) методические указания по выполнению практических и лабораторных занятий.

# **3. ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

## ***3.1 Подготовка и написание контрольной работы***

Для выполнения контрольных работ студентами кафедрой подготовлены Методические рекомендации и задания к контрольным работам для студентов направления 21.05.02 Прикладная геология.

### ***3.2 Подготовка к экзамену***

В комплекте оценочных средств представлен перечень теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий, которые входят в постав билетов.

Источники информации для подготовки к экзамену:

- 1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием либо в начале сессии;
- 2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения лекционного занятия (при наличии);
- 3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

**Учебное издание**

**Тагильцев Сергей Николаевич**

**Гидрогеомеханика**

Методические указания по организации самостоятельной работы  
для обучающихся направления подготовки 21.05.02 – Прикладная геология  
(специализация № 2 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические  
изыскания»)

Редактор Н.В. Рубан

Подписано в печать

Бумага писчая. Формат бумаги 60 х 84 1/16.  
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Печ. л. Уч.-изд. л. Тираж экз. Заказ №

Издательство УГГУ

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.  
Уральский государственный горный университет  
Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники УГГУ

УГГУ

ОДОБРЕНО

Методической комиссией  
факультета геологии  
и геофизики УГГУ

13 апреля 2017 г.

Председатель комиссии

проф. В. И. Бондарев



## ОСНОВЫ ГИДРОГЕОМЕХАНИКИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Учебное пособие по дисциплине «Гидрогеомеханика»  
для студентов специальности 21.05.02 «Прикладная геология»  
специализации – «Поиски и разведка подземных вод и  
инженерно-геологические изыскания»

*Тагильцев С.Н.* Основы гидрогеомеханики скальных массивов: Учебное пособие по дисциплине «Гидрогеомеханика» для студентов специализации – «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания». – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2017. – 88 с.

В учебном пособии даётся систематическое изложение части лекционного курса «Гидрогеомеханика». Основным предметом гидрогеомеханики скальных массивов являются геомеханические процессы, происходящие под воздействием, главным образом, тектонических сил в условиях напряженно-деформированного состояния земной коры, и определяющие формирование фильтрационной структуры массивов горных пород. Отличительной особенностью гидрогеомеханики скальных массивов является детальный анализ геомеханических процессов, предшествующих разрушению и определяющих формирование массовых систем трещин в горных породах.

Учебное пособие предназначено для студентов и специалистов, занимающихся вопросами гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии и геомеханики скальных массивов.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии 11.02.16 г. (протокол № 37) и рекомендовано к изданию в УГГУ.

Рецензент - В.П. Новиков, к.г.-м.н., доцент

© Тагильцев С.Н., 2017  
© Уральская государственная  
Горный университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                             | 4  |
| 1. ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ<br>СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ.....                        | 6  |
| 2. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВОВ ГОРНЫХ<br>ПОРОД.....                                    | 14 |
| 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД.....                                          | 23 |
| 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХРУПКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ГОРНЫХ<br>ПОРОДАХ.....                             | 35 |
| 5. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХРУПКОЙ ДЕФОРМАЦИИ<br>СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ.....                    | 44 |
| 6. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ<br>СТРАТИФИКАЦИИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ.....          | 51 |
| 7. ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР С<br>ОРИЕНТИРОВКОЙ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ..... | 61 |
| 8. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ<br>СТРУКТУРЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ.....        | 76 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                           | 86 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                      | 87 |



## ВВЕДЕНИЕ

Взаимная обусловленность инженерно-геологических и фильтрационных процессов в геологической среде рассматривается в рамках научной дисциплины, которая получила название «гидрогеомеханика». Предметом гидрогеомеханики является изучение закономерностей механики земной коры, включая подземные воды, применительно к задачам гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. Основы гидрогеомеханики были разработаны В.А. Мироненко и В.М. Шестаковым (1974), путем совместного и взаимосвязанного рассмотрения основных проблем механики грунтов и фильтрации подземных вод в рамках одной научной дисциплины. Гидрогеомеханика объединяет теоретические основы геомеханики и геофильтрации, которые рассматривают гидрогеологические и инженерно-геологические процессы с механических позиций на основе схематизации геологических условий.

В своих теоретических основах гидрогеомеханика, как и геомеханика в целом, представляет количественное описание процессов на основе их механических моделей, которые таким образом составляют инструмент геомеханических исследований, опирающийся на разработки механики пористых и трещиноватых сред. Вместе с тем, как считает В.М. Шестаков (1998), гидрогеомеханику следует рассматривать как науку геологического цикла, поскольку ее предметом является массив горных пород, представляющий собой весьма своеобразную среду, строение которой обусловлено геологической историей. Отражение этого своеобразия должно проявляться в постановке геомеханических задач, и, особенно, в геомеханической схематизации, предусматривающей идентификацию геологической среды и механической модели.

Теоретические положения и основные практические приложения гидрогеомеханики были разработаны применительно к пористым дисперсным грунтам. Отличительной особенностью пористых дисперсных грунтов является то обстоятельство, что фильтрационные и емкостные свойства присущи им изначально, и определяются их генезисом. Скорость фильтрации, степень водонасыщения и гидростатический напор в этих грунтах играют роль факторов, предопределяющих инженерно-геологические свойства пористых массивов.

Инженерно-геологические свойства массивов скальных горных пород относительно слабо, по сравнению с пористыми грунтами, зависят от степени их водонасыщения. Важнейшим фактором, определяющим инженерно-геологические, фильтрационные и, в значительной мере, геоэкологические свойства скальных массивов, является трещиноватость. Наличие взаимосвязанных открытых трещин обеспечивает проницаемость горных пород, а распределение трещин в скальном массиве предопределяет его геомеханическую и фильтрационную анизотропию.

Внутренняя энергия скальных горных пород, связанная с их генезисом, в древних горноскладчатых регионах практически полностью растрочена, и основным фактором образования трещин в скальных массивах этих регионов являются тектонические силы. Таким образом, в отличие от гидрогеомеханики пористых грунтов, гидрогеомеханика скальных массивов имеет тесную связь с тектонофизикой и механикой скальных пород, и должна рассматривать процессы деформирования массивов горных пород с учётом, главным образом, тектонических напряжений.

Скальные горные породы характеризуются высокой прочностью, а их законы деформирования близки к законам деформирования упругих твердых тел. Трещины в горных породах образуются в процессе деформирования под действием внешних или внутренних сил. Следовательно, проницаемость этих пород формируется в результате геомеханических процессов. Можно считать, что основным предметом исследований, направленных на выявление закономерностей формирования фильтрационной структуры скальных массивов, являются геомеханические процессы, определяющие возникновение открытых и взаимосвязанных трещин.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 080300 – «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» и отражает основное содержание курса лекций по дисциплине «Гидрогеомеханика». Учебное пособие может представлять интерес для работников производственных и научных организаций, занимающихся вопросами гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии и геомеханики скальных массивов.

# 1. ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Фильтрационная структура скальных массивов определяется развитием зон трещиноватости и состоит из двух компонентов. Вблизи поверхности земли практически повсеместно фиксируется зона региональной приповерхностной трещиноватости. Кроме того, значительную, но не однозначную роль в формировании фильтрационной структуры скальных массивов играют тектонические нарушения.

Мощность зоны региональной трещиноватости увеличивается в речных долинах и уменьшается на водоразделах. На фоне относительно равномерной региональной приповерхностной трещиноватости выделяются локальные водоносные зоны, как правило, связанные с тектоническими нарушениями. Сочетание региональной зоны приповерхностной трещиноватости и локальных водоносных зон привело к формированию представлений о корово-блоковой структуре скальных массивов.

Проницаемость изверженных, метаморфических, а также осадочных сцементированных пород, обладающих жесткими внутренними связями, определяется наличием трещин различного происхождения. Со времени опубликования работы Д.К. Щеголева и Н.И. Толстихина (1939 г), в отечественной гидрогеологической литературе утвердилось представление о том, что водоносный горизонт региональной приповерхностной трещиноватости приурочен к зоне выветривания скальных массивов (зоне экзогенной трещиноватости), а распространение гипергенных трещин ограничивается глубиной  $60 \div 120$  м.

По мере накопления новых фактических данных, глубину развития зоны водоносных трещин различные исследователи стали указывать до  $150 \div 200$  м и более. Вместе с тем, представление о развитии региональной приповерхностной трещиноватости на глубину не более 100 м, до сегодняшнего времени определяет основные методические установки при проведении гидрогеологических работ в скальных массивах.

Противоречия в представлениях о глубине развития приповерхностной трещиноватости и генезисе трещин наиболее наглядно отразились в ряде обобщающих работ, опубликованных в 80-

е и 90-е годы. Наиболее значительные обобщения содержатся в работах Б.Е. Антышко (1987), С.Н. Чернышева (1983), Э.И. Ткачука (1992) и других исследователей. Основным результатом исследований является вывод о том, что ведущим фактором формирования проницаемости является напряженное состояние скальных массивов. Влияние экзогенных факторов ослабевает на глубинах 5÷40 м (преимущественно 10÷25 м).

В указанных работах убедительно показано, что приповерхностные трещины образуются под влиянием разгрузки напряжений, действующих в массиве. В ходе разгрузки наследуются трещины, образовавшиеся в ходе предыдущих деформаций. Глубина, на которую распространяется разуплотнение массива в результате разгрузки, составляет первые десятки метров.

Следует отметить, что в ряде работ отмечается, что зона приповерхностной трещиноватости имеет глубину развития до 300÷400 м, а иногда и более. Указывается, что в ряде случаев (палеозойские и более древние породы), литологический состав слабо влияет на закономерности развития трещиноватости и фильтрационных свойств. Кроме того отмечается, что геометрия систем трещин и их ориентировка слабо влияют на трещинную проницаемость горных пород.

В последние годы увеличивается число специалистов, которые считают, что напряженное состояние верхней части земной коры в большинстве горноскладчатых регионов характеризуется превышением горизонтальных напряжений над литостатическим давлением. Такое напряженное состояние называют геодинамическим, тектоническим или просто напряженно-деформированным состоянием.

В ряде публикаций отмечается, что идеи о напряженно-деформированном состоянии верхней части земной коры, стали активно восприниматься гидрогеологами под влиянием представлений о гидрогеодеформационном поле Земли, разработанных Г.С. Вартаняном и Г.В. Куликовым (1984 г). Эти представления показали взаимообусловленность напряженно-деформированного состояния породных массивов и их водопроницаемости.

Появились попытки разработать, на основе этих представлений, модель напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры, и движения в ней подземных вод с учетом опыта бурения сверхглубоких скважин и строительства крупномасштабных

подземных сооружений. В статье В.В. Каякина, А.В. Мулиной, В.Л. Миловидова (1997) предлагается рассматривать сложное напряженное состояние верхней части земной коры, используя соотношение величин вертикальных ( $\sigma_v$ ) и горизонтальных напряжений ( $\sigma_h$ ).

Таким образом, обзор развития представлений о генезисе и структуре водоносной зоны региональной приповерхностной трещиноватости позволяет сделать следующие выводы:

- Глубина развития зоны приповерхностной трещиноватости достигает 300÷400 м, а иногда и более.
- Водоносная зона региональной трещиноватости имеет сложное строение, что заставляет ставить задачу изучения ее стратификации.
- Глубина воздействия гипергенных процессов на процессы развития трещин обычно не превышает первых десятков метров.
- Трещины возникают в результате хрупкой деформации горных пород под воздействием значительных напряжений.
- Основную роль в возникновении и развитии зоны приповерхностной трещиноватости играет геодинамическое (тектоническое) напряженно-деформированное состояние земной коры.
- В регионах, сложенных древними породами, литологический состав относительно слабо влияет на закономерности развития трещиноватости и значения фильтрационных показателей.

Представления о формировании зоны приповерхностной трещиноватости в последнее время претерпели эволюцию от чисто экзогенного до тектонического, по своей сути, генезиса. В отличие от этого, возникновение и развитие разломов практически всегда связывалось с тектоническими напряжениями.

Описанию тектонических разрывов, их систематизации и классификации посвящена обширная литература, включающая труды отечественных и зарубежных исследователей. Гидрогеологические аспекты, связанные с исследованием тектонических разрывов, помимо обширной информации в многотомной монографии «Гидрогеология СССР», в разной степени отражены в работах Н.Д. Буданова, Г.С. Вартаняна, Н.А. Маринова, Ю.А. Норватова, В.А. Кирюхина, В.М. Степанова, Н.И. Толстихина, Е.В. Пеннекера, Н.И. Плотникова и многих других исследователей.

Многочисленными наблюдениями установлена приуроченность обводненных разломов преимущественно к локальным структурам – коровым разрывным дислокациям, сформировавшимся под влиянием молодых или современных тектонических движений. В.М. Степанов (1989) подчеркивает, что можно уверенно считать, что обводненность тектонических разрывов и зон разломов определяется не возрастом горных пород скальных массивов или тектонических нарушений, а воздействием неотектонических движений. В процессе молодых движений раскрываются ранее образованные разрывы, залеченные милонитами, дайковыми или рудными телами, либо образуются новые трещины, открытые полости которых служат вмещающей средой для трещинно-жильных вод.

Анализ представлений о гидрогеологических свойствах тектонических нарушений, изложенных в многочисленных работах, позволяет сделать следующие выводы:

- Разломная тектоника имеет очень существенное значение в формировании фильтрационной структуры скальных массивов, но их гидрогеологическая роль неоднозначна. Тектонические нарушения могут играть роль, как водоносных зон, так и водоупоров, а также могут не иметь отличий, по фильтрационным свойствам, от вмещающих пород.

- В зоне разлома фильтрационные свойства могут изменяться очень значительно. Наряду с участками, обладающими высокой проницаемостью, в теле разлома очень часто встречаются непроницаемые участки. Тектонические нарушения имеют сложную структуру и, нередко, длительную историю формирования.

- Обводненные разломы приурочены преимущественно к локальным разрывным дислокациям, сформировавшимся под влиянием молодых или современных тектонических движений. Проницаемость зон разломов определяется, главным образом, не возрастом тектонических нарушений, а их неотектонической активизацией.

- Наиболее проницаемы субвертикальные разломы. Обводненность пологих тектонических дислокаций менее выражена. Строение тектонических зон и их проницаемость зависит от физико-механических свойств горных пород. В хрупких породах формируются

четко выраженные линейные разрывы, которые обычно отличаются повышенной проницаемостью.

Довольно сложно разделить на определенные научные направления результаты исследований, связанные с изучением геомеханики, гидрогеодинамики, структуры скальных массивов и напряженным состоянием земной коры. Очень часто близкими проблемами занимаются специалисты, которые относят себя к разным отраслям науки. Нередко бывает, что один и тот же ученый проводит исследования в различных направлениях.

Наряду с основоположниками гидрогеомеханики, В.А. Мироненко и В.М. Шестаковым, значительный вклад в формирование основных понятий, идеологии исследований, сбор и анализ фактических материалов внесли отечественные и зарубежные специалисты, которых можно отнести к специалистам в области гидрогеологии и инженерной геологии. Работы Н.И. Толстихина, И.В. Попова, Е.М. Сергеева, В.Т. Трофимова, В.М. Осипова, В.Д. Ломтадзе, Г.С. Варганияна, Г.К. Бондарика, И.К. Гавич, И.П. Иванова, В.Д. Ломтадзе, Р.Э. Дашко, М.В. Раца, С.Н. Чернышева, А.А. Варги, И.И. Плотникова, Л. Мюллера, Ч. Джегера, Р. Гудмана, Х. Бока, В. Виттке и многих других исследователей можно рассматривать как базовые по отношению к основным задачам гидрогеомеханики.

Специалисты по инженерной геологии в своей повседневной деятельности постоянно сталкиваются с активным поведением геологической среды и ее реакцией на техногенное воздействие, поэтому ввели в постоянное обращение понятия «геологическая среда», «охрана геологической среды», «рациональное использование геологической среды», отстаивают приоритет использования понятия «геозкология» применительно к вопросам охраны геологической среды.

Одновременно следует отметить, что в большинстве научных работ инженеров-геологов напряженное состояние земной коры рассматривается на качественном уровне и в ряду других факторов. Во многих случаях такой подход оправдан, т.к. большинство инженерных сооружений взаимодействует с относительно небольшим объемом геологической среды. Кроме того, современные геодинамические процессы нередко являются результатом взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой и поэтому также обычно носят

многофакторный характер. Многофакторный характер геологических явлений затрудняет выделение и изучение роли напряженно-деформированного состояния.

Скальные массивы отличаются также некоторыми особенностями процессов фильтрации. Эти особенности связаны с определенной дискретностью трещинного пространства. Ряд исследований был посвящен разработке приемов описания фильтрационной структуры и способов прогноза проницаемости скальных массивов на основе, главным образом, тензорных моделей.

Со времени становления геологии как самостоятельной науки, возникновение и развитие структур земной коры (разломов, трещин, складок), всегда связывалось с наличием движений, деформаций и напряжений. Геолого-структурные методы изучения напряженного состояния (НС), широко применяются как для решения конкретных задач (тектонический контроль рудоносности и анализ геологических структур), так и при анализе глобальных явлений и важных проблем (строение земли в целом и отдельных структур). Геологи рассматривают, главным образом, результаты воздействия НС на верхнюю часть земной коры в виде различных явлений и процессов. Геологические структуры в целом и структуры месторождений полезных ископаемых в частности, отражают сложную и длительную историю воздействия изменчивых тектонических сил на регион или участок земной коры.

Значительный вклад в развитие представлений о генезисе и развитии структур скальных массивов внесли специалисты, которые изучали структуры рудных полей. А.В. Пэк, В.А. Королев, В.М. Крейтер, Н.П. Лаверов, Ф.И. Вольфсон, П.А. Шехтман, Ю.С. Шихин и многие другие, в своих работах очень тщательно относились к описанию и анализу фактических данных, руководствуясь при этом положениями геомеханики. В работах этих ученых содержится значительное количество интересных наблюдений и обобщений.

В настоящее время большую роль в изучении тектонических процессов играют представители относительно молодой научной отрасли наук о Земле – тектонофизики. Тектонофизика рассматривалась одним из ее основателей, М.В. Гзовским, как пограничная отрасль между геологией и геофизикой. Существует не только область науки, но и тектонофизическая школа М.В. Гзовского,



работают лаборатории тектонофизики и экспериментальной тектоники в геологических организациях Москвы, Иркутска, Новосибирска и других городов.

В рамках тектонофизического направления разрабатываются вопросы, связанные с моделированием тектонических процессов, напряжений, деформаций, и изучением механизмов различных явлений. Даже перечисление основных работ учеников и последователей М.В. Гзовского очень затруднено в связи с их большим количеством. При формировании основных положений и разделов настоящей работы использованы некоторые публикации А.С. Григорьева, Ю.Г. Леонова, А.В. Михайловой, А.А. Никонова, Д.Н. Осокиной, Л.М. Расцветаева, О.И. Гущенко, Л.А. Сим, С.И. Шермана и ряда других исследователей.

Следует отметить, что работы многих специалистов в области тектоники скальных массивов отличаются оригинальностью, самостоятельностью и будут использоваться при дальнейшем изложении.

Значительное число специалистов из разных отраслей геологической науки (геологии, геофизики, инженеры – геологи) уделяют большое внимание разработке представлений о структуре геологической среды. Оригинальный подход к описанию структуры массивов содержится в работах Б.Н. Мельникова, М.А. Садовский, В.Г. Талицкий, В.А. Галкин, А.А. Спивак, А.А. Наймарк и другие исследователи разрабатывают представления о дискретности геологического пространства, рассматривают геологическую среду как имеющую свойства иерархичности и самоподобия.

Специалисты горного профиля, выполняя исследования устойчивости сооружений в конкретных условиях и для отдельных выработок, чаще всего применяют количественные методы для локальных сооружений и участков, с применением ряда допущений и геомеханических схем. Геомеханические исследования в горных науках имеют высокий уровень. В научных организациях накоплен большой опыт работ, а в вузах горного профиля преподается ряд учебных дисциплин, в которых рассматриваются вопросы геомеханики.

В.В. Ржевский, И.В. Баклашов, Б.А. Картозия, А.Б. Фадеев, Г.Л. Фисенко, И.А. Турчанинов, А.Н. Ставрогин, И.М. Петухов, И.М. Батугина и другие ведущие ученые, опубликовали ряд учебников

и монографий, в которых рассматриваются вопросы устойчивости горных выработок и механики горных пород. Подавляющее большинство работ, опубликованных специалистами горного профиля, имеет четкую практическую направленность на решение задач горного производства.

Наряду с такими работами в последние годы появилась тенденция обобщения накопленных материалов, и стали появляться статьи и монографии, в которых авторы пытаются объединить глобальный и региональный (условно – геологический) и количественный (геомеханический) подход к проблеме влияния напряженно-деформированного состояния на естественные и техногенные процессы в геологической среде. Наиболее отчетливо такой подход проявляется в последней работе И.М. Петухова и И.М. Батугиной (Геодинамика недр, 1996). Авторы этой работы показали, что напряженно-деформированное состояние (НДС) земной коры оказывает многогранное воздействие на геологические процессы и на различные области человеческой деятельности.

Таким образом, в горной, строительной и геологической науках накоплен значительный опыт изучения геомеханических процессов в скальных массивах. Использование этих достижений даёт возможность наметить пути решения задач гидрогеомеханики, а также позволяет, в ряде случаев, разработать новые подходы к некоторым геомеханическим проблемам. В целом обзор литературных источников позволяет сделать следующие выводы:

- Анализ современных данных о строении зоны региональной трещиноватости убедительно показывает, что фильтрационная структура скальных массивов формируется под воздействием тектонических напряжений. Строение водоносных разломов и зон трещиноватости необходимо рассматривать, опираясь на основные положения геомеханики скальных массивов.

- Скальные массивы в большинстве регионов находятся в напряженно-деформированном состоянии, под воздействием тектонических напряжений. Вектор действия главных максимальных напряжений имеет субгоризонтальную ориентировку. Значения главных напряжений, действующих в горизонтальной плоскости, в несколько раз превышают вертикальные напряжения от веса горных пород.

- Подземные воды циркулируют по сетям трещин, которые образуются вследствие геомеханических процессов. Являясь наиболее подвижным компонентом геологической среды, подземные воды рассматриваются в гидрогеомеханике в качестве универсального индикатора, позволяющего изучить как естественную, так и техногенную структуру скальных массивов.

### Контрольные вопросы

1. Представления о фильтрационной структуре скальных массивов.
2. Характеристики зоны приповерхностной трещиноватости (мощность, связь с рельефом).
3. Развитие представлений о генезисе зоны приповерхностной трещиноватости.
4. Представления о роли разломных зон в формировании фильтрационной структуры скальных массивов.
5. Особенности различных направлений геологии, связанных с изучением тектоники скальных массивов.
6. Особенности применения механики скальных пород специалистами горного профиля.

## 2. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Представления о напряженном состоянии горных пород углублялись в соответствии с развитием различных областей знаний. В механике горных пород, обслуживающей те вопросы строительства, которые касаются взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой, давно утвердились представления о ведущей роли собственного веса горных пород в формировании напряжений в геологической среде. Согласно этим представлениям, вертикальные силы, действующие в массиве, равны весу вышележащих пород. Боковое давление от веса пород определяется, в соответствии с предпосылкой А.Н. Динника, через коэффициент бокового отпора, который в обычных условиях всегда меньше единицы, и чаще всего имеет значение 0,3 – 0,4. Таким образом, в тех условиях, где главным источником напряжений в массиве горных пород является их

собственный вес, горизонтальные напряжения составляют 30 – 40 % от вертикальных напряжений. Для самой верхней части земной коры, составляющей не более первых десятков метров, и взаимодействующей с обычными зданиями и сооружениями, рассмотренные закономерности обычно выполняются.

При проходке трансальпийского туннеля во второй половине девятнадцатого века, швейцарский геолог Гейм установил, что в массиве горных пород действуют горизонтальные напряжения, соизмеримые с вертикальными. Он считал, что горизонтальные и вертикальные напряжения равны, т.е. фактически высказал гипотезу о гидростатическом распределении напряжений в массиве горных пород. Некоторые авторы руководствуются этой гипотезой и в настоящее время.

Накопленный большой объем наблюдений за поведением пород при возведении плотин в горно-складчатых областях, при проходке туннелей и эксплуатации горных предприятий показал, что горизонтальная составляющая напряжений очень часто в несколько раз превосходит вес столба горных пород. Сейчас не вызывает сомнений, что избыточные горизонтальные напряжения имеют тектоническое происхождение и связаны с современными движениями и напряжениями в земной коре.

Считается, что переход от локальных выводов и качественных предположений в сознании геологов произошел после публикаций Н. Хаста (1958, 1969). На основании натурных измерений в глубоких горных выработках, он пришел к выводу о существовании «избыточных» горизонтальных напряжений уже на глубинах в первые десятки метров. По времени работы Н. Хаста совпали с этапом развития идей новой глобальной тектоники, хорошо согласовывались с геотектоническими концепциями и, в какой-то мере, обобщали накопленный мировой опыт. Для специалистов горного профиля к тому времени уже было хорошо известно, что в скальных массивах Хибинского массива, на рудниках Канады, США, Южной Африки установлены те же закономерности.

В нашей стране накопленный опыт был обобщен в книге «Напряженное состояние земной коры» (1973), появившейся по инициативе П.Н. Кропоткина. В этой работе показано, что в верхней части земной коры встречается два типа полей напряжений – геостатическое и геодинамическое. Первое обусловлено давлением

вышележащих горных пород, и горизонтальные напряжения составляют 0,3 – 0,6 от вертикальных напряжений. Геодинамическое поле напряжений характеризуется резко завышенными значениями горизонтальных напряжений сжатия и их анизотропией. Эти напряжения, как правило, значительно превышают значения геостатического давления, что однозначно снимает вопрос об их гравитационном или любом другом нетектоническом происхождении.

Особое внимание вызывает вопрос о глубине проявления избыточных горизонтальных напряжений. Имеющиеся данные свидетельствуют, что геодинамическое поле напряжений может действовать практически на поверхности земли или начиная с глубины в первые десятки метров. В некоторых точках Скандинавии и Северной Америке тектонические напряжения наблюдались на глубине 6 – 15 м. Отсюда следует, что в различных регионах и разных геологических условиях уровень напряжений в верхней части земной коры может существенно отличаться. Конкретные значения горизонтальных напряжений, как выше отмечалось, были впервые обобщены Н. Хастом. По его данным значения горизонтальных напряжений описываются зависимостью:

$$\sigma_x + \sigma_y = 19.1 + 0.1 H, \quad (2.1)$$

где  $\sigma_x$  – главное горизонтальное напряжение, МПа;

$\sigma_y$  – промежуточное горизонтальное напряжение, МПа;

$H$  – глубина от поверхности, м.

Следовательно, в тех условиях, где данная зависимость выполняется, на дневной поверхности сумма главных горизонтальных напряжений составляет примерно 19 МПа и увеличивается с глубиной. Очень важно, что возрастание напряжений с глубиной, по Н. Хасту, происходит значительно быстрее, чем увеличение веса горных пород. Удельный вес пород составляет обычно около 0,03 МН/м<sup>3</sup>, и, следовательно, возрастание напряжений превышает увеличение геостатического давления более чем в три раза. Измерения, проведенные на разных рудниках и глубинах, показывали значения главных горизонтальных от первых десятков до ста МПа (рис. 2.1).

Усредненные данные служат ориентиром при проведении исследований, но в конкретном регионе и, точнее, в определенной

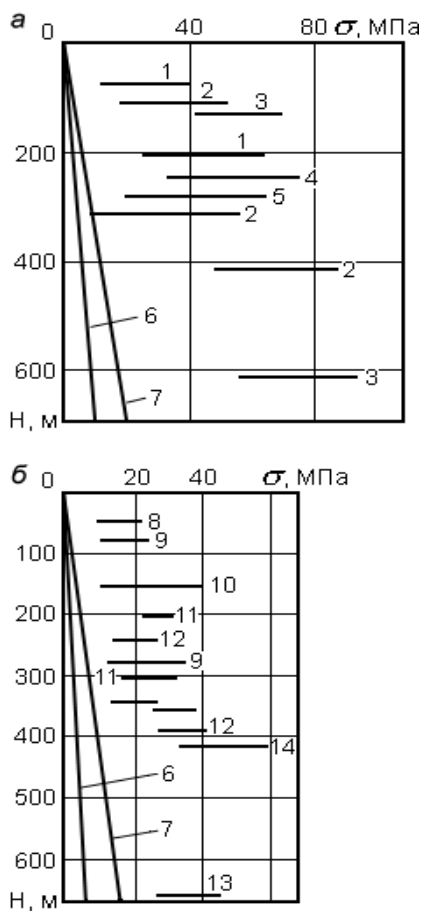


Рис. 2.1. Изменение горизонтальных напряжений с глубиной в массивах горных пород (по Булычеву Н.С., 1989 г): *а* – Кольский полуостров; *б* – Средняя Азия; 1-5, 8-14 – номера месторождений; 6 – расчётные горизонтальные напряжения ( $\lambda\gamma H$ ); 7 – расчётные вертикальные напряжения ( $\gamma H$ )

точке горного массива, измеренные значения могут существенно отличаться от средних значений. Так, хотя в большинстве случаев основное направление тектонических напряжений – горизонтальное, в отдельных районах зафиксированы значительные вертикальные напряжения тектонического происхождения.

В горно-складчатых районах на распределение напряжений в приповерхностной части массивов горных пород большое влияние оказывает резкая расчлененность рельефа. Концентрация напряжений приурочена к зонам наибольшего изменения кривизны рельефа, причем глубина, на которую прослеживается влияние особенностей рельефа, зависит от высоты горы или глубины и ширины вреза, и в меньшей степени, от крутизны рельефа. Усиление эрозионной деятельности (как естественной, так и искусственной) вызывает рост концентрации напряжений. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании крупных наземных и подземных сооружений.

Об источниках формирования напряженного состояния земной коры единого мнения пока не сложилось. Большинство исследователей сходятся на том, что поля напряжений сформировались под воздействием ряда факторов и имеют иерархический (ранговый) характер. На каждом отдельном участке земной коры сочетание действия различных факторов может приводить к различным результатам. Эти различия могут проявляться как в преобладающих направлениях сжимающих напряжений, так и в изменчивости этих направлений в пределах относительно небольших площадей и объемов горных пород.

На основании обзора работ, связанных с вопросами напряженного состояния массивов горных пород, можно сделать следующие выводы:

- Напряженное состояние земной коры выявлено многочисленными исследованиями и проявляется в существовании вблизи поверхности земли горизонтальных напряжений, в несколько раз превышающих по своей величине вес горных пород на тех же глубинах.

- Поля напряжений имеют иерархический (ранговый) характер, и на каждом отдельном участке сочетание действия различных факторов может приводить к различным результатам.

Изучение напряженного состояния на Урале с помощью прямых измерений проводилось в районах рудных месторождений

силами ряда организаций, но основные результаты были получены сотрудниками ИГД Минчермета, ныне ИГД УрО РАН. В течение многих лет эти работы выполнялись под руководством Н.П. Влоха. Данные, приведенные в его последней монографии (1994), свидетельствуют о том, что массивы горных пород находятся под воздействием значительных напряжений (рис. 2.2). Средние значения горизонтальных напряжений составляют  $10\div 30$  МПа, а иногда, особенно с глубиной, превышают 50 МПа. Анализ данных показывает значительный разброс значений, как по глубине, в целом по Уралу, так и в пределах одного или рядом расположенных месторождений. Практически не зафиксированы напряжения, которые соответствуют геостатическим закономерностям распределения напряжений.

В связи с тем, что прямых изменений напряженного состояния на Урале недостаточно для детальной характеристики региона, целесообразно использовать для оценки поля напряжений геофизическую, геологическую и сейсмическую информацию. При оценке техногенных изменений геологической среды на месторождениях полезных ископаемых Урала эти исследования были выполнены А.С. Зайцевым (1993). В настоящее время эти работы проводятся в институтах Геофизики и ИГД УрО РАН.

В отношении ориентировки вектора максимального главного напряжения по региону в целом, чаще всего высказывается мнение о преобладании максимальных сжимающих усилий вкрест простирания Уральских структур. Следует отметить, что фактические данные очень часто не соответствуют этим представлениям. Нередко главные сжимающие напряжения ориентированы параллельно простиранию геологических структур или занимают диагональное положение к ним.

На основании анализа работ, связанных с вопросами напряженного состояния массивов горных пород на Урале, можно сделать следующие выводы:

- В Уральском регионе наблюдаются различные проявления напряженного состояния. Горизонтальные напряжения, измеренные в горных выработках, достигают 50 МПа. Во многих местах фиксируются вертикальные и горизонтальные движения земной коры, происходят землетрясения и горные удары.



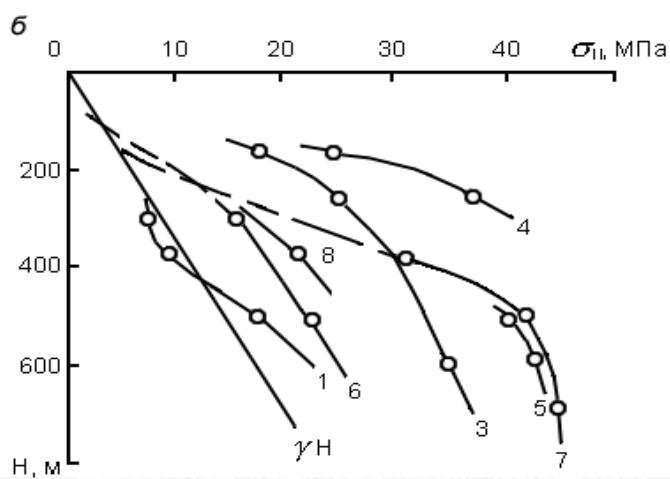
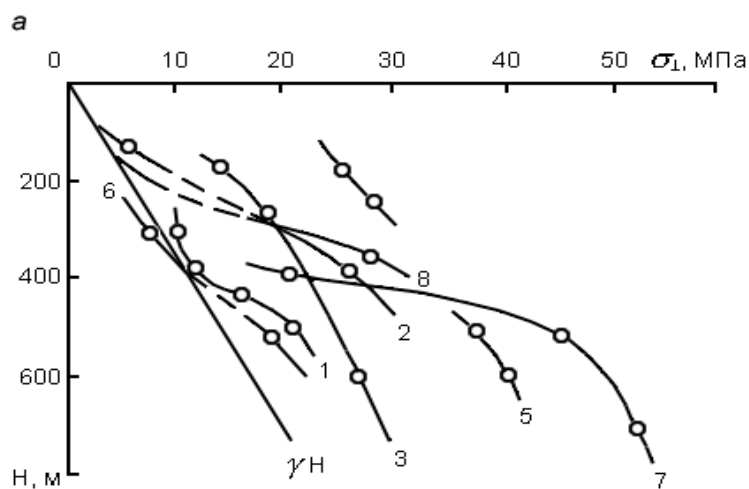


Рис. 2.2. Изменение горизонтальных напряжений с глубиной в массивах горных пород Урала (по Влоху Н.П., 1994 г):  $\sigma_{\perp}$  - напряжения, перпендикулярные простиранию;  $\sigma_{\parallel}$  - напряжения, параллельные простиранию пород; 1-7 – номера месторождений

Повсеместно установлено наличие современных движений земной коры. Вертикальные движения поверхности составляют мм и см/год, горизонтальные смещения могут достигать дм/год. Современные движения поверхности земли непосредственно связаны с напряженным состоянием земной коры.

- Накопленный опыт, наличие фактических данных и современные методы исследований позволяют наметить пути решения теоретических и прикладных задач, связанных с геомеханическими процессами в геологической среде Уральского региона.

Среди многочисленных работ, посвященных проблеме напряженного состояния земной коры, следует выделить те из них, которые содержат наиболее интересные концепции и обобщают разнообразные научные сведения и подходы. Интересные концепции содержатся в работах И.М. Петухова, которые обобщены им в монографии «Геодинамика недр» (1996), подготовленной совместно с И.М. Батугиной. По мнению авторов, невозможность учета всего многообразия форм, размеров, элементов массива горных пород, их свойств, взаимодействующих процессов при решении конкретных вопросов техногенной деятельности человека, заставляет искать феноменологические подходы и методы. Такой обобщенный подход должен базироваться на раскрытии закономерностей распределения напряженного состояния в земной коре в целом и в отдельных ее участках с учетом усредненных физико-механических свойств массива горных пород, рассматривая массив в качестве сплошной среды.

В указанной работе напряженное состояние земной коры рассматривается на основе концепции о том, что земная кора в целом, как система, и ее отдельные участки находятся в специальном предельно напряженном состоянии. В рассматриваемой работе содержатся следующие важные концепции: представление о предельно напряженном состоянии земной коры; утверждение, что это состояние описывается законом Кулона – Мора; рекомендации использовать при решении практических задач паспорт прочности Кулона – Мора. Недостатком описанной работы является отсутствие детального описания смены физических состояний горных пород с глубиной и использование условия Кулона – Мора в виде уравнения эллипсоида, а не в форме аналитической зависимости.

Представления о реологической расслоенности земной коры рассмотрены в работах В.Н. Николаевского (1978 - 1985). Опираясь на

обобщения исследований в области механических свойств горных пород, В.Н. Николаевский разработал подробную модель реологических преобразований горных пород и условий их разрушения при повышении давлений и температур. Главная концепция, которая следует из работ В.Н. Николаевского, состоит в том, что горные породы, слагающие земную кору, меняют свои свойства, подчиняясь известным закономерностям механики скальных пород. Отсюда напрашивается вывод, что правильные представления о смене состояний горных пород в условиях повышения давлений и температур, а также учет ряда других факторов, могут помочь в решении задач гидрогеомеханики. В качестве основного недостатка работ В.Н. Николаевского, следует отметить, что детально разработанная модель последовательной смены видов разрушения горных пород не подкреплена аналитическими критериями, определяющими границы проявления этих разновидностей.

Концептуальные работы И.М. Петухова и В.Н. Николаевского взаимно дополняют друг друга и могут служить той основой, которая позволяет наметить пути решения задач гидрогеомеханики.

#### Контрольные вопросы

1. Преобладающие представления о НС породных массивов в инженерной геологии.
2. История развития представлений о НС земной коры.
3. Геостатическое и геодинамическое НС в земной коре.
4. Современные представления о НС массивов горных пород (МГП).
5. Вклад Н. Хаста в формирование современных представлений о НС МГП.
6. Изучение НС МГП на Урале.
7. Представления И.М. Петухова и В.Н. Николаевского о направлениях исследований НС МГП.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

При решении большинства задач горной и строительной геомеханики основным моментом является определение условий разрушения материала. Предметом исследований гидрогеомеханики

является процесс образования трещин, свойства которых определяют основные гидрогеологические и инженерно-геологические свойства массивов горных пород. Задача о количественных преобразованиях геологической среды в условиях НС требует углубления качественных представлений об изучаемых процессах, а также развитие математического аппарата, описывающего эти закономерности. В этой главе рассматриваются известные представления о качественной стороне процесса деформирования и о количественных зависимостях, описывающих эти процессы. Известные закономерности и результаты исследований рассматриваются с позиции решения задач гидрогеомеханики, поэтому содержат новые подходы, предложенные автором этой работы. В основе обобщения лежат работы Р. Гудмана, В.Н. Николаевского, В.Н. Крапивина, Ю.С. Шихина, и ряда других исследователей.

Для обоснования качественной модели процесса образования трещин необходимо рассмотреть закономерности процесса деформации. Деформация может осуществляться способами обратимого и необратимого искажения внутренней структуры тела, а также путем ее нарушения. Этим способам соответствуют три вида деформации – упругая, пластическая и хрупкая (рис. 3.1). В ходе деформации эти виды сменяют и, частично, дополняют друг друга, поэтому в ряде случаев их удобнее рассматривать как три последовательные стадии. Стадийность следует рассматривать как важнейшее свойство процесса деформации.

Очень важным этапом деформации хрупких материалов на стадии, предшествующей разрушению, является дилатационное разуплотнение. Дилатансия происходит за счет возникновения в материале массовых трещин предразрушения, при этом происходит увеличение объема и активной (взаимосвязанной) внутренней пустотности (рис. 3.2). Дилатансия наблюдается в определенных значениях напряжений, т.е. тогда, когда разница между максимальным ( $\sigma_1$ ) и минимальным ( $\sigma_3$ ) напряжением находится в определенных соотношениях.

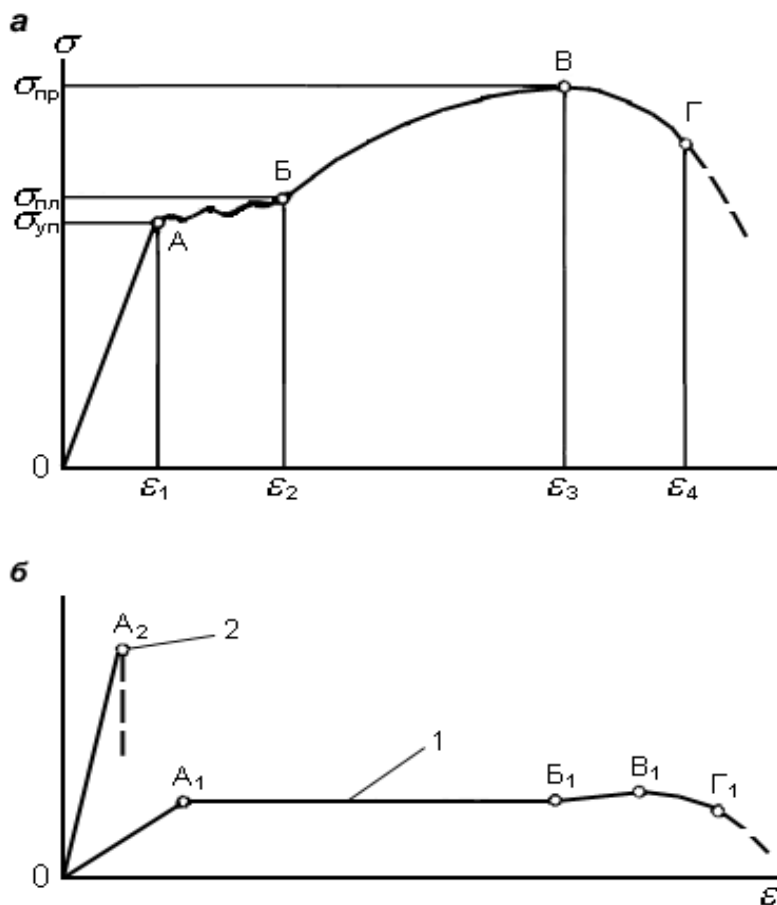


Рис. 3.1. Типовые зависимости «напряжение – деформация» (по Шихину Ю.С., 1991 г): *a* – общая кривая; стадии деформации: ОА – упругая, АБ – пластичная, БВГ – хрупкая, с удлинениями  $О\epsilon_1$ ,  $\epsilon_1\epsilon_2$  и  $\epsilon_2\epsilon_4$  соответственно; пределы:  $\sigma_{уп}$  – упругости,  $\sigma_{пл}$  – пластичности,  $\sigma_{пр}$  – прочности; *б* – идеализированные кривые деформации пластичного (1) и хрупкого (2) тел.

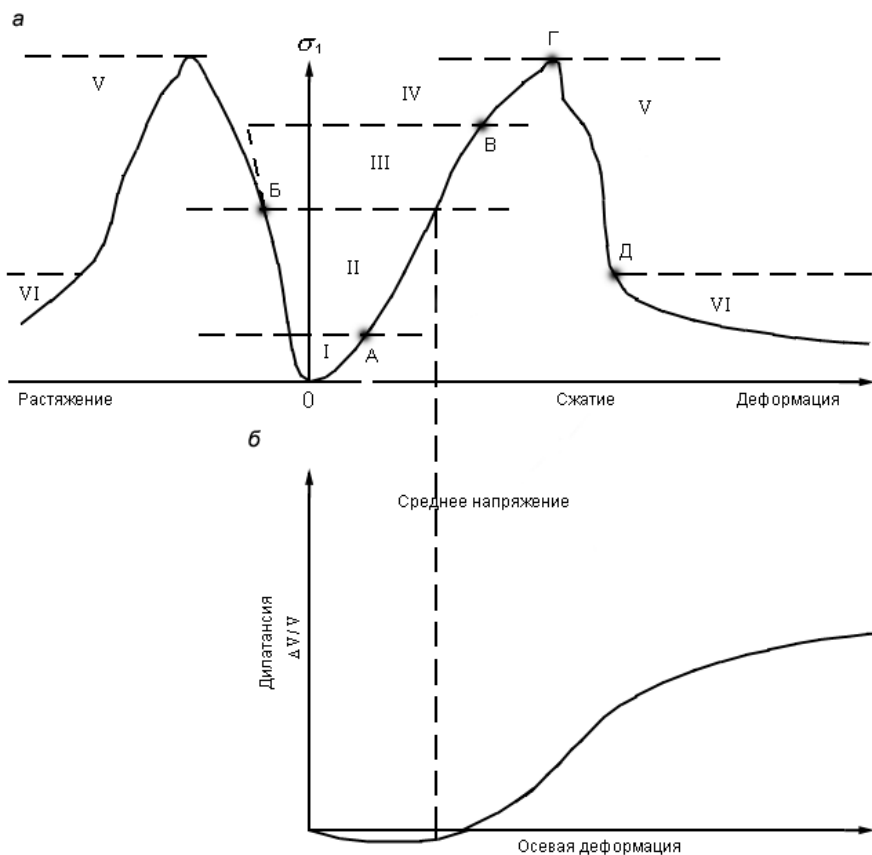


Рис. 3.2. Зависимость «деформация – напряжение» в скальных породах (по Р. Гудману, 1987 г): а – осевые и поперечные деформации в зависимости от  $\sigma_1$ ; б – объемная деформация в зависимости от осевой деформации; I – поперечная деформация; II – упругое поведение; III – образование новых трещин; IV – увеличение микротрещин; V – образование макротрещин за счет роста микротрещин; VI – сдвиги по макротрещинам.

При относительном увеличении максимального напряжения, когда отношение  $\sigma_1/\sigma_3$  достигает определенного значения, массовые трещины предразрушения не развиваются и дилатансия не фиксируется.

Наиболее детально представления о последовательности разрушения геоматериалов рассмотрены в работах В.Н. Николаевского (1984). Опираясь на данные различных исследователей, он предлагает «схему - классификацию неупругости и разрушения геоматериалов». Эта схема, с некоторыми дополнениями изменениями автора данной работы, даёт представления об этапах деформации и разрушения в зависимости от давления и температуры (рис. 3.3).

Среди этапов деформации, выделенных В.Н. Николаевским, главное значение при решении задач гидрогеомеханики имеет этап хрупкой деформации. Этап хрупкой деформации заканчивается, когда трещины предразрушения возникают только в зоне будущей сквозной макротрещины, т.е. деформация локализуется в узкой полосе. При последовательном увеличении напряжений (увеличении отношения  $\sigma_1/\sigma_3$ ), эта полоса увеличивается и происходит постепенный переход от хрупкой к пластической деформации. Очень важно отметить, что этап локализации деформаций, который предшествует этапу псевдопластичности, является довольно сложным.

На основании работ В.Н. Николаевского, Р. Гудмана и других исследователей можно сделать вывод, что отличительной чертой этапа хрупкой деформации является возникновение во всем деформируемом объеме, (во всей «массе»), сети трещин предразрушения (массовых трещин). Необходимо отметить, что для хрупкого разрушения скальных горных пород, характерно последовательное образование различных видов трещин предразрушения. На начальных этапах деформации образуются трещины отрыва, которые при развитии деформации соединяются и приобретают сколовый характер. Объединение этих трещин приводит к образованию единого разлома.

Трещины предразрушения развиваются в несколько этапов. На пределе упругости в материале начинают развиваться пластические деформации в форме деформаций послойного скольжения на уровне кристаллов, межкристаллических промежутков и минеральных агрегатов (рис. 3.4).



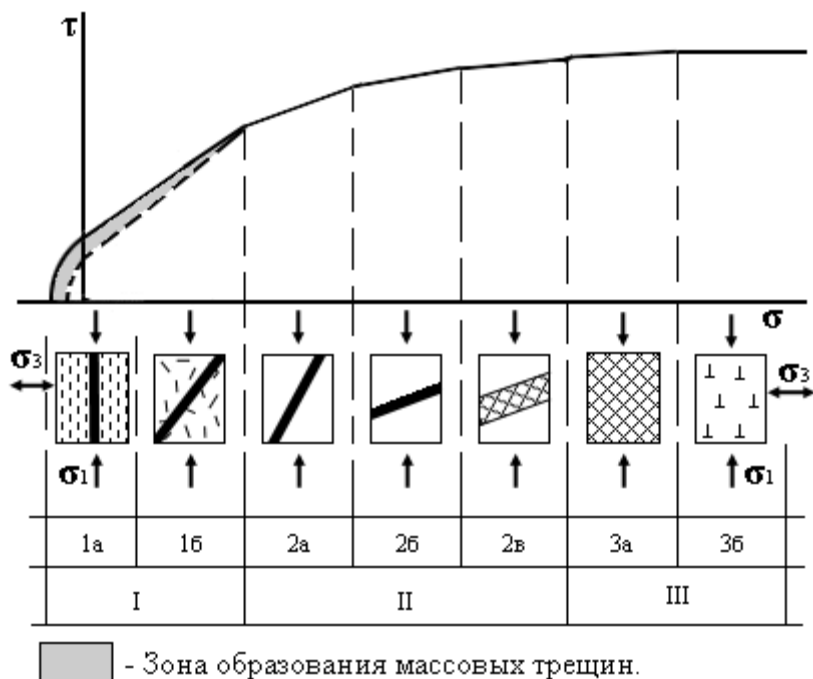


Рис. 3.3. Развитие процессов деформации горных пород в зависимости от давления и температуры:

I – хрупкое разрушение (массовые микро- и макротрещины):

1а – разрушение по трещинам отрыва

1б – разрушение по трещинам скола

II – переходное (локализованное) разрушение:

2а – локальный скол ( $\alpha < 45^\circ$ )

2б – локальный скол ( $\alpha > 45^\circ$ )

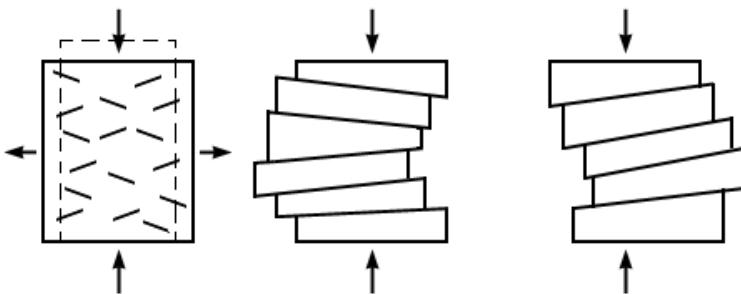
2в – локальная зона псевдопластического разрушения

III – пластическое разрушение:

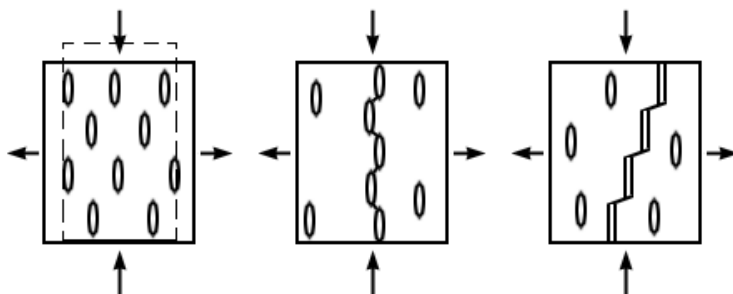
3а – псевдопластическое

3б – пластическое.

*Пластичный материал*



*Хрупкий материал*



*Хрупко-пластичный материал*

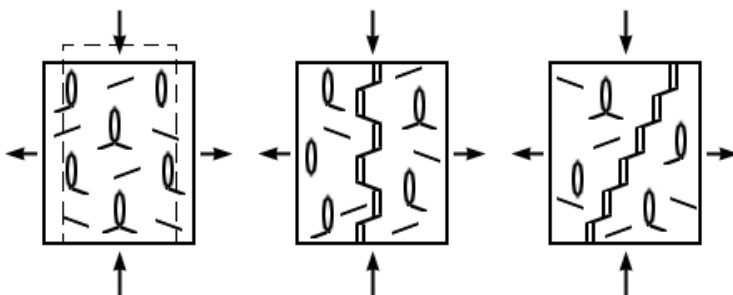


Рис. 3.4. Механизм деформации и разрушения

В плотных образцах скальных горных пород этот этап практически не проявляется в изменении формы графика связи напряжений и деформаций и не приводит к образованию трещин, но на этом этапе подготавливаются условия для дальнейших деформаций. В натуральных условиях, в связи с высокой неоднородностью массивов горных пород, очень часто в породе развиваются трещины сдвига (скольжения).

Механизм возникновения поверхности скола определяется соединением микротрещин отрыва наклонными сдвиговыми трещинами (трещинами скольжения). Следует предполагать, что большинство сдвиговых микротрещин образуется по поверхностям пластического скольжения, которые очень часто являются поверхностями ослабления прочности материала. Трещина скола представляет собой ступенчатую поверхность (см. рис. 3.4), состоящую из микротрещин отрыва и микротрещин сдвига (скольжения). Последние образуют с осью главного максимального напряжения угол, значение которого может достигать примерно  $70^\circ$ .

Соотношение свойств, характеризующих хрупкость и пластичность, в конкретном материале проявляется в отношении длин микротрещин отрыва и скольжения, и, как следствие, формирует угол скола (см. рис. 3.4). В хрупких породах, где угол скола составляет  $20-25^\circ$ , длина микротрещин отрыва существенно превышает длину микротрещин скольжения.

В породах обладающих пластичными свойствами, трещины отрыва обычно играют подчиненную роль, угол скола чаще всего превышает  $45^\circ$ , и может приближаться к  $70^\circ$ . Материалы, имеющие промежуточные свойства, т.е. примерное равенство хрупких и пластичных свойств, образуют при скалывании угол около  $45^\circ$ , а протяженность микротрещин отрыва и сдвига примерно одинакова.

Достижение состояния, когда массовые трещины практически не образуются, а деформации локализуются в зоне одного нарушения, можно рассматривать как верхнюю границу истинно хрупкого разрушения. При дальнейшем смещении круга напряжений вправо (см. рис. 3.3), происходит существенное выполаживание паспорта прочности, но локализация деформаций в зоне одного нарушения сохраняется. Выполаживание паспорта прочности свидетельствует о нарастании пластических свойств горной породы. Разлом (сколовая макротрещина) в этих условиях меняет свой угол с осью

максимального главного напряжения. Если угол скалывания меньше  $45^\circ$ , то это состояние можно рассматривать как пластично – хрупкое, а если угол превышает  $45^\circ$ , то состояния является хрупко – пластичным. При приближении угла скола к  $70^\circ$  хрупкая составляющая в формировании зоны нарушения практически исчезает. В зоне нарушения формируется локальная зона псевдопластического течения.

Твердые тела обычно рассматриваются как тела, удерживающие свою форму неограниченно, но большинство твердых материалов могут медленно деформироваться при определенном уровне напряжений. Это свойство твердых тел обычно рассматривается как ползучесть. В.Н. Николаевский (1984), рассматривая результаты испытания скальных пород делает вывод, что замедление скорости деформирования на несколько порядков не очень существенно сказывается на значении предела прочности геоматериала, но дилатансионное деформирование облегчается. При этом, в условиях по сути хрупкой деформации, в скальном массиве значительное развитие получают трещины скольжения, отражающие преобладание пластической стадии деформирования.

Наряду с важностью качественных представлений о процессах деформирования, для решения задач гидрогеомеханики очень важны количественные критерии рассматриваемых явлений.

Критерий разрушения Мора – Кулона является наиболее простым и общепризнанным критерием разрушения скальных пород и представляет собой прямолинейную огибающую предельных кругов Мора. При записи критерия через нормальные и касательные напряжения в точке касания круга Мора с огибающей, будем иметь:

$$\tau_{\text{пр}} = C + \sigma_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.1)$$

где  $\tau_{\text{пр}}$  – предельное касательное напряжение;

$C$  – сцепление;

$\sigma_{\text{н}}$  – нормальное напряжение на площадке сдвига;

$\varphi$  – угол внутреннего трения.

Уравнение теряет физический смысл при растягивающих нормальных напряжениях ( $\sigma_{\text{н}}$ ) на площадках разрушения, т.к. в этом случае не правомерно рассуждать о сопротивлении трению. Минимальное главное напряжение  $\sigma_3$  может быть растягивающим, но нормальное напряжение на площадке сдвига должно быть сжимающим. Критерий Мора – Кулона определяет связь главных напряжений при разрушающей нагрузке:

$$\sigma_1 = R_{сж} + \sigma_3 \operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2), \quad (3.2)$$

где  $R_{сж}$  – предел прочности на сжатие.

Критерий Мора – Кулона называют также условием предельного состояния, т.к. данная зависимость лежит в основе теории предельного равновесия горных пород. Предельное состояние реализуется на двух площадках скола, которые расположены под углом скалывания ( $\alpha$ ), к оси максимального главного напряжения (рис. 3.5).

Основным условием применения аналитических методов теории упругости для исследования напряженно-деформированного состояния скального массива является введение идеализированного представления о его сплошности. Анализ такой модели массива может быть выполнен методами линейной теории упругости. Для однородного изотропного массива обобщенный закон упругости (обобщенный закон Гука) имеет вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= 1/E \cdot [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]; \\ \varepsilon_y &= 1/E \cdot [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]; \\ \varepsilon_z &= 1/E \cdot [\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)]; \end{aligned} \quad (3.3)$$

В случае плоской деформации ( $\varepsilon_y=0$ ) эти уравнения переписуются в виде (Баклашов, Картозия, 1986):

$$\varepsilon_x = 1/E^* \cdot (\sigma_x - \lambda\sigma_z); \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_z = 1/E^* \cdot (\sigma_z - \lambda\sigma_x); \quad (3.5)$$

$$E^* = E/(1 - \mu^2); \quad (3.6)$$

$$\lambda = \mu/(1 - \mu), \quad (3.7)$$

где  $\lambda$  - коэффициент бокового отпора.

Из обобщенного закона Гука следует, что деформация, происходящая по определенной оси, определяется эффективным (результатирующим) напряжением ( $\sigma_x^0, \sigma_z^0$ ) которое складывается из активного напряжения и реактивных напряжений:

$$\sigma_x^0 = \sigma_x - \lambda\sigma_z; \quad (3.8)$$

$$\sigma_z^0 = \sigma_z - \lambda\sigma_x. \quad (3.9)$$

Активное напряжение возникает из-за внешнего силового воздействия на материал, а реактивное напряжение формируется непосредственно в материале как реакция на внешние силовые воздействия.

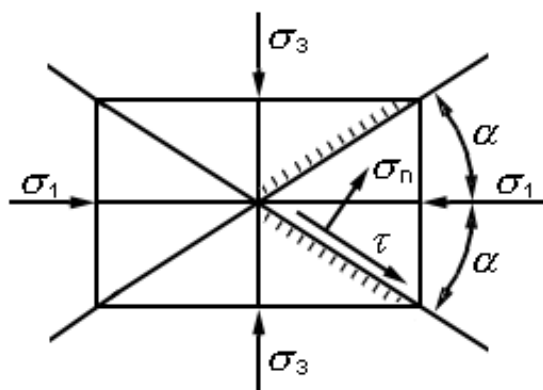
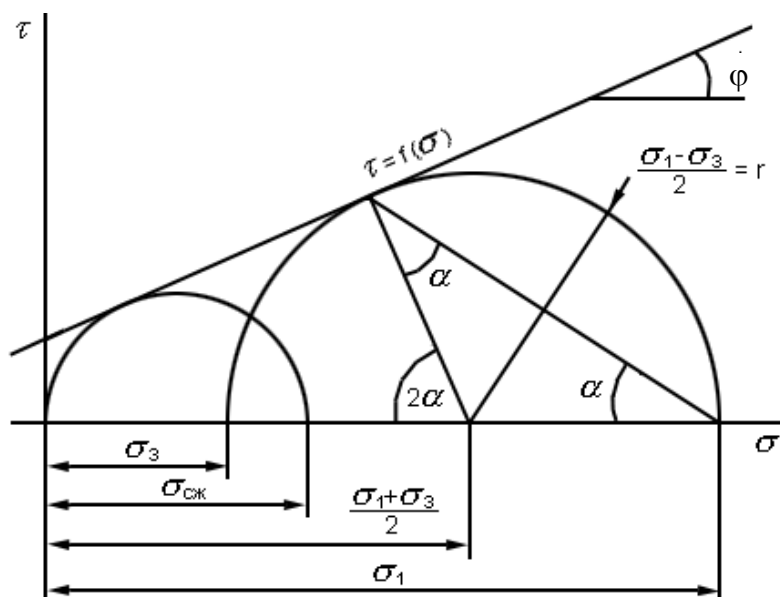


Рис. 3.5. Паспорт прочности горных пород и ориентировка площадок скола  
(по Крапивину В.Н., 1987 г)

Реактивные напряжения имеют характер бокового отпора от максимального активного напряжения и действуют в плоскости, перпендикулярной активному напряжению. Если активное напряжение сжимающее (положительное), то реактивное напряжение от него является растягивающим (отрицательным). Таким образом, эффективное напряжение определяется алгебраической суммой активных и реактивных напряжений.

Если активное (внешнее) силовое воздействие по оси отсутствует, то это не означает отсутствие, по этой оси (оси минимальных напряжений), напряжений и деформаций. Эффективное напряжение в этом случае (в случае одноосного сжатия по оси максимальных сжимающих напряжений), определяется только реактивными напряжениями и является растягивающим. Соответственно и поперечная деформация носит отрицательный (растягивающий) характер:

$$\sigma_x^0 = -\lambda \sigma_z; \quad (3.10)$$

$$\sigma_z^0 = -\lambda \sigma_x. \quad (3.11)$$

Принимая  $\sigma_z^0 = \sigma_3^0$ , а  $\sigma_x = \sigma_1$ , можно записать, что в этом случае

$$\sigma_3^0 = -\lambda \sigma_1. \quad (3.12)$$

Опираясь на зависимости (3.2; 3.9), с учётом (4.4), запишем:

$$\sigma_1 = R_{сж} + \sigma_3/\lambda; \quad (3.13)$$

$$\sigma_3^0 = \sigma_3 - \lambda \sigma_1. \quad (3.14)$$

Решая систему уравнений (3.13; 3.14) получим, что

$$\sigma_3^0 = -\lambda R_{сж}, \quad (3.15)$$

т.е  $\sigma_3^0$  является постоянной величиной. Физический смысл последнего выражения состоит в том, что  $\sigma_3^0$  можно рассматривать как предел прочности на разрыв при сжатии ( $R_p$ ). Так как значение  $\sigma_3^0$  является эквивалентом поперечных растягивающих деформаций, то постоянство этой величины согласуется с теорией наибольших (предельно допустимых) деформаций.

Если рассматривать зависимость Кулона как касательную к кругу напряжений, образованного по величинам  $\sigma_3^0$  ( $R_p$ ) и  $R_{сж}$ , то эта зависимость будет огибающей для кругов напряжений, образованных по величинам  $\sigma_3^1$  и  $\sigma_1$ . Предлагаемая зависимость будет отличаться от традиционного критерия Мора-Кулона по некоторым характеристикам. Параметр  $R_{сж}$  приобретает несколько иной смысл и его удобнее обозначать как  $R_{ос}$ . Для случая, когда  $\sigma_3^1 = 0$ ,  $\sigma_1$  удобно обозначить как  $R_c$ . Предлагаемые параметры и новые обозначения детально



рассмотрены в следующей главе. Необходимо отметить, что зависимость (3.2) в этом случае будет иметь вид:

$$\sigma_1 = R_C + \sigma_3^1/\lambda; \quad (3.16)$$

Опираясь на зависимости (3.13; 3.16), с учётом (4.7) получим:

$$\sigma_3^1 = \sigma_3 + R_p. \quad (3.17)$$

Заменяя величину  $R_p$  в зависимости (3.17) выражением (3.14) будем иметь:

$$\sigma_3^1 = 2\sigma_3 - \lambda\sigma_1. \quad (3.18)$$

Выражение (3.17) показывает, что при предлагаемом способе построения линейного критерия (ЛК),  $\sigma_3^1$  является расчётным показателем, который позволяет количественно оценивать процесс деформации по оси действия напряжения  $\sigma_3$ . Рассматриваемый параметр можно называть условным напряжением. Этот показатель позволяет сравнивать разрушающую растягивающую деформацию по оси минимального главного напряжения с активным (сжимающим) напряжением по этой оси. При последующем изложении (в следующей главе),  $\sigma_3^1$  будет обозначаться как  $\sigma_3$ .

В механике горных пород изучение механических процессов ведется преимущественно на основе аналитических методов. Применение этих методов практически невозможно без идеализации породного массива. Идеализация массива позволяет абстрагироваться от реального массива и перейти к изучению его механической модели, отображающей с достаточной степенью приближения его механические свойства.

Понятие сплошности является одним из важнейших структурно – механических особенностей массива. Данное понятие предполагает, что все структурные блоки рассматриваемого массива деформируются как единое целое. Если это условие выполняется, то такой массив можно схематизировать как сплошное тело.

Идеализация массива требует применения соответствующих принципов схематизации природных условий, которые позволяют определять границы однородности и сплошности. Для ряда задач разработаны необходимые показатели. Следует отметить, что в зависимости от задачи исследований, размеров объекта и природных условий критерии сплошности носят относительный характер.

Таким образом, анализ основных положений геомеханики, позволяет сделать следующие выводы:

- Массивы скальных горных пород следует рассматривать как упругую среду, которая находится в предельно напряженном состоянии. Анализ геомеханических процессов, происходящих в геологической среде, следует проводить, опираясь на критерий предельного состояния.

- Полимнеральный состав горных пород и большая продолжительность геологических процессов может приводить к тому, что в хрупких породах могут появиться признаки пластической деформации. Эти признаки могут выражаться в завышении, по сравнению с расчетными (согласно теории), значений углов скола.

- Зависимость условий деформации от типа напряженного состояния и от соотношения значений главных напряжений требует проведения тщательного анализа роли этих факторов в геологической среде. От поверхности земли в глубину должно происходить изменение типа напряженного состояния и соотношения значений главных напряжений.

- Детальный анализ закономерностей развития деформации наиболее актуален для приповерхностной части земной коры, которая, с одной стороны является наиболее хрупкой частью литосферы, а с другой – является геологической средой, которая наиболее тесно связана с человеческой деятельностью.

#### Контрольные вопросы

1. Виды, стадии и этапы деформации. Характеристика этапов деформации.
2. Связь дилатансии и хрупкого этапа деформации.
3. Последовательность образования трещин предразрушения.
4. проявление свойств «хрупкости – пластичности» в строении трещин скола.
5. Критерий разрушения Мора-Кулона как критерий предельно напряжённого состояния.
6. Обобщённый закон Гука и его преобразования в случаях плоской деформации и одноосного сжатия.
7. Активные, реактивные и эффективные напряжения.
8. Преобразование критерия Мора-Кулона для описания процесса деформации.
9. Идеализация массива горных пород при решении геомеханических задач.

#### 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХРУПКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Основные законы, описывающие природные закономерности, имеют эмпирический характер и определенные пределы применимости. Очевидно, что если принимать в качестве основного закона предельного состояния, на этапе хрупкой деформации, преобразованный линейный критерий (3.16), то следует определить границы применимости линейной зависимости, опираясь на фактические данные и теоретические представления о процессе деформации и разрушении горных пород.

Принимается, что линейный критерий описывает условия хрупкого разрушения твердого тела, которое наступает вследствие образования сквозных трещин скола, имеющих определенную ориентацию относительно направления действия главных сжимающих напряжений. Первоначальный смысл закона Кулона состоит в том, что процессу трения предшествует преодоление сил сцепления. Переход, при разрушении, в условиях одноосного сжатия, от трещин скола к трещинам отрыва указывает на границу применимости закона Кулона, т.к. образование трещин отрыва происходит без смещения, и, соответственно – без трения. Если считать сжимающие напряжения положительными, то указанную границу следует рассматривать как нижний предел применимости линейного критерия.

Линейный критерий теряет физический смысл при растягивающих нормальных напряжениях на площадке разрушения, т.к. при этом неправомерно говорить о сопротивлении трению. Следовательно, критической точкой линейной зависимости является точка ее пересечения с осью касательных напряжений ( $\sigma_n = 0$ ). Поэтому выведение прямой предельного состояния в левую часть паспорта прочности (в область отрицательных значений  $\sigma_n$ ) является неверным.

Одновременно следует помнить, что нормальное напряжение на площадке скола должно быть сжимающим, а минимальное главное напряжение ( $\sigma_3$ ) может быть растягивающим. Отсюда следует, что на паспорте прочности критический круг напряжений может занимать только строго определенное положение (рис. 4.1). Необходимо отметить, что данное положение круга напряжений является единственно правильным при условиях одноосного сжатия (3.15). В

этих условиях формируется боковой отпор от сжимающей нагрузки, который определяет критический уровень растягивающих напряжений.

Разрушение образцов, при выполнении испытаний на одноосное сжатие происходит как по трещинам отрыва, расположенным параллельно оси главного напряжения, так и по трещинам скола. Следовательно, при одноосном сжатии одновременно достигаются предельные значения прочности, как на разрыв, так и на скол. Определенные вариации с условием проведения опытов на одноосное сжатие позволяют получать или только трещины отрыва, или только трещины скола, но в целом следует признавать, что одноосное сжатие создает равные условия для реализации разрушения, как по трещинам отрыва, так и по трещинам скола. Такое пограничное состояние изображается кругом напряжений, отвечающим условию:

$$\sigma_3 = R_p, \text{ при } \sigma_1 = R_{OC}, \sigma_n = 0, \quad (4.1)$$

где  $R_p$  – предел прочности на разрыв;  $R_{OC}$  – предел прочности на одноосное сжатие,  $\sigma_1$  – максимальное главное напряжение.

Данное условие принимается в качестве нижней границы (нижнего предела) применимости линейного критерия (рис. 4.1). Соответственно можно записать:

$$R_p = -\lambda R_{OC}. \quad (4.2)$$

Опираясь на известное выражение (3.2), получаем:

$$R_{OC} = R_C + R_p \operatorname{tg}^2(\pi/4 + \varphi/2). \quad (4.3)$$

где  $R_C$  – предел прочности на сжатие, при условии  $\sigma_3 = 0$ .

При сравнении зависимостей (4.2) и (4.3) видно, что коэффициент бокового отпора определяется через угол внутреннего трения. После преобразований получим:

$$\lambda = \operatorname{tg}^2(\pi/4 - \varphi/2). \quad (4.4)$$

Выражение (4.4) ранее использовалось некоторыми исследователями (А.Ж. Машанов, 1961, 1985).

Учитывая зависимость (4.4), выражение (4.3) можно записать в виде:

$$\sigma_1 = R_C + \sigma_3/\lambda. \quad (4.5)$$

При  $\sigma_1 = R_C$ ,  $\sigma_3 = 0$ , т.е.  $R_C$  является расчетным параметром, определяющим  $\sigma_1$  при  $\sigma_3=0$ .

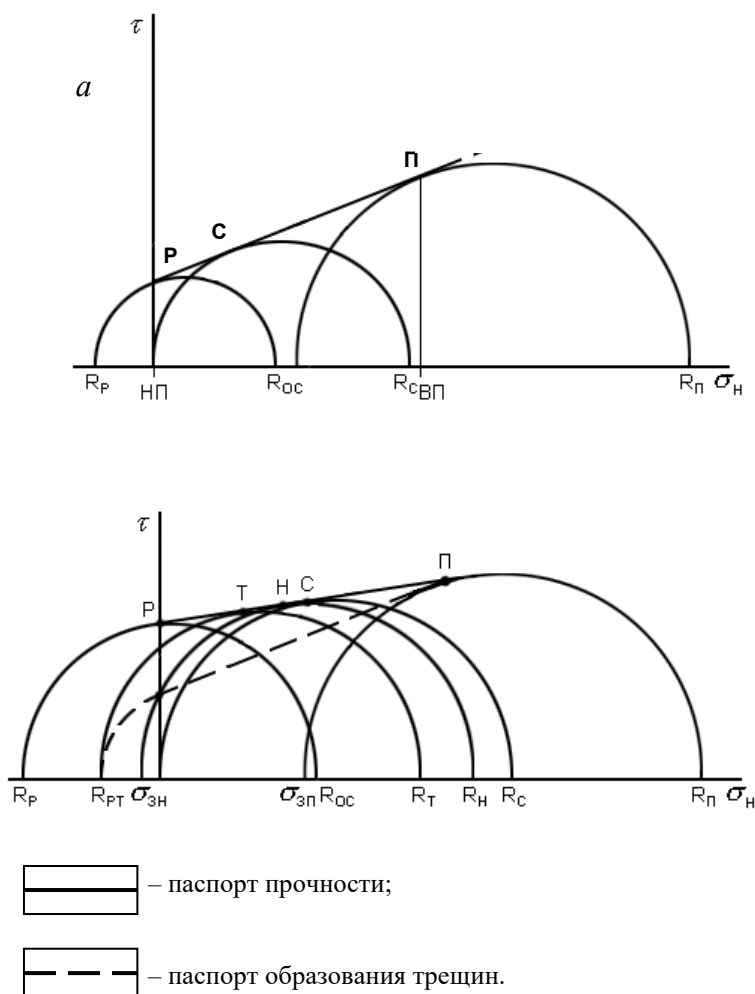


Рис. 4.1. Характерные точки паспорта прочности: *a* – линейный критерий и пределы его применимости; *б* – отражение паспорта образования трещин в характерных точках паспорта прочности. НП – нижний предел ЛК ПНС; ВП – верхний предел ЛК ПНС;  $R_p$  – предел прочности на разрыв;  $R_{OC}$  – предел прочности на одноосное сжатие;  $R_c$  – предел прочности на сжатие;  $R_{п}$  – максимальное сжимающее напряжение при ВП

Если  $\sigma_1 = R_{OC}$ , то  $\sigma_3 = R_p$ , и учитывая выражение (4.2), получим:

$$R_{OC} = R_C + R_P/\lambda. \quad (4.6)$$

$$R_C = 2R_{OC}, \text{ или } R_{OC} = R_C/2. \quad (4.7)$$

Таким образом, основные аналитические зависимости существенно упростились.

Возможность образования макротрещин скола определяется достижением критических значений касательных напряжений на площадке разрушения. В свою очередь, касательные напряжения формируются в результате взаимодействия нормальных напряжений ( $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ ). Выполним анализ зависимости (4.5). Умножая обе части уравнения (4.5) на  $\lambda$ , можно записать:

$$\lambda R_C = \lambda \sigma_1 - \sigma_3 \quad (4.8)$$

или

$$-\lambda R_C = -\lambda \sigma_1 + \sigma_3. \quad (4.9)$$

Учитывая, что  $(-\lambda \sigma_1)$  определяет значение растягивающих напряжений бокового отпора, следует заключить, что в предельном состоянии разница между значениями напряжений бокового отпора и  $\sigma_3$  сохраняется постоянной, и равняется  $(-\lambda R_C)$ .

В зависимости (4.9) отражается физический смысл линейного критерия, который заключается в том, что разрушение наступает при постоянном, для конкретного материала, значении растягивающих напряжений. Выражение  $(-\lambda R_C)$  отражает постоянное значение растягивающих напряжений в предельном состоянии и является константой материала. Эту константу обозначим  $R_{OP}$ .

Критические касательные напряжения на площадке скола формируются при определенных значениях напряжений, которые формируются по направлению осей максимального и минимального напряжений. Очевидно, что при смещении круга напряжений в правую часть паспорта прочности будет изменяться соотношение между константой  $R_{OP}$  и внутренними растягивающими напряжениями ( $\sigma_{KP}$ ), которые действуют по оси минимального главного напряжения и участвуют в формировании критических касательных напряжений. Верхний предел применимости линейного критерия можно записать в виде условия:

$$\sigma_{KP} = R_{OP}. \quad (4.10)$$

На основании условия (4.10) выведено выражение (Тагильцев С.Н., 1997), позволяющее рассчитывать, для конкретного материала, значение максимального сжимающего напряжения на верхнем пределе ( $R_{П}$ ):

$$R_C/R_{\Pi} = 1 - \lambda. \quad (4.11)$$

Для удобства использования выражения (4.11), примем  $\bar{\sigma}_1 = \sigma_1/R_C$ :

$$R_{\Pi}/R_C = \bar{R}_{\Pi}, \quad (4.12)$$

$$\bar{R}_{\Pi} = 1/(1 - \lambda), \quad (4.13)$$

$$1/\bar{R}_{\Pi} = 1 - \lambda, \quad (4.14)$$

Последние выражения позволяют рассчитать значения  $\bar{R}_{\Pi}$  в зависимости от значений угла внутреннего трения:

Значения предельного отношения  $\bar{R}_{\Pi}$

| $\varphi$       | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| $\bar{R}_{\Pi}$ | 3,37 | 1,96 | 1,50 | 1,28 | 1,15 |

Результаты расчетов свидетельствуют, что верхний предел применимости линейного критерия зависит от свойств породы. Среднее значение отношения  $\bar{R}_{\Pi}$  для скальных горных пород составляет 1,3 – 1,5, а для более пластичных материалов возрастает. Эти результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Пределы применимости линейного закона Кулона-Мора определяются, согласно результатам расчетов, значениями  $R_{OP}/\sigma_{KP}$  от 2,0 до 1,0. Нижняя граница соответствует  $R_{OP}/\sigma_{KP} = 2,0$ , а верхняя определяется  $R_{OP}/\sigma_{KP} = 1,0$ . Геомеханический смысл этих чисел становится понятным, если рассмотреть физическую суть процесса. Разрушение тела должно происходить по одной или по двум сколовым плоскостям. Нижняя граница определяет условия образования двух сколовых плоскостей, а верхняя – одной сколовой плоскости. Если энергии недостаточно для образования одной плоскости скола, то разрушение этим способом произойти не может. В пределах  $R_{OP}/\sigma_{KP} = 2,0 \div 1,0$  происходит образование одной сквозной сколовой поверхности и ряда несквозных (не соединяющихся) массовых трещин. В условиях, когда  $\bar{\sigma}_1 < \bar{R}_{\Pi}$ , несквозные (допредельные) массовые трещины начинают развиваться при  $R_{OP}/\sigma_{KP} \geq 1,0$ . Следовательно, геомеханический смысл хрупкого разрушения состоит в том, что кроме

одной сколовой трещины, по которой происходит разрушение, в материале образуются допредельные массовые трещины.

Таким образом, теоретический анализ условий применимости линейного критерия предельного состояния позволяет считать, что законами механики обусловлены пределы применимости линейного критерия предельного состояния при хрупкой деформации. Указанный критерий можно рассматривать как преобразованный закона Кулона-Мора. Нижний предел определяется переходом на площадке сдвига от сжимающих к растягивающим напряжениям. Верхний предел возникает в связи с тем, что внешние сжимающие напряжения, при определенном уровне внешних нагрузок, уравниваются с реактивными растягивающими напряжениями, и образование массовых трещин становится невозможным.

Использование представлений о пределах применимости линейного критерия предельного состояния позволяет производить количественный анализ процессов хрупкой деформации в скальных горных породах.

Образование сквозных трещин приводит к разрушению образцов и к падению напряжений. Несквозные трещины при испытании образцов начинают возникать при напряжениях, которые значительно ниже предельных. Анализ опубликованных материалов показывает, что при различных значениях  $\bar{\sigma}_1$ , т.е. при разных положениях круга напряжений, процесс образования трещин имеет отличительные особенности. Большинство авторов считает, что при одноосном сжатии трещины отрыва начинают возникать при нагрузках, составляющих примерно половину разрушающих. В условиях испытаний вблизи верхней границы применимости закона Кулона – Мора трещины возникают практически при разрушающих нагрузках. Материалы испытаний при соотношениях  $\bar{\sigma}_1 = \bar{R}_{OC} \div \bar{R}_{II}$  показывают, что растягивающие напряжения образования трещин ( $\sigma_T$ ) варьируются в пределах 0,5-1,0 от разрушающих нагрузок.

Опираясь на данное условие, построена зависимость  $\tau_T$  от  $\sigma_{нт}$ , т.е. определена связь касательных и нормальных напряжений, при превышении которых начинается образование трещин. Эту зависимость можно называть паспортом образования трещин (рис. 4.16).



Рассматривая паспорт образования трещин как расчетную модель, предназначенную для оценки развития трещин в условиях ПНС, можно принять

$$R_{PT} = 0.5R_p, \quad (4.15)$$

где  $R_{PT}$  – растягивающие напряжения, при которых начинается образование трещин (одноосное сжатие).

Необходимо отметить, что значения  $\bar{\sigma}_1$ , в характерных точках, имеют определенные значения. Обозначим, что  $\sigma_1 = R_T$  при  $\sigma_3 = R_{PT}$ . Тогда величина  $\bar{\sigma}_{1T} = 0,75$ :

$$R_{PT} = -\lambda R_C/4, \bar{R}_{PT} = -\lambda/4, \quad (4.16)$$

$$\sigma_{1T} = R_C - R_{PT}/\lambda$$

$$\bar{\sigma}_{1T} = 0.75. \quad (4.17)$$

Анализ паспорта образования трещин позволил оценить вероятные углы скола допредельных трещин при изменении положения круга напряжений от нижнего до верхнего предела. Диапазон значений этих углов довольно широк, и данное обстоятельство дает возможность предполагать, что в природных условиях могут наблюдаться аналогичные явления. Кроме того, равная вероятность возникновения трещин с различными углами скола заставляет считать, что в природных условиях значительную роль будут играть дополнительные факторы.

Анализ формирования массовых трещин на основе изложенной модели позволяет считать, что при различных положениях круга напряжений интенсивность трещиноватости будет изменяться. Массовые трещины начинают развиваться при смещении круга напряжений влево от точки «П» (см. рис. 4.1б). При приближении круга напряжений к точке «С» интенсивность трещиноватости должна снижаться, т.к. условие  $\sigma_3 = 0$  предполагает отсутствие деформации по этой оси, и, соответственно, ухудшение условий формирования трещин скола.

Между точками «С» и «Н» интенсивность трещиноватости должна нарастать, т.к. растягивающие напряжения по оси  $\sigma_3$  способствуют возникновению сколовых трещин. Между точками «Н» и «Т» следует ожидать некоторое снижение интенсивности трещиноватости. Это явление определяется тем, что при смещении круга напряжений левее точки «Н» начинает сокращаться диапазон положительных (сжимающих) значений  $\sigma_H$ .

При достижении точки «Т» интенсивность трещиноватости должна резко возрасть за счет возникновения и развития самостоятельных трещин отрыва. Развитие трещин отрыва, в свою очередь, способствуют формированию трещин скола. Интенсивность трещиноватости должна увеличиться до предельной точки «Р». Таким образом, при анализе фактических материалов следует ожидать изменение интенсивности трещиноватости в зависимости от соотношения значений главных напряжений, а характерные точки паспорта прочности можно зафиксировать по изменению трещиноватости.

В целом следует отметить, что теоретический анализ условий применимости линейного критерия предельно напряжённого состояния позволяет считать, что законами механики определены пределы применимости линейного критерия на этапе хрупкой деформации. Математические выражения, описывающие пределы применимости линейного критерия, позволяют производить количественный анализ процессов хрупкой деформации в скальных породах.

#### Контрольные вопросы

1. Нижний предел линейного критерия предельно напряжённого состояния (ЛК ПНС).
2. Физический смысл ЛК ПНС и соотношение основных параметров.
3. Верхний предел ЛК ПНС.
4. Физический смысл пределов ЛК ПНС.
5. Основные характерные точки паспорта прочности.
6. Паспорт образования трещин.
7. Отражение паспорта образования трещин в характерных точках паспорта прочности.
8. Изменение характеристик трещин в пределах этапа хрупкой деформации.

## 5. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХРУПКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Рассматривая закономерности напряженно-деформированного состояния геологической среды, следует, в соответствии с исходными представлениями считать, что приповерхностная часть литосферы является зоной хрупкой деформации земной коры. Главное максимальное сжимающее напряжение ( $\sigma_1$ ) ориентировано горизонтально, а минимальное напряжение ( $\sigma_3$ ), в пределах определенного приповерхностного слоя, имеет вертикальную ориентировку. В породном массиве действует активная вертикальная сила – вес столба горных пород ( $\gamma H$ ). Согласно выражению (3.18), расчётное вертикальное напряжение (условное минимальное главное напряжение), определяется зависимостью:

$$\sigma_3 = 2\gamma H - \lambda \sigma_1, \quad (5.1)$$

где  $\gamma$  – удельный вес горных пород.

Решая данное уравнение совместно с выражением (4.5), получим:

$$\sigma_1 = R_c/2 + \gamma H/\lambda, \quad (5.2)$$

или

$$\sigma_1 = R_c/2 + B\gamma H, \quad (5.3)$$

где  $B = 1/\lambda$ .

Последнее уравнение описывает зависимость  $\sigma_1$  от глубины ( $H$ ) в условиях предельно напряженного состояния, т.е. является преобразованной формой записи линейного критерия. Следовательно, характерным точкам паспорта прочности («П», «С», «Н», «Т», «Р») соответствуют определенные глубины ( $H_P$ ,  $H_C$ ,  $H_H$ ,  $H_T$ ,  $H_R$ ). В качестве показателей характерных точек паспорта прочности можно рассматривать значения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ , которые соответствуют пределам применимости линейного закона Кулона – Мора, а также значение  $\sigma_1 = R_c$ . Таким образом, значению  $\sigma_1 = R_c$  соответствует глубина  $H_C$ ,  $\sigma_1 = R_P$  (показатель достижения верхнего предела) соответствует глубина  $H_P$ , а  $\sigma_3 = R_P$  соответствует глубина  $H_R$  (рис. 5.1).

Из уравнения (5.1) следует, что на определенной глубине должно выявляться условие  $\sigma_3 = 0$ , т.е.

$$2\gamma H_C = \lambda \sigma_1. \quad (5.4)$$

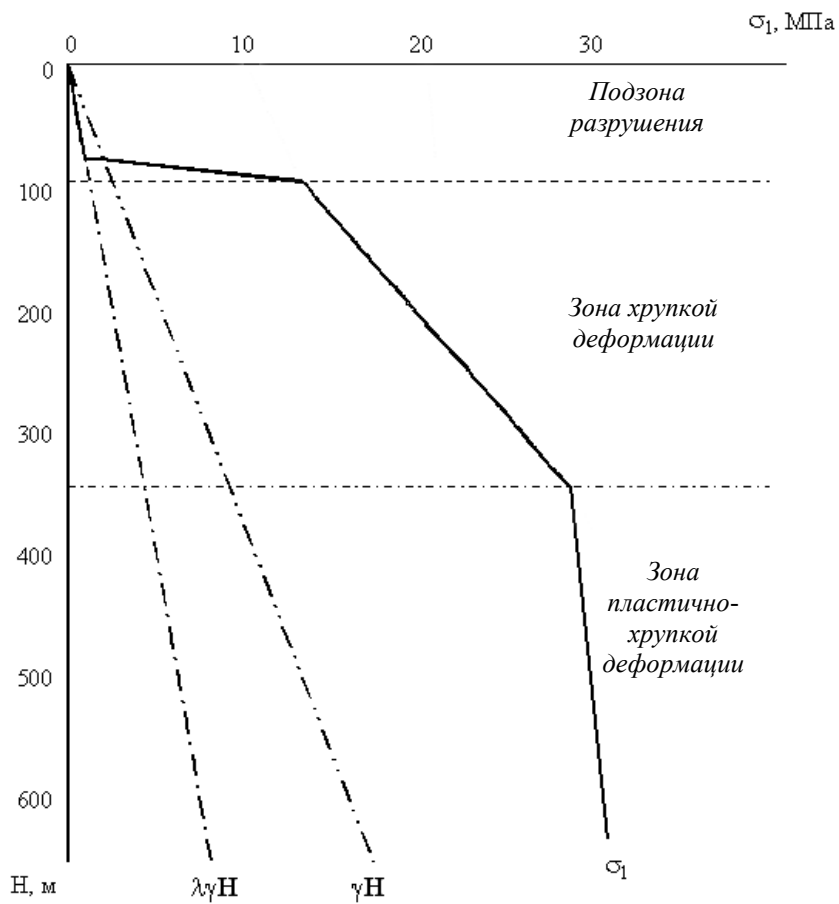


Рис. 5.1. Изменение значений горизонтальных напряжений и вида деформации по глубине

Ближе к поверхности земли

$$2\gamma H < \lambda \sigma_1, \quad (5.5)$$

а с ростом глубины и, соответственно, веса горных пород

$$2\gamma H > \lambda \sigma_1. \quad (5.6)$$

Если  $\sigma_3 = 0$ , то  $\sigma_1 = R_C$  и, следовательно:

$$2\gamma H_C = \lambda R_C, \quad (5.7)$$

$$H_C = \lambda R_C / 2\gamma, \quad (5.8)$$

$$R_C = 2\gamma H_C / \lambda. \quad (5.9)$$

Решая совместно уравнения (5.4, 5.9), и учитывая зависимость  $R_P = -\lambda R_C / 2$ ,

получим:

$$\sigma_3 = \gamma H + R_P. \quad (5.10)$$

Отсюда следует, что если  $\sigma_3 = R_P$ , то  $H_P = 0$ , т.е. нижняя граница применимости линейного критерия реализуется на поверхности земли.

Учитывая, что на глубине  $H_C$  значение  $\sigma_3 = 0$ , получим

$$R_P = -\gamma H_C. \quad (5.11)$$

Подставляя выражение (5.11) в (5.10), получаем:

$$\sigma_3 = \gamma(H - H_C), \quad (5.12)$$

$$H = H_C + \sigma_3 / \gamma \quad (5.13)$$

Следовательно, подставляя соответствующие значения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  в уравнения 5.2, 5.8, 5.13, можно получить значения  $H_P$ ,  $H_C$ ,  $H_H$ ,  $H_T$ . Во многих случаях удобнее оперировать выражением

$$\bar{H} = H / H_C. \quad (5.14)$$

Особо следует отметить, что значение величины  $\bar{H}_T$  должно иметь значение равное 0.5, в соответствии с выражением (4.17). Данное соотношение характерных глубин имеет важное диагностическое значение и позволяет проверить исходные теоретические представления.

Результаты расчетов, выполненные на основании характерных значений геомеханических параметров показывают, что значения  $H_C$  достаточно стабильны и обычно составляют примерно 200÷300 м. Напротив, для значений величины  $H_P$  характерны очень существенные вариации, связанные с величиной  $\varphi$ . Значения  $H_P$ , при  $\varphi = 10^\circ$ ÷ $30^\circ$  могут превышать тысячу метров, а при  $\varphi = 40^\circ$   $H_P \approx 300$ ÷ $500$  м.

Изменение главных напряжений по глубине определяется значением коэффициента «В» в уравнении (5.3). Эти значения отличаются от единицы:

|         |      |      |     |     |
|---------|------|------|-----|-----|
| φ, град | 10   | 20   | 30  | 40  |
| B       | 1.42 | 2.04 | 3.0 | 4.6 |

Средние значения B варьируют в пределах 2.5÷4.5. В общем случае зависимость  $\sigma_1$  от H значительно положее ( $B > 1$ ), что и подтверждается фактическими данными (Хаст, 1969; Н.П. Влох, 1994). Обобщенная зависимость, с подстановкой типичных значений, будет иметь вид:

$$\sigma_1 = (10 \div 20) + (2.5 \div 4.5) \gamma H, \text{ МПа} \quad (4.19)$$

Аналогичные зависимости получены практически для всех железорудных месторождений Урала (Н.П. Влох, 1994).

Таким образом, на основании выполненных исследований можно считать, что верхняя часть земной коры находится в условиях предельно напряженного состояния. Напряженное состояние приповерхностной зоны литосферы, мощностью менее одного километра, описывается линейным законом предельного состояния (законом Кулона – Мора). Выявленные закономерности позволяют прогнозировать распределение значений главных напряжений по глубине геологического разреза в зависимости от свойств горных пород. На основании данных изучения трещин возможно определение геомеханических характеристик конкретного массива.

Вблизи поверхности земли, согласно изложенным выше теоретическим проработкам, должна существовать вертикальная зональность в интенсивности трещиноватости. На глубине  $H_{\Pi}$  начинается развитие массовых тектонических трещин предразрушения, а на поверхности земли процесс образования трещин должен завершаться разрушением массива в связи с достижением предела прочности на растяжение. Массив горных пород проходит последовательно, по мере уменьшения глубины, начиная с  $H_{\Pi}$ , все характерные состояния (характерные точки паспорта прочности).

Для характерных глубин должны быть свойственны определенные изменения в углах падения трещин и, особенно, в интенсивности трещиноватости. На глубине  $H_c$  должно наблюдаться существенное снижение количества открытых трещин, т.к.  $\sigma_3 = 0$ . (рис.5.2).

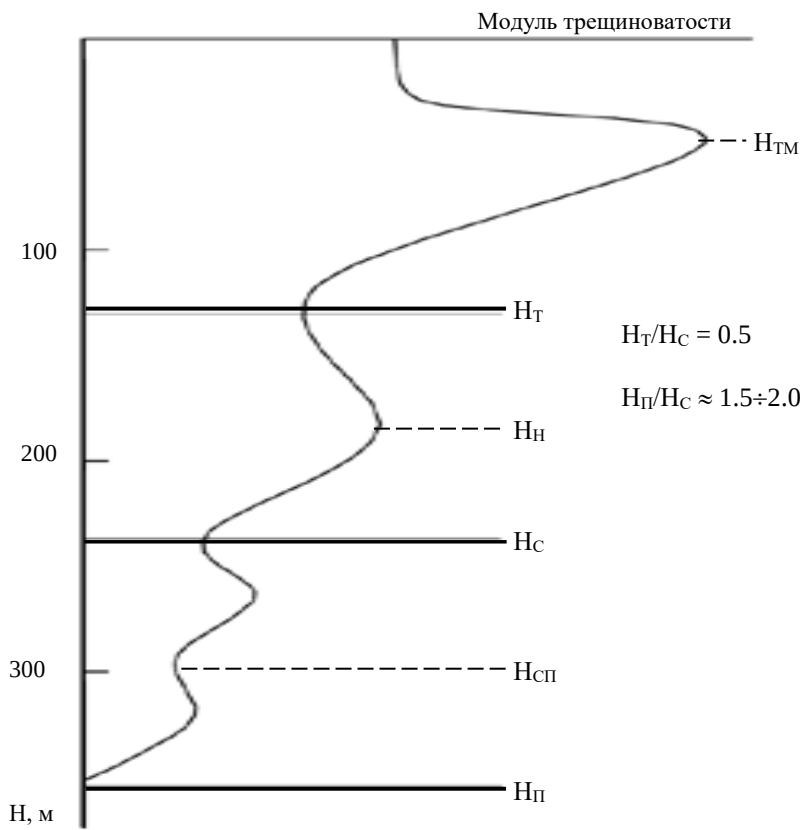




Рис. 5.2. Изменение трещиноватости по глубине

Выше глубины  $H_H$  некоторое снижение количества трещин, по сравнению с общей тенденцией к увеличению, должно происходить за счет того, что при  $\sigma_H \leq 0$  сколовые трещины образовываться не могут. На глубине  $H_T$  общее количество трещин должно резко возрасть в связи с достижением предела  $R_{PT}$ . Указанные особенности должны проявляться при проведении тщательной инженерно-геологической документации или при анализе данных поинтервальных опробований гидрогеологического разреза (см. рис.5.2).

Опираясь на исходную модель, можно ожидать, что количество трещин будет очень существенно возрастать выше глубины  $H_T$  и достигнет максимума на поверхности земли, т.к. значение характерной глубины  $H_P = 0$ , но теоретические проработки и фактические данные заставляют полагать, что должна наблюдаться более сложная зависимость. Вблизи поверхности земли должны изменяться геомеханические условия, а также прочностные свойства горных пород. Между глубиной  $H_T$  и поверхностью земли происходит сброс напряжений (разгрузка) за счет разрушения приповерхностных слоев, причем, вероятнее всего, способом изгиба. На графиках трещиноватости, после какого-то максимального значения, фиксируется резкое падение количества трещин (см. рис. 5.2). Глубину, где наблюдается максимальное количество трещин, можно обозначить как  $H_{TM}$  (глубина максимальной трещиноватости).

При интерпретации данных, в первую очередь, определяются глубины  $H_C$  и  $H_T$ . Проверка правильности производится с помощью соотношения  $\bar{H}_T \approx 0,5$ . Далее определяется глубина  $H_{\Pi}$  и рассчитывается  $\bar{H}_{\Pi}$ . На основании значения  $\bar{H}_{\Pi}$  рассчитывается значение параметра  $\lambda$ :

$$\lambda = (\bar{H}_{\Pi} - 1) / (\bar{H}_{\Pi} + 1). \quad (5.20)$$

Далее рассчитываются значения углов скола и внутреннего трения на основании уравнения (4.4) и пределы прочности массива на основании выражений (5.9) и (5.11).

Изложенная методика была проверена при определении геомеханических параметров конкретных объектов. Наиболее детальные гидрогеологические, инженерно-геологические и геомеханические исследования были выполнены в породных массивах Ново-Тошемского медноколчеданного месторождения и на месторождениях Краснотурьинского рудного района (В.П. Новиков и

др., 1986, 1990, 1995; Э.И. Афанасиади и др., 1996; А.Д. Сашурин и др., 1995). Анализ полученных результатов с использованием значительного объема разнообразных материалов позволяет считать, что изложенные зависимости правильно описывают инженерно-геологическое состояние породных массивов и позволяют определять достоверные значения геомеханических параметров.

В целом результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- Следует полагать, что приповерхностная часть литосферы является зоной хрупкой деформации земной коры. Напряженно-деформированное состояние этой зоны описывается линейным критерием предельного состояния. Аналитические зависимости, описывающие связь значений главных напряжений с глубиной от поверхности земли и геомеханическими параметрами массива, позволяют анализировать фактические данные и прогнозировать распределение значений главных напряжений в геологическом разрезе.

- Количественные показатели распределения массовых трещин предразрушения в зоне хрупкой деформации, по глубине от поверхности земли, подчиняются определенным закономерностям и зависят от геомеханических параметров массива. На основании данных о распределении открытых трещин по глубине, которые отражают интенсивность трещиноватости, а также, по возможности, учитывая элементы залегания трещин, можно рассчитывать параметры напряженно-деформированного состояния скальных массивов.

- Совокупность достоверных фактических материалов подтверждает правильность исходных теоретических положений. Разработанная на основе теоретических представлений методика расчета основных геомеханических характеристик, позволяет достаточно надежно оценивать значения параметров, определяющих напряженно – деформированное состояние породного массива.

#### Контрольные вопросы

1. Выражение ЛК ПНС для верхней части земной коры.
2. Связь главных напряжений с характерными глубинами.
3. Изменение главных напряжений по глубине.
4. Изменение трещиноватости по глубине в зоне хрупкой деформации земной коры.

5. Определение геомеханических параметров массива по данным изменения трещиноватости по глубине.

## **6. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СТРАТИФИКАЦИИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ**

Фильтрационные свойства скальных массивов определяются раскрытием и количеством, а также степенью взаимосвязи отдельных трещин. Трещиноватость формируется, главным образом, в результате силового воздействия на породные массивы. Скальные массивы, образовавшиеся в палеозое, по мнению ряда исследователей (Б.Е. Антыпко, 1986), давно утратили первичную пористость и трещиноватость. Раскрытие трещин, которые определяют современную проницаемость скальных массивов, произошло в относительно недавнее геологическое время, хотя образоваться они могли в различные геологические эпохи. Их объединяет наличие эффективного раскрытия, которое предопределяет проницаемость самих трещин и, соответственно, массива горных пород.

Раскрытие трещин поддерживается наличием выступов, своеобразных «подпорок», которые не позволяют трещинам сомкнуться. Трещины разного генезиса оказывают на процесс образования «подпорок» различное влияние. Механизм образования выступов заложен в генезисе трещин скола. При сдвиге относительно друг друга берегов трещин, происходит раскрытие тех участков трещин скола, которые образовались по микротрещинам отрыва. При существенном значении амплитуды сдвига, ступенчатый характер трещин скола предопределяет невозможность полного смыкания «берегов» трещин даже при изменении поля напряжений. Одновременно следует отметить, что при значительной величине сдвига возникает вероятность срезания выступов и растирание материала в очень мелкую фракцию. В этом случае трещина теряет проницаемость. Отсюда следует, что проницаемость трещин обеспечивается относительно небольшой величиной смещения берегов трещины относительно друг друга.

Наблюдения показывают, что большинство трещин, возникающих на различных этапах геологической жизни скального массива, заполняются (залечиваются) различными минеральными

образованиями. Кроме того, большинство пород обладают пластичными свойствами, которые при длительном силовом воздействии проявляются практически у всех литологических разновидностей. Наличие пластических свойств у большинства пород, предопределяет, в условиях напряженного состояния, относительно короткий период (в геологическом смысле), существование выступов, обеспечивающих раскрытие трещин.

Анализ указанных факторов приводит к выводу, что проницаемость скального массива поддерживается за счет постоянного обновления (активизации) существующих трещин и образования новых трещин. Активизация может затронуть трещины любого возраста и генезиса, которые являются поверхностями ослабления и имеют благоприятную ориентировку в существующем поле напряжений. В целом следует считать, что проницаемость в скальных массивах формируется и поддерживается за счет современных силовых воздействий, т.е. за счет тектонических напряжений.

Большую роль в формировании проницаемости скального массива играет взаимосвязь отдельных трещин. Трещины предразрушения, которые образуются в условиях предельно напряженного состояния, имеют относительно небольшую протяженность. Необходимо, чтобы количество их было достаточным для образования сети взаимосвязанных трещин. Очень важно, чтобы трещины обладали различной ориентировкой в пространстве, т.е. разными азимутами простирания и углами падения, или, как минимум – различными углами падения при одинаковом простирании. Различные азимуты простирания и углы падения обеспечивают пересечение плоскостей трещин и образование сети взаимосвязанных трещин.

Наряду с общим соответствием зоны приповерхностной трещиноватости (зоны хрупкой деформации) и приповерхностных водоносных образований, детальный анализ фактических материалов позволил выявить ряд особенностей и закономерностей, как в структуре трещиноватости, так и в фильтрационной стратификации скальных массивов. В целом выявилось сложное строение приповерхностной зоны трещиноватости. Хотя фильтрационные свойства связаны с открытыми трещинами, не следует предполагать наличие прямой связи между количеством открытых трещин и свойствами водоносных зон. Связь между указанными

характеристиками носит довольно сложный характер. Нередко можно наблюдать наличие обратной связи между интенсивностью трещиноватости и фильтрационными свойствами. Главная причина этого явления состоит в том, что водопроницаемость трещины определяется, главным образом, степенью ее раскрытия. Водопроницаемость зависит от кубической степени раскрытия. Например, если сравнивать одну и десять трещин, обладающих одинаковым суммарным раскрытием, то получим, что одиночная трещина обладает водопроницаемостью, в 100 раз превышающую суммарную водопроницаемость десяти трещин.

Опираясь на понятие деформации, следует представлять, что если деформация на определенном интервале глубин реализуется через образование одной или небольшого количества трещин, то этот интервал будет обладать относительно высокими фильтрационными свойствами. При формировании большого количества трещин, фильтрационные свойства будут заметно снижаться. Кроме количества трещин, большую роль играют относительно небольшие вариации раскрытия. При одинаковом количестве трещин, но при разнице раскрытия трещин в два раза, суммарная водопроницаемость будет отличаться почти на порядок (в восемь раз). Следовательно, если геомеханические условия каким-то образом будут способствовать даже небольшим вариациям раскрытия, то эффект может быть достаточно существенным. Эти закономерности необходимо учитывать при анализе фильтрационной стратификации скальных массивов.

При выделении отдельных подзон или слоев в приповерхностной зоне хрупкой деформации следует опираться, в первую очередь, на закономерности изменения трещиноватости по глубине, рассмотренные в предыдущей главе. Для обозначения (названия) отдельных слоёв можно использовать особенности напряжённого состояния (условных вертикальных напряжений) и трещиноватости.

Самую глубокую часть зоны хрупкой деформации занимает подзона условных сжимающих вертикальных напряжений. В подзоне сжимающих вертикальных напряжений развиваются трещины скола, которые обладают эффективным раскрытием. Поэтому здесь формируется водоносный горизонт, обладающий существенными фильтрационными свойствами и имеющий региональное распространение. Этот водоносный горизонт играет роль

регионального дренажа в горноскладчатых областях и, в значительной мере, определяет глубину зоны активного водообмена. Глубина расположения горизонта регионального дренирования варьирует в зависимости от геомеханических свойств горных пород, но для большинства литологических разностей скальных пород составляет, примерно, около трёхсот метров. Мощность этого водоносного горизонта обычно не превышает нескольких десятков метров (рис. 6.1, табл. 6.1).

Вблизи слоя условных нейтральных напряжений, количество трещин снижается. Снижение количества трещин приводит к значительному уменьшению фильтрационных свойств в некотором интервале глубин и определяет формирование относительно водоупорного горизонта. Мощность этого горизонта обычно составляет первые десятки метров.

Выше относительно водоупорного горизонта происходит постепенное нарастание фильтрационных свойств горных пород. Этот интервал разреза занимает несколько десятков метров. Фильтрационные свойства горных пород в этом интервале обычно несколько ниже, чем в водоносном горизонте регионально дренирования. Движение воды происходит по трещинам скола, и поэтому этот интервал разреза можно называть водоносным горизонтом сколовых трещин. В интервале глубин от  $H_H$  до  $H_T$  количество трещин, особенно пологих, заметно снижается. Это явление, механизм которого рассмотрен в предыдущих разделах, приводит к снижению фильтрационных свойств и формированию относительно водоупорного горизонта.

На определенной глубине ( $H_T$ ) растягивающие напряжения достигают значений, когда начинается формирование массовых трещин отрыва и, соответственно, общее количество трещин резко увеличивается. Переход от умеренной трещиноватости к более интенсивной хорошо фиксируется на графиках, отражающих количество трещин по интервалам глубин (см. рис. 6.1). Этот переход обычно наблюдается на глубинах  $80 \div 120$  м.

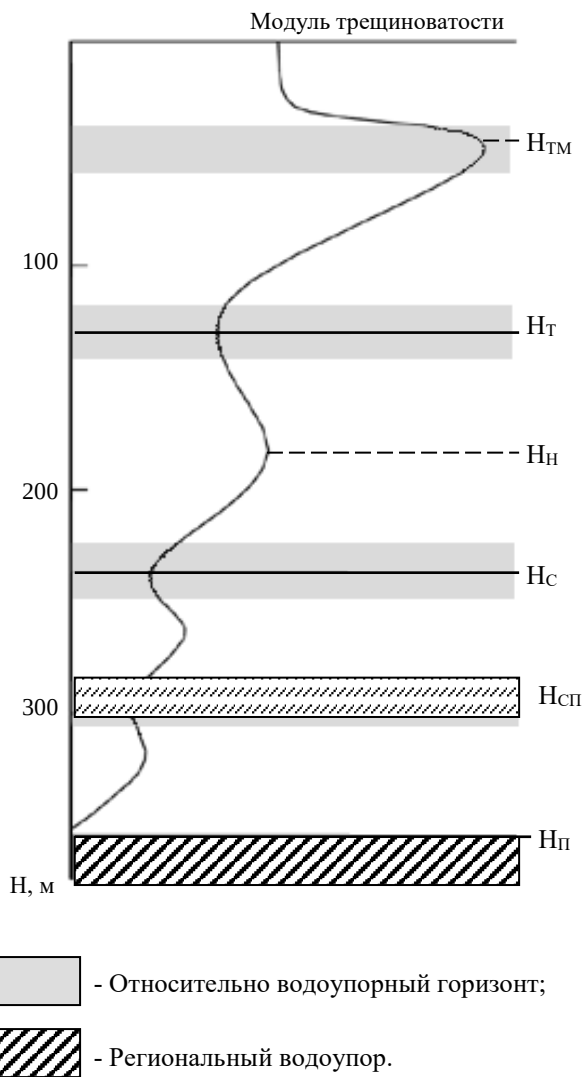


Рис. 6.1. Фильтрационная стратификация скальных массивов



Таблица 6.1

**Геомеханическое состояние и фильтрационная стратификация  
приповерхностной части скальных массивов**

| Особенности деформирования | Особенности напряженного состояния                  | Фильтрационная стратификация                  | Примерная мощность, м | Примерная глубина до подошвы, м |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Зона хрупкой деформации    | Зона разгрузки                                      | Водоносный горизонт зоны разгрузки            | 50                    | 50                              |
|                            | Зона условных вертикальных растягивающих напряжений | Относительно водоупорный горизонт             | 10                    | 60                              |
|                            |                                                     | Водоносный горизонт трещин отрыва             | 40                    | 100                             |
|                            |                                                     | Относительно водоупорный горизонт             | 20                    | 120                             |
|                            |                                                     | Водоносный горизонт трещин скола              | 60                    | 180                             |
|                            | Слой условных нейтральных вертикальных напряжений   | Относительно водоупорный горизонт             | 40                    | 220                             |
|                            | Зона условных вертикальных сжимающих напряжений     | Водоносный горизонт зоны сжимающих напряжений | 80                    | 300                             |
|                            |                                                     | Относительно водоупорный горизонт             | 80                    | 380                             |
| Зона переходной деформации |                                                     | Региональный водоупорный горизонт             |                       |                                 |

Увеличение количества трещин наблюдается примерно до глубины 50 м, иногда – практически до поверхности земли. В этом интервале глубин развиваются одновременно трещины отрыва и скола, но его особенности связаны с образованием трещин отрыва. Поэтому этот водоносный горизонт можно называть горизонтом трещин отрыва.

Значительное увеличение количества трещин не сопровождается таким же существенным увеличением фильтрационных свойств горных пород в рассматриваемом интервале глубин. Хотя нарастание значений фильтрационных показателей по направлению к поверхности земли продолжается, но скорость этого возрастания даже несколько замедляется (по сравнению с горизонтом сколовых трещин). В верхней части горизонта трещин отрыва обычно фиксируется интервал глубин, который следует рассматривать как относительно водоупорный горизонт. Мощность относительно водоупорного слоя составляет примерно десять метров. Средняя глубина его расположения составляет около 50 метров.

Формирование относительно водоупорного горизонта определяется несколькими взаимосвязанными причинами. Резкое увеличение количества трещин влечет уменьшение их раскрытия, и соответственно, приводит к значительному уменьшению суммарной водопроницаемости в этом интервале глубин. Кроме того, выше водоупорного горизонта происходит разгрузка напряжений, и можно предполагать, что здесь возникает зона псевдопластических деформаций.

Зона разгрузки фиксируется резким падением количества трещин и не менее значительным увеличением фильтрационных показателей. Существенное возрастание водопроницаемости связано с фактическим нарушением сплошности массива и увеличением раскрытия трещин в условиях относительно низких значений вертикальных сжимающих напряжений.

Таким образом, в горноскладчатых областях, находящихся в напряженном состоянии, вблизи поверхности земли формируется зона хрупкой деформации скальных горных пород. Развитие допредельных массовых трещин, возникающих в зоне хрупкой деформации, определяет формирование системы водоносных и относительно водоупорных горизонтов, имеющих региональное распространение.

Фильтрационные свойства скальных пород определяются наличием открытых трещин, а степень раскрытия трещин зависит от

деформации, которую испытывает породный массив. Связь деформации и водопроницаемости позволяет использовать аналитические зависимости для расчетов значений раскрытия трещин и модуля деформации. Последовательность выполнения расчетов можно принять следующей.

Для определенного интервала глубин ( $\Delta H$ ) известны значения водопроницаемости ( $\Delta T$ ), количество открытых трещин ( $n_{TR}$ ) и изменение напряжений в вертикальном направлении ( $\Delta \sigma_3$ ). Опираясь на известное уравнение Буссинеска, связывающее водопроницаемость трещины ( $T_{TR}$ ) и ее раскрытие ( $v_{TR}$ ), определяется среднее раскрытие трещин интервала глубин:

$$v_{TR} = \sqrt[3]{12vT_{TR}/g}, \quad (6.1)$$

$$T_{TR} = \Delta T/n_{TR}, \quad (6.2)$$

где  $v$  – коэффициент кинематической вязкости воды ( $v = 0,13 \text{ м}^2/\text{сут.}$ );

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2 = 7,32 \cdot 10^{10} \text{ м/сут.}^2$ ).

Далее рассчитывается относительная деформация массива в вертикальном направлении ( $\epsilon_3$ ):

$$\Delta e = v_{TR} \cdot n_{TR}; \quad (6.3)$$

$$\Delta \epsilon_3 = \Delta e / \Delta H. \quad (6.4)$$

Значение  $\Delta \sigma_3$  определяется с помощью уравнения:

$$\Delta \sigma_3 = \lambda R_C / 2 \cdot \Delta H / H_C = \lambda R_C \cdot \Delta H / 2H_C. \quad (6.5)$$

Располагая значениями  $\Delta \epsilon_3$  и  $\Delta \sigma_3$ , можно определить величину модуля деформации на рассматриваемом интервале:

$$E = \Delta \sigma_3 / \Delta \epsilon_3. \quad (6.6)$$

Следует отметить, что предлагаемая методика расчетов позволяет производить не только оценку модуля деформации, опираясь на фильтрационные свойства, но и наоборот, предварительно оценивать водопроницаемость отдельных интервалов разреза, исходя из геомеханических параметров породного массива.

Анализ фильтрационной стратификации скальных массивов был выполнен на ряде объектов. Практически во всех случаях подтвердились изложенные закономерности. Детально обработаны данные, представленные в отчете по Ново-Шемурскому месторождению (1986). Наряду с подтверждением теоретических представлений, были выявлены ряд интересных закономерностей.

Например, значения водопроницаемости единичной трещины варьируют в относительно узких пределах. В большинстве интервалов значение водопроницаемости единичной трещины сохраняется практически постоянным и составляет около  $0,1 \text{ м}^2/\text{сут.}$  Очень устойчивые значения характерны для расчетного раскрытия единичной трещины. Для большинства интервалов значение этого параметра сохраняется постоянным и составляют в среднем  $1,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ , т.е. немного больше  $0,1 \text{ мм}$ .

Опираясь на расчетные значения раскрытия трещин, определены поинтервальные значения модуля деформации. Модуль несколько уменьшается от нижних к верхним интервалам, составляя, в среднем,  $6,5 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ . Полученные в результате расчетов, значения модуля деформации не противостоят значениям, которые характерны для близких, по своему литологическому составу, массивов горных пород (Н.П. Влох, 1994). Можно считать, что предлагаемая расчетная модель, определяющая связь фильтрационных и деформационных параметров, достаточно достоверна и может использоваться в различных целях при изучении и использовании геологической среды.

Изучение массивов карбонатных пород занимает особое место при решении любых гидрогеологических задач. Кроме трещиноватости, в этих массивах практически всегда развиваются карстовые процессы, которые резко увеличивают фильтрационные свойства и оказывают существенное влияние на фильтрационную структуру карбонатного массива. Развиваясь по трещинам, карстовые процессы могут заметно изменять исходную, трещинную в своей основе, фильтрационную стратификацию. Хорошие материалы, позволяющие выполнить детальный гидрогеомеханический анализ, представлены в ряде работ.

Анализ имеющихся материалов по Воронцовскому и Светлинскому золоторудным месторождениям (Э.И. Афанасиади, 1996; В.П. Новиков, 1992) показывает, что фильтрационная стратификация закарстованных известняков примерно соответствует фильтрационной структуре скальных массивов изверженных пород. Достаточно хорошо выделяются водоносные горизонты зон разгрузки, трещин отрыва, трещин скола, зоны сжимающих напряжений.

Детальный анализ фильтрационной структуры массивов известняков показывает, что в ряде случаев относительно водоупорные горизонты выражены слабее, чем в массивах изверженных пород. Это

подтверждает, что карстовые процессы оказывают существенное влияние на формирование фильтрационной стратификации карбонатных массивов. Одновременно следует отметить, что карст развивается подчиняясь исходной трещинной структуре массива. Таким образом, можно считать, что развитие карстовых процессов в значительной степени определяется напряженно-деформируемым состоянием конкретного карбонатного массива.

Таким образом, анализ результатов обработки фактических данных по ряду месторождений Урала позволяет сделать следующие выводы:

- Сеть массовых трещин предразрушения зоны хрупкой деформации земной коры формирует водоносный комплекс приповерхностной трещиноватости, а геомеханические закономерности развития трещин по глубине предопределяют фильтрационную стратификацию водоносного комплекса.

- Особенности изменения характеристик открытых трещин по глубине определяют закономерную фильтрационную стратификацию скального массива. В гидрогеологическом разрезе наблюдается чередование проницаемых и относительно водоупорных зон, которое связано с напряженно-деформированным состоянием массива.

- Аналитические зависимости, определяющие связь фильтрационных параметров и характеристик напряженно-деформированного состояния массива, позволяют производить оценку деформационных характеристик массива, а также прогнозировать фильтрационные свойства отдельных интервалов разреза.

- В массивах карстующихся пород сохраняются основные закономерности фильтрационной стратификации скальных массивов. Относительно водоупорные горизонты контролируют развитие карста на глубину.

#### Контрольные вопросы

1. Основные закономерности формирования фильтрационных свойств скальных массивов.
2. Влияние количества трещин на водопроводимость определённого интервала разреза.
3. Геомеханическое состояние и фильтрационная стратификация приповерхностной части скальных массивов.

4. Взаимосвязь геомеханических и фильтрационных параметров.
5. Особенности гидрогеомеханической стратификации карбонатных (карстующихся) массивов.

## **7. ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ОРИЕНТИРОВКОЙ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Одним из главных положений гидрогеомеханики является представление о том, что основное гидрогеологическое значение имеют тектонические структуры, испытывающие активизацию в современном поле напряжений. Данное положение можно расширить на те структуры, которые подвергались активизации в недавнее геологическое время. При этом понятия «современное поле напряжений», «недавнее геологическое время» можно трактовать достаточно свободно, опираясь, в первую очередь, на гидрогеомеханические характеристики конкретных структур. Исходя из этих представлений, необходимо рассмотреть взаимосвязь тектонических структур с полем напряжений, учитывая задачи гидрогеомеханики. Для решения поставленных задач основное значение имеют геолого-структурные методы анализа полей напряжений.

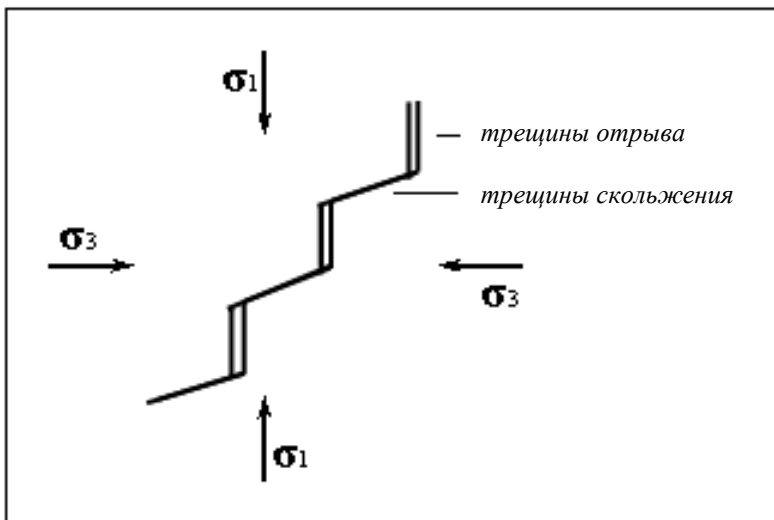
Геолого-структурные методы определения ориентировки осей главных напряжений базируются на изучении деформационных структур (складок, разломов, трещин). Методические приемы решения этой задачи разрабатывались многими учеными. Разработки, предложенные разными авторами, имеют определенные достоинства и недостатки, требуют творческого подхода применительно к конкретной геологической обстановке. Необходимо рассмотреть несколько дополнительных аспектов данной проблемы. Во-первых, следует различать тектонические структуры разрушения и предразрушения. Во-вторых, в породах наряду с трещинами отрыва и скола, развиваются трещины скольжения. Следует также отметить, что кроме механизмов хрупкой деформации, которые примерно одинаково реализуются в отдельных образцах пород и природных скальных

массивах, в земной коре наблюдаются специфические особенности процессов деформации.

Трещины, связанные с генезисом пород, за длительный период геологического существования неоднократно испытывали различные воздействия. Первичные свойства этих трещин давно утрачены и их обновление возможно только под воздействием относительно молодых полей напряжений. В целом следует считать, что массовые допредельные трещины образовались под влиянием относительно недавно существовавших, или существующих сейчас, силовых воздействий. В хрупких, обычно интрузивных породах трещины могут сохраняться значительно дольше, чем в относительно пластичных осадочных породах, например – в известняках. Вместе с тем, можно попытаться обозначить временные рамки для современных силовых трещин. Массовые трещины в массивах горных пород наблюдаются в интервале глубин от поверхности земли до 300÷400 м. Отсюда следует, что возраст этих трещин примерно соответствует возрасту современного рельефа.

Одновременно необходимо полагать, что за период образования рельефа могли происходить неоднократные изменения ориентировки главных напряжений. Новая структура поля напряжений генерировала образование новых систем трещин или обновляла те трещины, которые образовались ранее. Таким образом, в настоящее время могут наблюдаться системы трещин, которые связаны с различной ориентировкой осей главных напряжений.

Трещина скола представляет собой ступенчатую поверхность, состоящую из микротрещин отрыва и микротрещин скольжения. Последние образуют с осью главного максимального напряжения угол примерно 50÷70°. Следует предполагать, что большинство сдвиговых микротрещин образуется по поверхностям пластического скольжения, которые очень часто являются поверхностями ослабления прочности материала. Соотношение свойств хрупкости и пластичности в конкретном материале определяется отношением длин микротрещин отрыва и скольжения, и, как следствие, формирует угол скола. В хрупких породах угол скола составляет 25-30° (рис.7.1).





*Хрупкая среда*

*Хрупко-пластичная среда*

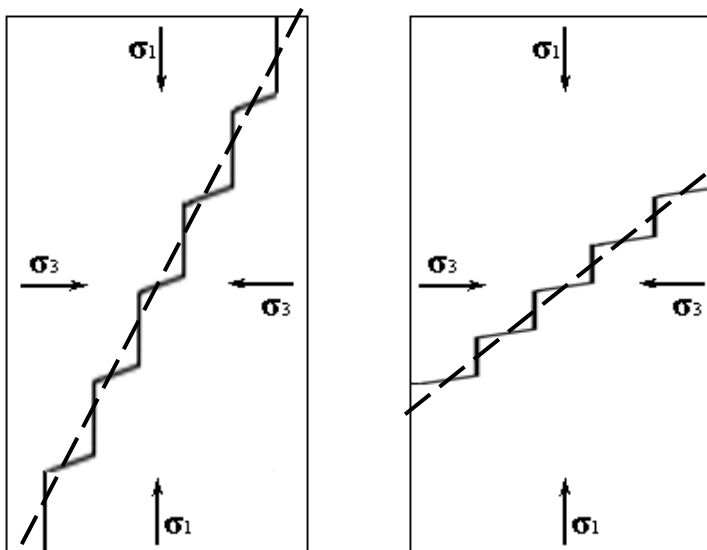


Рис. 7.1. Формирование скаловых трещин

В породах, обладающих пластичными свойствами, трещины отрыва играют подчиненную роль, и угол скола может приближаться к  $60\div 70^\circ$ . Материалы, имеющие промежуточные свойства, т.е. примерное равенство хрупких и пластичных свойств, образуют при скалывании угол около  $45^\circ$ , а протяженность микротрещин отрыва и скольжения существенно не отличается.

В целом необходимо отметить, что для хрупкого разрушения скальных горных пород всегда характерно образование массовых трещин предразрушения, которые чаще всего носят сколовый характер. Одновременно следует учитывать сложное, иерархическое строение массивов горных пород, а также значительную длительность геологических процессов. Значительная длительность процессов деформации способствует более широкому проявлению пластичных свойств горных пород. Поэтому, наряду с трещинами скола, существенное распространение получают трещины скольжения.

Разломы представляют собой укрупненную сколовую трещину, но это справедливо, главным образом, для «хрупких» разломов. По мере нарастания глубины происходит постепенный переход от «хрупких» разломов к «хрупко-пластичным». Хрупкое разрушение проявляется в форме маломощного шва, обычно имеющего признаки скольжения и ступенчатого строения. Зона дробления может отсутствовать или имеет малую мощность. Разлом, как правило, образует с осью максимального главного напряжения острый угол (менее  $45^\circ$ ). Признаками хрупко-пластичного разрушения являются значительная мощность зоны дробления, более высокая степень дисперсности заполнителя. Эти разломы обычно образуют с осью главного напряжения угол несколько больше  $45^\circ$ . Хрупко-пластичные разломы, образуясь на относительно больших глубинах, обладают более высоким рангом в иерархии тектонических нарушений. Эти разломы, зарождаясь на значительных глубинах, в зоне переходной деформации, пререзают так же и зону хрупкой деформации и, в благоприятных геодинамических условиях проявляют активность вблизи поверхности земли.

Отдельного рассмотрения требуют вопросы, связанные с ориентировкой разломов в пространстве. Направление тектонических движений определяется ориентировкой осей главных напряжений. Положение швов разломов относительно горизонтальной плоскости (субвертикальное или наклонное), предопределяется взаимной ролью

главных напряжений. Взаимная роль главных напряжений понимается как роль соотношения значений главных напряжений и их ориентировки в пространстве. Ось промежуточного напряжения ( $\sigma_2$ ) является главной кинематической осью, через которую проходят плоскости всех структур разрушения и предразрушения. Трещины разрыва (отрыва) лежат в плоскостях, которые параллельны плоскости, образуемой осями максимального ( $\sigma_1$ ) и промежуточного ( $\sigma_2$ ) напряжений, а также перпендикулярны оси  $\sigma_3$ . Плоскости трещин скола и скольжения параллельны оси  $\sigma_2$  и образуют определенные углы с осями  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ .

В большинстве горноскладчатых регионов ось  $\sigma_1$  имеет субгоризонтальную ориентировку. Поле напряжений формируется в результате взаимодействия тектонических и гравитационных сил. Вектор гравитационной силы ориентирован практически строго вертикально. Учитывая, что главные напряжения должны быть взаимно перпендикулярны, необходимо признавать, что вертикальное положение одного из главных векторов предопределяет горизонтальное положение двух других. Таким образом, при анализе полей напряжений следует опираться на представления о довольно строгой, горизонтальной и вертикальной, ориентировке осей главных напряжений.

Значение главного напряжения, ориентированного вертикально, формируется, в значительной степени, за счет веса столба горных пород. Соответственно, вертикальное главное напряжение имеет минимальное значение вблизи поверхности земли, и с глубиной постоянно увеличивается. Следует полагать, что на какой-то глубине вертикальное напряжение имеет значение, превышающее значение двух других главных напряжений. Таким образом, можно предположить, что вертикальное напряжение, от поверхности земли в глубину, последовательно играет роль минимального главного напряжения, промежуточного главного напряжения и максимального главного напряжения.

Изменение роли вертикального напряжения влечет изменение ориентировки структур разрушения и смену направлений тектонических подвижек по глубине, предопределяет формирование трех основных геодинамических этажей. Верхний этаж характеризуется вертикальной ориентировкой минимального главного напряжения и, соответственно, горизонтальным положением осей

максимального и промежуточного напряжений. В пределах этого этажа существуют условия для формирования структур разрушения типа надвигов или взбросов (рис. 7.2).

Средний (промежуточный) геодинамический этаж характеризуется промежуточным значением вертикального главного напряжения. Вертикальное положение главной кинематической оси предопределяет субвертикальное положение плоскостей разломов, которые формируются в пределах этого геодинамического этажа. Главные структуры разрушения являются сдвигами, но возможно, в благоприятных условиях, формирование и раздвигов. Структуры промежуточного геодинамического этажа формируются, преимущественно, в пластично-хрупкой среде. Соответственно угол, который образуют сдвиги с осью главного напряжения, несколько больше, чем значение угла характерного для хрупкого разрушения.

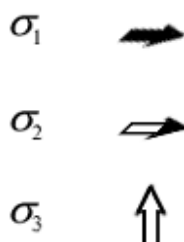
Нижний геодинамический этаж характеризуется вертикальным положением оси главного максимального напряжения. На участках сочленения крупных тектонических структур с различными градиентами вертикальных тектонических движений, могут образовываться разломы типа сбросов. Сочетание благоприятных условий может приводить к образованию горстов и грабенов. Тектонические структуры, связанные с вертикальными тектоническими движениями обычно имеют региональный характер и локализуются в определенных зонах.

Вблизи поверхности земли, в зоне разгрузки тектонических напряжений, напряжения в породном массиве формируются под действием веса горных пород. Здесь целесообразно выделять приповерхностный геодинамический этаж. Примерная мощность этажа составляет 50 м.

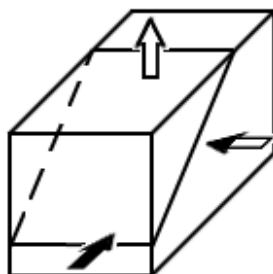
Положение границ между геодинамическими этажами по глубине, и, соответственно, мощность геодинамических этажей, примерно оценено по литературным и фактическим данным, а также по результатам теоретического анализа (рис. 7.3).

Генетическая связь видов тектонических структур с определёнными геодинамическими этажами соответствует классификации типов разломообразования, обоснованной в ряде работ (Е. Anderson, 1951; Л.А. Назарова, 1999). В основе этого соответствия лежат аналогичные представления о роли пространственной ориентировки главных напряжений.

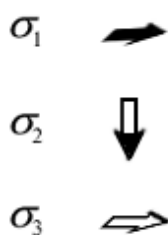
*Верхний геодинамический этаж*



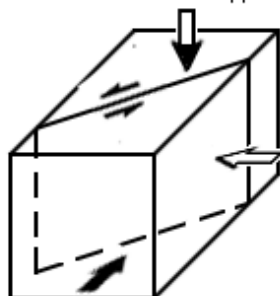
НАДВИГ



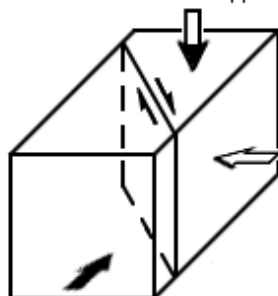
*Промежуточный (средний)  
геодинамический этаж*



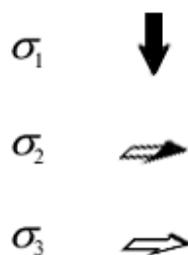
ЛЕВЫЙ СДВИГ



ПРАВЫЙ СДВИГ



*Нижний геодинамический этаж*



СБРОС

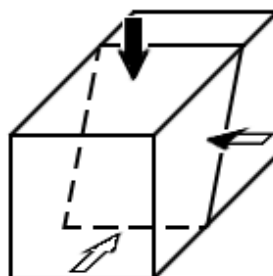


Рис. 7.2. Влияние напряженного состояния на структуру разломов

| Геодинамический этаж    | Оrientировка напряжений                                                           | Особенности напряженного состояния зоны                                                      | Примерная мощность, м | Основные структуры разрушения |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Приповерхностный        |  | Зона разгрузки тектонических напряжений<br>$\sigma_1 = \gamma H$                             | 50                    | Оползни                       |
| Верхний                 |  | $\sigma_3$  | 150                   | Надвиги, взбросы              |
|                         |                                                                                   | $\sigma_3$  | 500                   |                               |
| Средний (Промежуточный) |  | $\sigma_2 \approx \gamma H$                                                                  | 5000                  | Сдвиги                        |
| Нижний                  |  | $\sigma_1 = \gamma H$                                                                        | Не определена         | Сбросы                        |

#### Обозначение напряжений

| Максимальное сжимающее |                                                                                     | Промежуточное |                                                                                     | Минимальное |                                                                                     | Литостатическое |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $\sigma_1$             |  | $\sigma_2$    |  | $\sigma_3$  |  | $\gamma H$      |

| Вертикальное                                                                        |                                                                                     |                                                                                     | Горизонтальное                                                                      |                                                                                     |                                                                                     | Сжимающее                                                                                                                                                                                                                                                   | Растягивающее                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |    |    |

Рис. 7.3. Геодинамическая этажность земной коры

Разнообразие и иерархичность геологических структур создает предпосылки для разработки и применения достаточно разнообразных методических приемов, направленных на определение ориентировки осей главных напряжений.

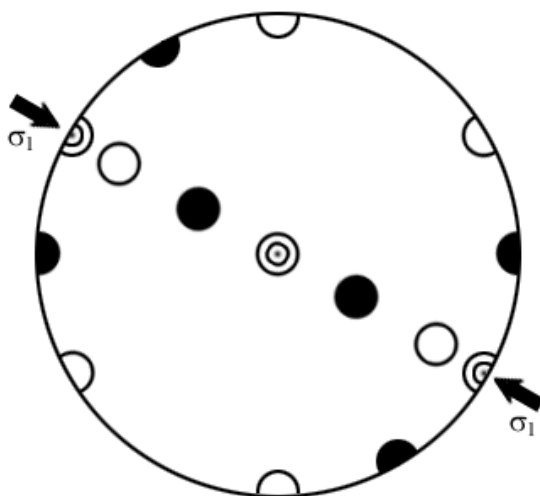
Массовые допредельные трещины, являясь структурами предразрушения, имеют широкое развитие в приповерхностной зоне хрупкой деформации. В зоне хрупкой деформации, расположенной в пределах верхнего геодинамического этажа, отражается, в первую очередь, поле напряжений этого этажа. В связи с горизонтальным положением осей главных напряжений, и вертикальной ориентацией минимального главного напряжения, здесь развиваются наклонные, реже субгоризонтальные трещины.

Субгоризонтальные трещины по генезису являются трещинами отрыва, а наклонные, преимущественно, трещинами скола. Первичная стадия образования трещин скола проявляется в возникновении трещин пластического скольжения, которые очень часто, на стадии предразрушения, имеют самостоятельное значение. Для этих трещин характерны углы падения примерно  $60\div 70^\circ$ . Для трещин скола, которые образуются в результате слияния микротрещин отрыва и скольжения, характерны углы падения  $25\div 35^\circ$ .

В связи с большой продолжительностью тектонических процессов, микротрещины пластического скольжения получают преимущественное развитие по сравнению с микротрещинами отрыва. В результате этого, трещины скола нередко имеют завышенные, по сравнению с теоретическими величинами, значения углов падения (до  $40-50^\circ$ ). Азимут падения трещин скола и скольжения совпадает с ориентировкой оси максимального главного напряжения.

На круговой диаграмме трещины отрыва, скола и скольжения образуют пояс трещин, совпадающий с направлением действия главного максимального напряжения. В случаях, когда хорошо выражены все системы трещин, генерация трещин верхнего геодинамического этажа состоит из пяти систем. Система трещин отрыва, имеющая субгоризонтальное залегание, должна занимать центральную часть диаграммы. Эта система трещин редко фиксируется при геологической документации. Относительно пологие трещины скола ( $25-45^\circ$ ) могут образовывать две системы. Крутые трещины скольжения ( $60-70^\circ$ ), также могут быть представлены двумя системами (рис.7.4).





Вертикальные системы трещин наносятся в азимутах простираания.

Наклонные системы трещин наносятся в азимутах падения.

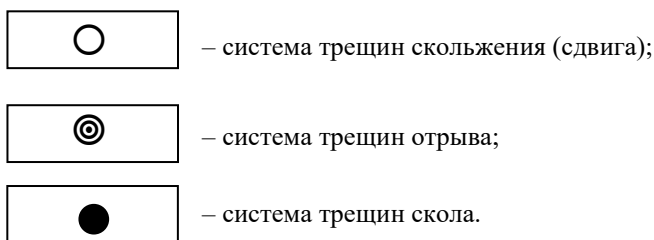


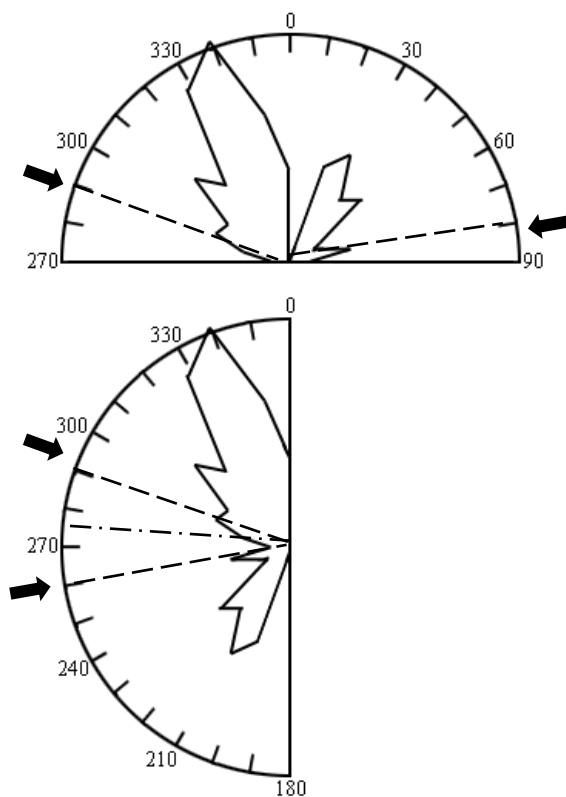
Рис. 7.4. Возможные системы трещин предразрушения в поле напряжений верхней части земной коры

В связи с иерархичностью строения верхней части земной коры, в зоне хрупкой деформации получают отражение тектонические деформации промежуточного геодинамического этажа. Вертикальное положение главной кинематической оси (оси главного промежуточного напряжения) предопределяет субвертикальное положение плоскостей всех генетических видов трещин связанных с этим этажом. В благоприятных условиях могут выявляться пять систем трещин. Эти системы трещин имеют тот же генезис и примерно те же угловые величины отклонения от плоскости  $\sigma_1\sigma_2$ , как и системы трещин генерации верхнего геодинамического этажа (рис. 7.5).

Главная особенность, которую необходимо учитывать при анализе субвертикальных трещин, состоит в том, что плоскость  $\sigma_1\sigma_2$ , совпадающая с положением плоскости трещин отрыва, соответствует простиранию оси максимального главного напряжения. Соответственно, для выполнения совместного анализа данных по наклонным и вертикальным трещинам, следует наносить системы вертикальных трещин в азимутах простирания, а наклонных – в азимутах падения (см. рис. 7.4).

Таким образом, опираясь на исходные теоретические положения, и используя дополнительные методические приемы, можно значительно повысить качество определения ориентировки осей главных напряжений по данным измерений трещиноватости.

Тектонические структуры разрушения (разломы) отражают воздействие тех полей напряжений, которые привели к их образованию. Поэтому положение в прстрансве разломов следует использовать для выявления ориентировки осей главных напряжений. Основная роль в решении этой задачи должна отводиться структурам разрушения верхнего геодинамического этажа – надвигам (взбросам). Ведущая роль надвигов в реконструкции полей напряжений объясняется двумя причинами. Во-первых, надвиги являются структурами верхнего геодинамического этажа, и глубина их развития ограничивается сотнями метров. С учетом непрерывной денудации, надвиг не может быть древним геологическим образованием, а может только наследовать элементы древних геологических структур. Следовательно, возраст надвига, как правило, не старше возраста основных элементов рельефа, и, соответственно, ориентировка надвига отражает воздействие молодых полей напряжений.



Интервал глубин 250 ÷ 400 м

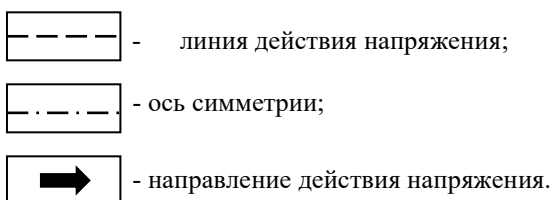


Рис. 7.5. Ориентировка субвертикальных трещин.

Ново-Тошемское медноколчеданное месторождение. Северный Урал

Во-вторых, простираение шва надвига должно быть практически строго перпендикулярно оси главного максимального напряжения, что значительно облегчает геометрические построения и интерпретацию результатов.

Изучение тектонических структур, генетически связанных с промежуточным геодинамическим этажом (сдвигов и раздвигов), имеет ряд особенностей. Единичный сдвиг для реконструкции полей напряжений требует применения угловой поправки, которая не может быть строго определена. Можно применять диапазон угловых поправок, например –  $30^\circ$  и  $45^\circ$ , но такой подход позволяет оценить только примерный азимут воздействия главного напряжения. Кроме того, необходимо знать кинематику движения, т.е. знак движения (левый или правый).

Значение угловой поправки для оценки ориентировки максимального главного напряжения следует принимать, исходя из мощности разлома. Для маломощных сдвигов среднее значение угловой поправки можно принимать  $30^\circ$ - $40^\circ$ , а для зон смятия и расланцевания – около  $60^\circ$ . Совместный анализ сдвигов и надвигов повышает достоверность определения ориентировки главных напряжений.

При развитии трещин в современном поле напряжений наследуются ослабленные зоны и поверхности, связанные с генезисом горных пород и общей геологической структурой (включая тектонические нарушения) породного массива. Чаще всего будут наследоваться только те ослабленные поверхности, которые имеют ориентацию достаточно близкую к благоприятным направлениям и плоскостям. Благоприятными плоскостями следует считать такие, которые диктуются современным полем напряжений.

В зависимости от свойств породного массива, он может иметь «короткую» или достаточно «длинную» геологическую память, т.е. сохранять в современном поле напряжений открытые трещины, связанные с другими силовыми воздействиями. Следует также ожидать, что если массив горных пород находится в условиях напряженного состояния, реакция на силовое воздействие будет происходить практически всегда. Современные силовые трещины будут всегда фиксироваться при внимательном изучении породного массива, а наследственные трещины будут менять свои характеристики в зависимости от своей ориентировки и свойств горных пород.

На ряде геологических объектов, упомянутых в предыдущих разделах, была определена ориентировка осей главных напряжений. Сравнительный анализ данных прямых измерений ориентировки осей напряжений, выполненных специалистами ИГД УрО РАН в породных массивах Краснотурьинского рудного района, с результатами определений с помощью предлагаемых в данной работе методических приемов, показал хорошее соответствие.

В целом можно сделать следующие выводы:

- При анализе тектонических структур необходимо учитывать различия в механизме образования структур предразрушения (массовых трещин) и структур разрушения (разломов). При образовании трещин большую роль могут играть процессы, связанные с этапом пластической деформации.

- В земной коре существуют четыре геодинамических этажа, которые различаются пространственной ориентировкой главных нормальных напряжений. Ориентировка главных напряжений предопределяет формирование различных видов тектонических структур, которые отличаются по направлениям тектонических движений.

- Реологическая расслоенность земной коры, которая выражается в наличии, в вертикальном разрезе, зон хрупкой, пластично-хрупкой, хрупко-пластической и пластичной деформации отражается в морфологии тектонических структур в зависимости от глубины их заложения.

- В качестве главных теоретических положений, определяющих основные методические подходы к анализу тектонических структур, следует рассматривать закономерности процесса деформации, строгую ориентировку осей главных напряжений относительно горизонтальной плоскости, наличие геодинамических этажей и их иерархическую подчиненность.

- В качестве основного методического приема позволяющего достаточно достоверно оценивать ориентировку оси главного максимального напряжения по данным изучения трещиноватости, следует применять нанесенные на круговую диаграмму залегания наклонных трещин в азимутах падения, а субвертикальных трещин – в азимутах простирания.

- Основными тектоническими структурами, позволяющими определить ориентировку осей напряжений в современную

геологическую эпоху, являются надвиги (взбросы). Простираение этих структур ориентировано перпендикулярно направлению оси максимального главного напряжения.

- В процессе анализа данных, отражающих ориентировку трещин и разломов, следует внимательно анализировать степень влияния древних геологических структур на ориентировку открытых трещин и разломов.

- Анализ трещиноватости позволяет определить основные направления действия главного максимального напряжения и разделить главные и вспомогательные направления. Отсутствие субвертикальных трещин, относящихся к определенному направлению, позволяет связывать данное направление с особенностями поля напряжений верхнего геодинамического этажа. Полученные угловые соотношения между трещинами отрыва, скола и скольжения, хорошо соответствуют теоретическим представлениям.

#### Контрольные вопросы

1. Обоснование необходимости изучения ориентировки главных напряжений при решении гидрогеомеханических задач.
2. Особенности гидрогеомеханического подхода при анализе полей напряжений.
3. Угловые соотношения плоскостей трещин и разломов с осями главных напряжений.
4. Ориентировка осей главных напряжений относительно горизонтальной плоскости.
5. Геодинамическая этажность земной коры.
6. Методика использования данных по трещиноватости при анализе полей напряжений.
7. Методика использования ориентировки разломов при анализе полей напряжений.

## **8. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

Гидрогеологические свойства скальных массивов в значительной степени определяются наличием и свойствами тектонических нарушений. Обводненные разломы представляют собой

самостоятельные гидрогеологические структуры, которые нередко относительно слабо связаны со свойствами породного массива. Несмотря на относительную самостоятельность фильтрационных свойств тектонических нарушений от литологического состава вмещающих пород, физико-механические характеристики и степень растворимости горных пород оказывают значительное влияние на формирование гидрогеологических свойств разломов. Степень раскрытия и проницаемость нарушений в более хрупких породах обычно более значительны, чем в пластичных, а разломы в карстующихся породах бывают весьма водообильны. Многими авторами признается большое значение неотектонической активизации разломов, но фильтрационная структура разломов, а также роль их ориентировки в поле современных напряжений практически не оценивается. Необходимо рассмотреть основные закономерности, определяющие гидрогеологические свойства тектонических нарушений.

Факторы, которые определяют гидрогеологические свойства и фильтрационную структуру разломов, следует разделить на две группы. В первую группу можно включить геологические факторы, а ко второй отнести геомеханические факторы. Указанное деление носит довольно условный характер, т.к. геологические и геомеханические факторы очень тесно связаны. Несмотря на условность предлагаемого деления, оно позволяет глубже разобраться в рассматриваемой проблеме.

Среди геологических факторов необходимо отметить литологический состав пород, возраст разлома, степень неотектонической активизации разлома, амплитуду относительного смещения берегов разлома и отражение разлома на геологических картах. Литологический состав пород определяет, какие процессы будут развиваться в зоне разлома по тектоническим трещинам. Карст, в карбонатных породах, увеличивает фильтрационные свойства разломов. Мелкодисперсные, глинистые разности пород, которые образуются в результате выветривания и тектонических процессов, кольматируют трещины. Более пластичные породы склонны «залечивать» трещины, а хрупкие, жесткие литологические разности, наоборот, будут достаточно долго сохранять раскрытие трещин.

Большинство горных пород подвержено, в течение длительных промежутков времени, пластическому деформированию. Поэтому

относительно молодые разломы должны иметь более высокие фильтрационные свойства. Но первичный возраст разлома может не иметь решающей роли, т.к. в процессе геологической истории тектонические нарушения могут подвергаться многократному подновлению. Вероятнее всего, что преимущество, с гидрогеологических позиций, получают те разломы, которые активны сейчас или были активны в недавнее геологическое время.

Степень относительного смещения берегов тектонических нарушений должна определять уровень дробления материала, заполняющего шов разлома. Большое смещение геологических границ обычно предопределяет высокую степень дробления в зоне тектонического шва, и, нередко, глинистый (водоупорный) характер заполнителя. Отсутствие смещения по разлому чаще всего связано с хрупким типом деформации и относительно молодым возрастом разлома. Соответственно, эти разломы могут обладать высокими фильтрационными свойствами. Необходимо отметить, что молодые разломы, которые не отличаются выраженным смещением берегов, очень часто не отражаются на геологических картах. Поэтому для выявления водоносных зон, связанных с такими разломами, следует использовать специальные методы. Хорошие результаты дает применение геоморфологического анализа и геофизических методов.

В группу геомеханических факторов можно включить следующие показатели: физический механизм формирования проницаемых зон; связь процессов активизации и образования новых разломов с современным полем напряжений; вид деформации в зоне разлома (хрупкая, переходная, пластичная); строение (структура) тектонической зоны; гидрогеомеханические особенности различных типов разломов (сдвигов, надвигов).

Тектонический шов в большинстве тектонических структур является укрупненной сколовой трещиной, которая объединяет трещины отрыва и скольжения, которые, в свою очередь, могут по размерам составлять несколько иерархических уровней. Тектонический шов (сколовая трещина) имеет ступенчатое строение. Смещение берегов в начальной стадии происходит за счет относительно сдвига противоположных берегов разлома по трещинам скольжения. При этом происходит раскрытие трещин отрыва.

На начальной стадии образования разлома смещение берегов относительно друг друга практически отсутствует. Поэтому разломы,



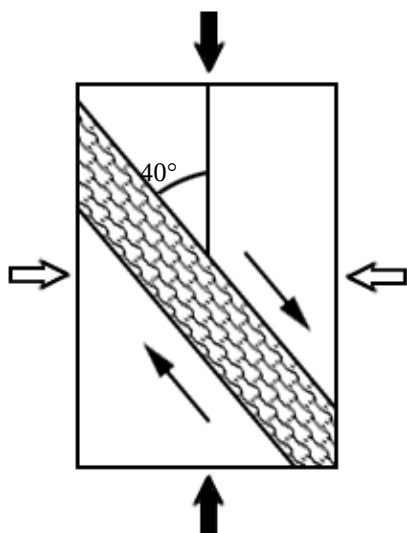
которые находятся на этой стадии развития, очень часто не отражаются на геологических картах. Тектонический шов может иметь в этих случаях прерывистую структуру участков повышенной проницаемости.

Следующая стадия развития разломов наблюдается в тех случаях, когда амплитуда смещения превышает размер «ступеньки». При этом ступенчатая поверхность одного берега должна как бы прыгать и тереться по ступенчатой поверхности противоположного берега разлома. В этих случаях, чаще всего, силы трения превышают прочность «ступенек». Происходит разрушение выступов на ступенчатой поверхности. При дальнейшем смещении обломки нередко выполняют вращательное движение, и в зоне тектонического шва степень раздробленности заполнителя нарастает.

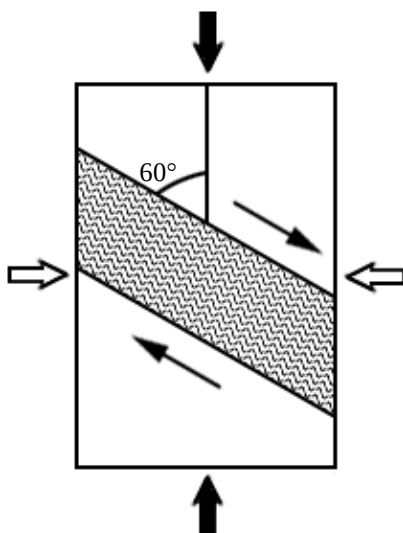
Мощность тектонического шва, заполненного раздробленными обломками пород, зависит от многих факторов, которые определяют размер «ступенек». При прочих равных условиях, чем выше пластичность пород, вмещающих разлом, тем больше мощность тектонической зоны. При умеренной амплитуде смещения, когда заполнитель шва находится на стадиях растрескивания крупных глыб или представляет собой тектоническую брекчию, зона разлома обладает высокими фильтрационными свойствами и является водоносной зоной.

При значительной амплитуде смещения берегов разлома степень дисперсности заполнителя тектонического шва может быть очень высокой и приближаться по своим свойствам к водоупорным породам. В этих случаях зона разлома будет представлять линейную водоупорную зону (рис. 8.1).

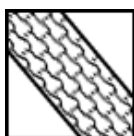
Независимо от степени раздробленности, высокая проницаемость водоносных зон не может сохраняться длительное время (в геологическом смысле). В результате кольтматации, физико-химических явлений и развития пластических деформаций будет происходить снижение фильтрационных свойств зоны разлома.



Пластично-хрупкая деформация



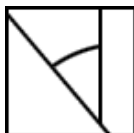
Хрупко-пластичная деформация



— водоносная зона;



— водоупорная зона;



— значение угла скола.

Рис. 8.1. Влияние типа деформации на проницаемость разлома

Следует считать, что без периодической активизации, которая должна выражаться в новых движениях по разлому, высокая проницаемость сохраняться не будет. Отсюда следует, что основное гидрогеологическое значение должны иметь тектонические нарушения, которые активны в настоящее геологическое время. Потенциальную активность разломов можно оценить, анализируя его положение в поле современных напряжений.

При геомеханическом анализе гидрогеологической роли разломов, в качестве важного фактора выступает вид деформации, который проявляется при формировании тектонического нарушения. При преобладании процессов хрупкой деформации, тектонический шов имеет небольшую мощность и относительно невысокую общую проницаемость. Если при образовании разлома преобладают процессы пластического деформирования, зона тектонического шва имеет значительную мощность и в ней образуется полоса пластического смятия пород. Проницаемость зон пластического смятия также невелика.

Основное гидрогеологическое значение имеют швы разломов, в которых проявлялась переходная, как правило, пластично-хрупкая деформация. Для этих разломов характерна мощность в первые десятки метров. Характерный угол скола для этих разломов составляет в твердых породах 35–45°. Для тектонического шва «хрупких» разломов угол скола несколько меньше указанных значений, а мощность на порядок ниже. В зонах «хрупких» разломов большее значение имеют трещины оперения.

Пластичная разломная зона образует, как правило, более мощную полосу. Кроме того, в этом случае угол между разломом и осью максимального главного напряжения обычно составляет более 50° и может достигать 60°. Открытые трещины оперения могут отсутствовать или быть представлены значительно слабее, чем в тех разломах, где преобладает хрупкая деформация. На конкретных объектах прослеживается тесная корреляционная зависимость между мощностью разлома и углом, который шов разлома образует с осью главного напряжения.

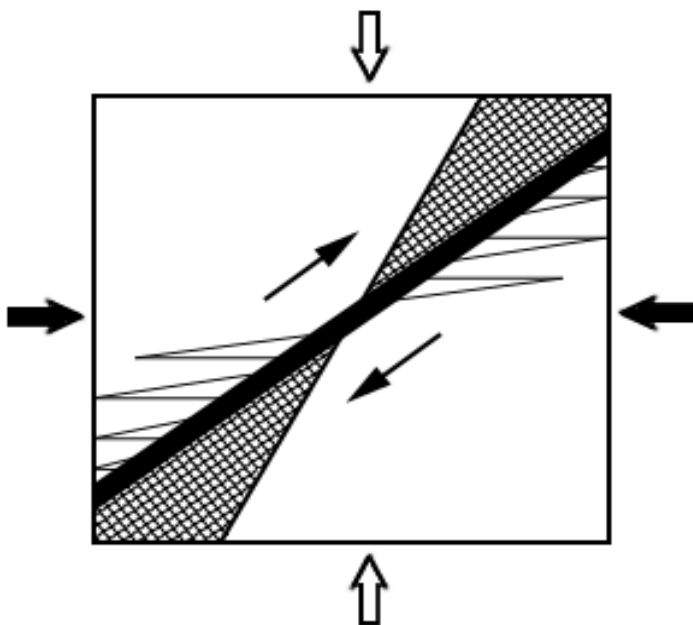
Зона породного массива, окружающего разлом, имеет довольно сложное строение. Кроме тектонического шва, важное гидрогеологическое значение имеют приразломные зоны, которые обладают характерной структурой и подчиняются определенным

геомеханическим закономерностям. В процесс деформации вовлекаются определенные участки скального массива, прилегающие к разлому. Подвижка по разлому в пределах породного блока формирует зоны относительного сжатия и растяжения. В зонах растяжения трещины оперения раскрываются и, соответственно, формируют зоны повышенной проницаемости. В зонах сжатия происходит противоположенный процесс. Сочетание процессов сжатия и растяжения предопределяет формирование вблизи разлома участков с различной проницаемостью (рис.8.2).

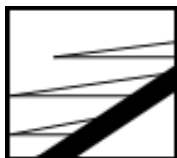
Наряду с общими геомеханическими и геологическими закономерностями формирования сдвигов и надвигов, эти типы разломов имеют существенные гидрогеологические особенности.

Надвиги, как правило, являются молодыми тектоническими образованиями, которые развиваются вблизи поверхности земли и, преимущественно, в зоне хрупкой деформации. Кроме тех особенностей, которые характерны для «хрупких» разломов, надвиги обладают особыми гидрогеологическими свойствами. Важное значение имеет зона повышенной трещиноватости, которая возникает перед фронтальной частью шва надвига. Возникновение этой зоны определяется развитием участка растягивающих деформаций. В нижней, глубинной части надвига также возникает зона растяжения. Приповерхностная зона трещиноватости имеет существенную ширину перед фронтом надвига и значительную мощность по глубине, которая может достигать ста и более метров.

Сдвиги, являясь структурами промежуточного геодинамического этажа, формируются в условиях, где развивается хрупко-пластичная или пластично-хрупкая деформация. Сдвиговой шов, как правило, имеет мощность от нескольких метров до первых сотен метров. Небольшая мощность обычно характерна для сдвигов, развивающихся в условиях преобладания хрупкой деформации. Значительная мощность сдвига обычно связана с преимущественным проявлением пластичной деформации. Важное гидрогеологическое значение должны иметь сдвиги, формирующиеся в условиях пластично-хрупкой деформации. Мощность этих разломов, примерно, составляет от первых десятков до ста метров. Сдвиговой шов образует с осью максимального главного напряжения угол в 35-45°.



— тектонический разлом и направление движения берегов;



— зона растяжения – зона высокой проницаемости;



— зона сжатия – зона низкой проницаемости.

Рис. 8.2. Структура проницаемости приразломных зон

Кроме геологических и геомеханических факторов, в формировании фильтрационной структуры скальных массивов нередко проявляются региональные закономерности. При выполнении гидрогеомеханического анализа на ряде месторождений полезных ископаемых, расположенных на Урале, были выявлены устойчивые особенности фильтрационной структуры породных массивов. Водоносные зоны, при сведении их ориентировки (простираения) на розу диаграмму, образуют до шести лучей. Угловой интервал между лучами имеет довольно постоянное значение и составляет в среднем  $30^\circ$  (рис. 8.3).

По степени выраженности выделяются пары коротких, средних и длинных лучей. Геомеханический анализ заставляет считать, что в формировании водоносных разломов принимают участие два направления действия максимального главного напряжения. Каждое направление формирует свою систему сдвигов и надвигов, в результате чего фильтрационная структура скальных массивов имеет довольно строгий геометрический рисунок. Дальнейшее изучение особенностей гидрогеологического строения скальных массивов позволит уточнить региональные гидрогеомеханические закономерности и установить возможность их распространения на другие регионы.

По результатам изучения гидрогеологической роли разломов, можно сделать следующие выводы:

- Основное гидрогеологическое значение должны иметь тектонические нарушения, которые активны в настоящее геологическое время. Потенциальную активность разломов можно оценить, анализируя его положение в поле современных напряжений. В свою очередь, ориентировка осей главных напряжений может быть определена на основании результатов изучения положения в пространстве тектонических нарушений и систем трещин.

- Основным процессом, определяющим приоткрывание тектонического шва и повышенную проницаемость разломов, является сдвиг берегов тектонических нарушений относительно друг друга. Поэтому основное гидрогеологическое значение имеют разломы сдвигового генезиса (сдвиги и надвиги). Раздвиги, чаще всего, входят в систему оперения сдвигов.



# Роза-диаграмма водоносных зон относительно оси симметрии



Кинематическая схема



Геодинамическая схема

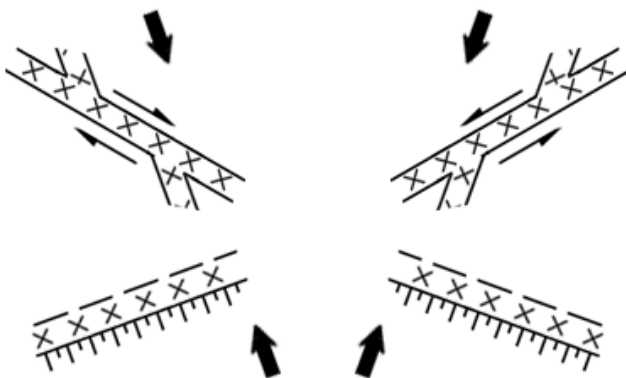


Рис. 8.3. Структура водоносных разломов в скальном массиве

- В зоне разлома, который формируется с преобладанием процесса хрупкой деформации, возникают участки сжатия и растяжения. В зонах сжатия проницаемость снижается, а в зонах растяжения, в связи с раскрытием трещин, фильтрационные свойства породного массива возрастают.

- Соотношение значений главных напряжений предопределяет, какой тип деформации (хрупкая или пластичная) будет преобладать при образовании разлома. Преобладание хрупкой деформации ведет к возникновению открытых трещин. Преобладание пластичной деформации может привести к образованию водоупорной зоны.

- Кроме геомеханических факторов, степень проницаемости пород в зоне разлома зависит от величины смещения по разлому, литологического состава пород, возраста разлома и ряда других факторов.

- Наряду с общими закономерностями, гидрогеологические свойства сдвигов и надвигов имеют существенные особенности. Надвиги, как правило, являются относительно молодыми и "хрупкими" разломами. Сдвиги могут иметь различный возраст и широкий диапазон деформационных и, соответственно, гидрогеологических характеристик.

- В плане и в разрезе разломы имеют особое гидрогеологическое строение, которое определяется структурой трещинного пространства и соотношением зон сжатия и растяжения. Строение водоносных зон проявляется в структурах рельефа.

#### Контрольные вопросы

1. Геологические факторы, влияющие на гидрогеологические свойства разломов.
2. Геомеханические факторы, определяющие свойства разломов.
3. Гидрогеомеханические особенности хрупких, пластично-хрупких и хрупко-пластичных разломов.
4. Строение и свойства приразломных зон.
5. Гидрогеомеханические особенности надвигов и сдвигов.
6. Гидрогеомеханические особенности фильтрационной структуры скальных массивов в Уральском регионе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное учебное пособие основано, главным образом, на опыте профессиональной работы и результатах научных исследований автора. В ходе выполненных исследований сформировались главные теоретические положения, основные задачи и предмет исследований нового научного направления на стыке гидрогеологии и инженерной геологии. В соответствии с выполненными ранее работами (В.А. Мироненко, В.М. Шестаков, 1974), данное научное направление получило название «Гидрогеомеханика скальных массивов».

Основным предметом гидрогеомеханики скальных массивов являются геомеханические процессы, происходящие под воздействием, главным образом, тектонических сил в условиях напряженно-деформированного состояния земной коры, и определяющие формирование фильтрационной структуры массивов горных пород.

Основной целью изучения дисциплины «Гидрогеомеханика» является формирование представлений о геологической среде как о саморегулирующейся геомеханической системе, находящейся в условиях естественного предельного равновесия. Наряду с реализацией основной цели дисциплины, предполагается достижение понимания единства наук и дисциплин, раскрывающих законы развития и поведения геологической среды, взаимообусловленность инженерно-геологических и гидрогеологических свойств массивов горных пород.

Отличительной особенностью гидрогеомеханики является детальный анализ геомеханических процессов, предшествующих разрушению и определяющих формирование массовых систем трещин в горных породах. Подземные воды рассматриваются в гидрогеомеханике в качестве универсального индикатора, позволяющего изучить как естественную, так и техногенную структуру скальных массивов.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мироненко В.А., Шестаков В.М.* Основы гидрогеомеханики. М.: Недра, 1974. – 296 с.
2. *Шестаков В.М.* Гидрогеомеханика: Учебное пособие. – М.: Из-во МГУ, 1998. – 72 с.
3. *Гудман Р.* Механика скальных пород. М.: Стройиздат, 1987. – 232 с.
4. *Влох Н.П.* Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. - 207 с.
5. *Крапивин В.Н.* Основы механики скальных пород. Учебное пособие. Л.: Из-во ЛГИ, 1989. – 97 с.
6. *Петухов И.М., Батугина И.М.* Геодинамика недр. – М.: Недра, 1996. - 217 с.
7. *Пиотровская Т.Ю.* Неотектонический анализ в инженерной геологии и при поисках полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. - 134 с.
8. *Ставрогин А.Н., Тарасов Б.Г.* Экспериментальная физика и механика горных пород. – СПб.: Наука, 2001. – 343 с.
9. *Степанов В.М.* Введение в структурную гидрогеологию. – М.: Недра, 1989. - 229 с.
10. *Шихин Ю.С.* Геологическое картирование и оценка рудоносности разрывных нарушений. – М.: Недра, 1992. – 229 с.

Сергей Николаевич Тагильцев

## ОСНОВЫ ГИДРОГЕОМЕХАНИКИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Учебное пособие по дисциплине «Гидрогеомеханика»  
для студентов специальности 21.05.02 специализации – «Поиски  
и разведка подземных вод и инженерно-геологические  
изыскания»

Корректura кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии

Оформление выполнено инженером Булатовой Н.С.,  
лаборантом Тагильцевым В.С.

Подписано в печать .02.2014 г.

Бумага писчая. Формат бумаги 60·84 1/16

Печ. л. 5.4. Уч.-изд.л. 4.75. Тираж 200 экз. Заказ №

Лаборатория педагогики  
620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет  
Лаборатория множительной техники

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ

### Б1.В.ДВ.01.01.05 МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЛЬТРАЦИИ И ГЕОМИ- ГРАЦИИ

Направление подготовки  
**05.04.01 Геология**

Направленность (профиль)  
**Гидрогеология**

год набора: 2026

Авторы: Рыбников П.А., к.г.-м.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

Гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии

(название кафедры)

Зав.кафедрой

(подпись)

Абатурова И.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 46 от 24.09.2025

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией  
факультета

Геологии и геофизики

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Вандышова К.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол №3 от 13.11.2025

(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                       | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....                       | 6  |
| ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ .....                 | 8  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ .....          | 9  |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ..... | 13 |
| ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ .....                           | 15 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....          | 16 |

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении – это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;



- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных заданий и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Инженерные изыскания для строительства» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче экзамена.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и ис-

следовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «*Моделирование геофильтрации и геомиграции*» являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим занятиям (в т.ч. вопросы для самопроверки);
- выполнение самостоятельного домашнего задания (практико-ориентированного задания (решение кейс-задач));
- подготовка к опросу;
- подготовка к экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

### **Тема 1. Общая методика проведения моделирования.**

1. Порядок выполнения моделирования: схематизация, создание модели, решение эпигнозных задач.
2. Принципы выделения стационарных и нестационарных периодов при решении обратных задач.
3. Калибрация модели по расходу и напору (уровням подземных вод).

### **Тема 2. Метод конечных разностей, сеточная дискретизация. История разработки и особенности программ использующих метод конечных разностей.**

1. Основы метода конечных разностей.
2. История разработки и особенности программ использующих метод конечных разностей.
3. Геометризация и сеточная разбивка модели.
4. Послойная организация модели.

### **Тема 3. Схематизация природных условий.**

1. Типы граничных условий потока подземных вод. I, II и III род
2. Какие реальные условия могут соответствовать ГУ I рода
3. Какие реальные условия могут соответствовать ГУ II рода
4. Какие реальные условия могут соответствовать ГУ III рода
5. Методы определения фильтрационных параметров и их точность

### **Тема 4. Аналитические и численно-аналитические методы моделирования геомиграции.**

1. Методы разделения переменных
2. Методы интегральных преобразований
3. Численно-аналитические методы решения геомиграции
4. Возможности численно-аналитических методов

### **Тема 5. Методы решения геомиграции на основе неортогональной дискретизации (МКЕ, МКО).**

1. Методы конечных элементов
2. Методы конечных объемов

### **Тема 6. Решение задач фильтрации переменной плотности.**

1. Решение задач фильтрации и массопереноса
2. Решение резкой границы раздела между жидкостями разной плотности

### **Тема 7. Решение задач фильтрации переменной плотности.**

1. Зона аэрации

2. Геомиграция через зону неполного насыщения
3. Влияние неоднородного строения зоны аэрации на миграцию

## **ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Общая методика проведения моделирования**

- порядок выполнения моделирования;
- создание модели;
- калибровка модели;
- прогнозные задачи.

### **Тема 2. Метод конечных разностей, сеточная дискретизация. История разработки и особенности программ использующих метод конечных разностей (МКР).**

- основы метода конечных разностей;
- граничные условия
- инфильтрационное питание.

### **Тема 3. Схематизация природных условий.**

- типы граничных условий потока подземных вод I рода;
- типы граничных условий потока подземных вод II рода;
- типы граничных условий потока подземных вод III рода;
- методы определения фильтрационных параметров.

### **Тема 4. Аналитические и численно-аналитические методы моделирования геомиграции.**

- разделение переменных
- интегральные преобразования
- численно-аналитические методы решения геомиграции

### **Тема 5. Методы решения геомиграции на основе неортогональной дискретизации (МКЕ, МКО).**

- методы конечных элементов
- методы конечных объемов (МКО).

### **Тема 6. Решение задач фильтрации переменной плотности.**

- решение задач фильтрации и массопереноса
- решение резкой границы раздела между жидкостями разной плотности

### **Тема 7. Решение задач геомиграции через зону аэрации.**

- зона аэрации
- геомиграция через зону неполного насыщения
- влияние неоднородного строения зоны аэрации на миграцию

## САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;
- перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамки официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);
- определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;
- при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;
- все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);
- если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;
- следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьезный,

кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познако-

миться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

- Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

- Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

- Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

- Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

- Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков,



вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис – это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта – основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование – наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

## ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что требует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;
2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;
3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;
- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;
- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;
- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

## ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Подготовка к опросу проводится в ходе самостоятельной работы студентов и включает в себя повторение пройденного материала по вопросам предстоящего опроса. Тема и вопросы к предстоящему опросу, вопросы для самоконтроля доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой. Для подготовки к устному опросу студенту необходимо ознакомиться с материалом, посвященным теме семинара, в учебнике или другой рекомендованной литературе, записях с лекционного занятия, обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины, выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам.

В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 3 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы. Опрос предполагает устный ответ студента на один основной и несколько дополнительных вопросов преподавателя. Ответ студента должен представлять собой развёрнутое, связанное, логически выстроенное сообщение.

При выставлении оценки преподаватель учитывает правильность ответа по содержанию, его последовательность, самостоятельность суждений и выводов, умение связывать теоретические положения с практикой, в том числе и с будущей профессиональной деятельностью.

## ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к экзамену по дисциплине «Моделирование геофильтрации и геомиграции» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Инженерные изыскания для строительства».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *экзамену* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
В.В. Зубов

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ

### Б1.В.ДВ.01.01.06 ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ

Направление подготовки

**05.04.01 Геология**

Направленность (профиль)

**Гидрогеология**

год набора: 2026

Авторы: Рыбников П.А., к.г.-м.н., доцент

Одобрена на заседании кафедры

Гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии

(название кафедры)

Зав.кафедрой

(подпись)

Абатурова И.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 46 от 24.09.2025

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией  
факультета

Геологии и геофизики

(название факультета)

Председатель

(подпись)

Вандышова К.В.

(Фамилия И.О.)

Протокол №3 от 13.11.2025

(Дата)

Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                       | 3  |
| ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....                       | 6  |
| ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ .....                 | 7  |
| САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ .....          | 9  |
| ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ..... | 13 |
| ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ .....                           | 15 |
| ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....          | 16 |

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении – это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;



- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных заданий и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Геофильтрационные расчеты» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче экзамена.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и ис-

следовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине *«Гео-фильтрационные расчеты»* являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим занятиям (в т.ч. вопросы для само-проверки);
- выполнение самостоятельного домашнего задания (практико-ориентированного задания (решение кейс-задач));
- подготовка к опросу;
- подготовка к экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

### **Тема 1. Основы геофильтрационных расчетов.**

1. Фильтрационные параметры.
2. Графоаналитические способы обработки.
3. Способы биссектрисы и линейной связи.
4. Аналитические способы обработки.
5. Решение задач в изображениях.
6. Решение вспомогательных гидрогеологических задач.

### **Тема 2. Взаимодействие подземных и поверхностных вод.**

1. Мгновенные изменения уровня.
2. Многоступенчатое или постепенное изменение уровня.
3. Периодические колебания уровня.
4. Влияние колебаний уровня в реке на откачку.
5. Оценка ущерба речному стоку.
6. Барражный эффект

### **Тема 3. Оценка водопритоков в открытые горные выработки.**

1. Приведенный радиус карьера.
2. Радиус влияния карьера.
3. Расчет водопритоков в карьер.

### **Тема 4. Вертикальные дренажи.**

1. Вертикальные дренажи.
2. Алгоритм построения решений для расчета водопритоков в вертикальные дренажи.

### **Тема 5. Горизонтальные дренажи.**

1. Напорные пласты.
2. Безнапорные пласты.
3. Напорно-безнапорные пласты.
4. Дрена в подошве/кровле водоносного пласта.
5. Дрена конечной длины.

### **Тема 6. Расчет подтопления.**

1. Локальная инфильтрация.
2. Инфильтрация в круговом водоносном пласте.
3. Инфильтрация в пласте-полосе.

## **ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Основы геофильтрационных расчетов**

- фильтрационные параметры (коэффициент фильтрации, проводимость, пьезопроводность, уровнепроводность, упругая емкость, водоотдача, параметр перетекания, сопротивление русла реки);
- преобразовании исходных аналитических зависимостей;
- использование индикаторных кривых;
- способ прямой линии, способ горизонтальной прямой линии, способ эталонной кривой;
- решение прямой и обратной задачи;
- решение задач в изображениях;
- решение вспомогательных гидрогеологических задач.

### **Тема 2. Взаимодействие подземных и поверхностных вод**

- мгновенное изменение уровня;
- базовые аналитические зависимости;
- многоступенчатое или постепенное изменение уровня;
- периодические колебания уровня;
- влияние колебаний уровня в реке на откачку;
- оценка ущерба речному стоку;
- барражный эффект.

### **Тема 3. Оценка водопритоков в открытые горные выработки**

- схематизации геологического разреза;
- задания границ фильтрационного потока;
- водоносный пласт;
- границы фильтрационного потока;
- граничные условия;
- расчет приведенного радиуса карьера;
- радиус влияния карьера;
- водоприток в карьер;
- водоносные пласты без перетекания;
- водоносные пласты с перетеканием;
- водопритоки в несовершенный карьер.

### **Тема 4. Вертикальные дренажи**

- вертикальные дренажи;
- расчет водопритоков в вертикальные дренажи;
- решение Тейса;
- приток;

- опытные и эксплуатационные скважины.

### **Тема 5. Горизонтальные дрены.**

- напорные пласты;
- коэффициент фильтрации;
- безнапорные пласты;
- зона питания и зона разгрузки;
- напорно-безнапорные пласты;
- дрена в подошве/кровле водоносного пласта;
- дрена конечной длины.

### **Тема 6. Расчет подтопления**

- локальная инфильтрация;
- прямоугольная площадь питания;
- неограниченный в плане водоносный пласт;
- полуограниченные в плане водоносные пласты;
- круговая площадь питания;
- полосообразная область питания;
- инфильтрация в круговом водоносном пласте;
- инфильтрация в пласте-полосе;
- пласт-полоса с границами I рода;
- пласт-полоса с границами I и II рода.

## САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;
- перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);
- определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;
- при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;
- все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);
- если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;
- следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьезный,

кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познако-

миться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

- Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

- Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

- Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

- Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

- Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков,



вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис – это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта – основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование – наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

## ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными заданиями понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;

- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что требует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;
2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;
3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;
- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;
- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;
- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

## ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Подготовка к опросу проводится в ходе самостоятельной работы студентов и включает в себя повторение пройденного материала по вопросам предстоящего опроса. Тема и вопросы к предстоящему опросу, вопросы для самоконтроля доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой. Для подготовки к устному опросу студенту необходимо ознакомиться с материалом, посвященным теме семинара, в учебнике или другой рекомендованной литературе, записях с лекционного занятия, обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины, выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам.

В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 3 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы. Опрос предполагает устный ответ студента на один основной и несколько дополнительных вопросов преподавателя. Ответ студента должен представлять собой развёрнутое, связанное, логически выстроенное сообщение.

При выставлении оценки преподаватель учитывает правильность ответа по содержанию, его последовательность, самостоятельность суждений и выводов, умение связывать теоретические положения с практикой, в том числе и с будущей профессиональной деятельностью.

## ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к экзамену по дисциплине «Геофильтрационные расчеты» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Инженерные изыскания для строительства».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *экзамену* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

Ю. А. Поленов  
А. Б. Макаров  
Я.А. Белковская  
Г. Г. Хасанова  
А. К. Трутнев

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ  
практикум к лабораторным занятиям  
с основами теории

Екатеринбург – 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....                                                 | 4  |
| <b>Раздел 1</b> .....                                                 | 5  |
| <b>ГЛАВНЕЙШИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ</b> .....                     | 5  |
| <b>1.1. Общие сведения</b> .....                                      | 5  |
| <b>1.2. Формы нахождения минералов в природе</b> .....                | 6  |
| 1.2.1. <i>Морфология кристаллов</i> .....                             | 6  |
| 1.2.2. <i>Минеральные агрегаты</i> .....                              | 7  |
| <b>1.3. Физические свойства минералов</b> .....                       | 8  |
| 1.3.1. <i>Оптические свойства</i> .....                               | 8  |
| 1.3.2. <i>Механические свойства</i> .....                             | 10 |
| 1.3.3. <i>Специфические свойства</i> .....                            | 13 |
| <b>1.4. Классификация минералов</b> .....                             | 13 |
| <b>1.5. Характеристика минералов</b> .....                            | 15 |
| 1.5.1. <i>Самородные элементы</i> .....                               | 15 |
| 1.5.2. <i>Сульфиды</i> .....                                          | 16 |
| 1.5.3. <i>Галогениды (галюиды)</i> .....                              | 16 |
| 1.5.4. <i>Оксиды и гидроксиды</i> .....                               | 17 |
| 1.5.5. <i>Карбонаты</i> .....                                         | 19 |
| 1.5.6. <i>Сульфаты</i> .....                                          | 19 |
| 1.5.7. <i>Фосфаты</i> .....                                           | 20 |
| 1.5.8. <i>Силикаты</i> .....                                          | 20 |
| <b>1.6. Методика определения и изучения минералов</b> .....           | 24 |
| <b>РАЗДЕЛ 2. ГЛАВНЕЙШИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ</b> .....                       | 25 |
| <b>2.1. Общие сведения</b> .....                                      | 25 |
| <b>2.2. Магматические горные породы</b> .....                         | 26 |
| 2.2.1. <i>Условия образования магматических горных пород</i> .....    | 26 |
| 2.2.2. <i>Структуры и текстуры магматических горных пород</i> .....   | 28 |
| 2.2.3. <i>Классификация магматических горных пород</i> .....          | 30 |
| 2.2.3. <i>Основные разновидности магматических горных пород</i> ..... | 33 |
| <b>2.2.3.1. Породы кислого состава</b> .....                          | 33 |
| <b>2.2.3.2. Средние породы</b> .....                                  | 35 |
| <b>2.2.3.3. Основные породы</b> .....                                 | 36 |
| <b>2.2.3.4. Ультраосновные породы</b> .....                           | 37 |

|                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.2.4 Методика изучения и описания магматических пород .....                        | 38         |
| <b>2.3 Метаморфические горные породы .....</b>                                      | <b>40</b>  |
| 2.3.1 Общие сведения о метаморфизме .....                                           | 40         |
| 2.3.2 Особенности минерального состава метаморфических горных пород .....           | 46         |
| 2.3.3 Текстуры и структуры метаморфических горных пород .....                       | 47         |
| 2.3.4 Главные разновидности метаморфических горных пород .....                      | 49         |
| 2.3.5 Определение метаморфических горных пород .....                                | 56         |
| <b>2.4 Осадочные горные породы .....</b>                                            | <b>57</b>  |
| 2.4.1 Образование осадочных горных пород (литогенез) .....                          | 57         |
| 2.4.2 Химический и минеральный составы осадочных пород .....                        | 59         |
| 2.4.3 Классификация осадочных горных пород .....                                    | 60         |
| 2.4.4 Текстуры и структуры осадочных горных пород .....                             | 61         |
| 2.4.5 Основные разновидности осадочных горных пород .....                           | 63         |
| 2.4.6 Методика и описание осадочных пород .....                                     | 69         |
| <b>РАЗДЕЛ 3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАЗРЕЗЫ .....</b>                                | <b>71</b>  |
| 3.1 Методы определения геологического возраста и .....                              | 71         |
| 3.2. Горный компас и работа с ним .....                                             | 75         |
| 3.2.1 Устройство горного компаса .....                                              | 75         |
| 3.2.2 Залегание горных пород и его элементы .....                                   | 76         |
| 3.2.3 Замеры элементов залегания слоя горным компасом .....                         | 76         |
| 3.3 Чтение геологических карт и методика построения разрезов .....                  | 77         |
| <b>РАЗДЕЛ 4. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ .....</b>                                          | <b>80</b>  |
| 4.1 Общие сведения .....                                                            | 80         |
| 4.2 Морфология рудных тел .....                                                     | 81         |
| 4.3 Исследование минерального состава, текстур и структур полезных ископаемых ..... | 84         |
| 4.3.1 Исследование минерального состава руд .....                                   | 84         |
| 4.3.2 Методика исследований .....                                                   | 86         |
| 4.3.3. Изучение текстур и структур руд .....                                        | 87         |
| 4.4. Классификация месторождений и их примеры .....                                 | 99         |
| <b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>                                        | <b>113</b> |



## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия по курсу «Общая геология» представляют важную часть в общем цикле геологических дисциплин. Эти занятия дают студентам возможность познакомиться с главнейшими пороодообразующими минералами и наиболее распространенными горными породами, с приемами их микроскопического определения, а также получить навыки работы с горным компасом при определении элементов залегания горных пород, чтение геологических карт и построение разрезов,

Выполнение лабораторных работ производится в три этапа. Вначале студенты знакомятся со свойствами минералов, их классификацией и диагностикой, пороодообразующими минералами и учатся распознавать их в составе горных пород. На втором этапе студенты получают навыки определения и описания магматических, метаморфических и осадочных горных пород. На третьем - студенты знакомятся с устройством горного компаса и получают представление о работе с ним, рассматривают основные геологические подразделения в рамках стратиграфической шкалы, выполняют построение геологических разрезов в рамках небольших геологических карт, отражающих основные (складчатые и разрывные) структуры.

Объем аудиторных лабораторных занятий не достаточен для получения навыков по определению горных пород и минералов, поэтому студенты обязаны самостоятельно заниматься с коллекциями на кафедре в пределах часов, предусмотренных рабочими программами дисциплин, а также знакомиться с обширными коллекциями Уральского геологического музея.

Изучение данной дисциплины было бы неполным без раздела «Полезные ископаемые», завершающего этот курс. На лабораторных работах студенты изучают главные рудные минералы, определяют и описывают текстурно-структурные особенности руд и знакомятся с генетической классификацией месторождений и наиболее значимыми месторождениями полезных ископаемых.

По каждой теме лабораторных занятий в пособии даны соответствующие методические рекомендации - как работать над выполнением раздела, на что обратить внимание и в каком виде оформлять его результаты.

## Раздел 1

# ГЛАВНЕЙШИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ

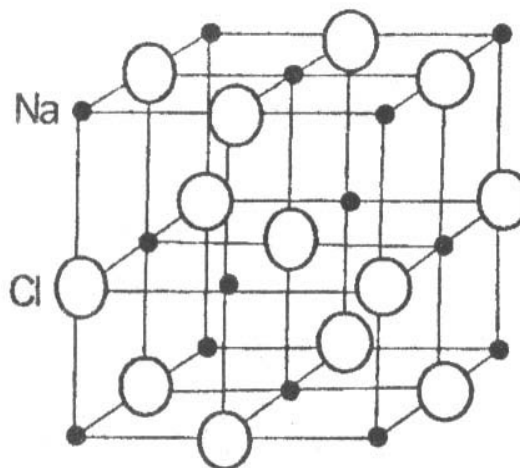
### 1.1. Общие сведения

Подавляющее большинство химических элементов образуют в земной коре простые или сложные соединения (исключения составляют инертные газы и некоторые самородные элементы).

**Минералы** – химические соединения, образовавшиеся в земной коре в результате природных геологических процессов и обладающие определенными химическим составом и физическими свойствами.

Каждый минерал обладает вполне определенным химическим составом и вполне определенной кристаллической структурой, т. е. закономерным расположением в пространстве элементарных частиц (атомов, ионов). Например, минерал галит (каменная соль) состоит из 39,4 % Na и 50,6 % Cl и имеет химическую формулу NaCl. Кристаллическая структура галита характеризуется поочередным расположением ионов  $\text{Na}^+$  и Cl в углах кубов (Рис. 1.1), где каждый ион хлора окружен шестью ионами натрия, и наоборот.

Рис. 1.1 Кристаллическая структура галита (NaCl)



В зависимости от особенностей химического состава и кристаллической структуры минералы образуют многогранники различной формы, называемые *кристаллами*. Эти же характеристики минералов (химический состав и кристаллическая структура) обуславливают их физические свойства. Иногда минералы имеют неупорядоченное строение, когда атомы и ионы располагаются беспорядочно, хаотично. Минералы с таким строением называют *аморфными*.

Образование минералов является результатом различных геологических процессов. По способу образования (источнику энергии) минералы могут быть объединены в две группы.

1. Минералы эндогенного генезиса, образующиеся за счет внутренней энергии Земли. Возникают в результате кристаллизации магмы и связанных с ней горячих газовых и водных растворов (гидротерм) на различных глубинах, а также путем преобразования минералов в условиях больших давлений и температур.

2. Минералы экзогенного генезиса, образующиеся за счет внешней (солнечной) энергии. Источником минералообразования являются разнообразные горные породы, вступающие во взаимодействие с атмосферой, гидросферой и биотой, давая начало формированию новых минералов.

Пути и способы образования минералов разнообразны. Они могут быть следствием: 1) кристаллизации огненно-жидкого силикатного расплава (магмы); 2) кристаллизации из горячих минерализованных растворов (гидротерм); 3) отложения кристаллического вещества из газообразных продуктов возгонов; 4) перекристаллизации минералов и горных пород; 5) образования новых минералов за счет разрушения ранее созданных.

## 1.2 Формы нахождения минералов в природе

В природе минералы встречаются в виде отдельных хорошо образованных кристаллов либо в виде скоплений неправильной формы зерен (агрегатов).

### 1.2.1. Морфология кристаллов

Среди минералов выделяют три группы, обладающие характерным обликом, или габитусом, кристаллов.

*Изометричные* – формы, имеющие близкие размеры во всех направлениях. Примером могут служить кубы пирита, галенита, октаэдры магнетита, ромбоэдры кальцита и др. (Рис.1.2).

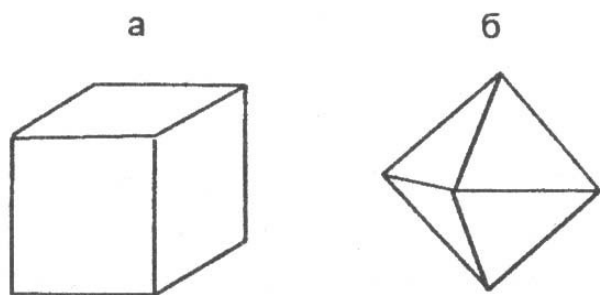


Рис. 1.2 Изометричные формы кристаллов:  
а – кубический кристалл пирита;  
б – октаэдрический кристалл магнетита

*Уплощенные* - формы, хорошо развитые преимущественно в двух направлениях. Сюда относятся таблитчатые, пластинчатые, листоватые и чешуйчатые кристаллы слюды, хлорита, графита и т. д. (Рис. 1.3).



Рис. 1.3. Уплощенные формы кристаллов:

а – таблитчатый кристалл гематита;

б – пластинчатый кристалл мусковита

*Удлиненные* - формы, развитые в одном направлении. К этой группе относятся призматические, столбчатые, шестоватые, игольчатые и волокнистые кристаллы роговой обманки, пироксена, кварца и т.д. (Рис. 1.4).

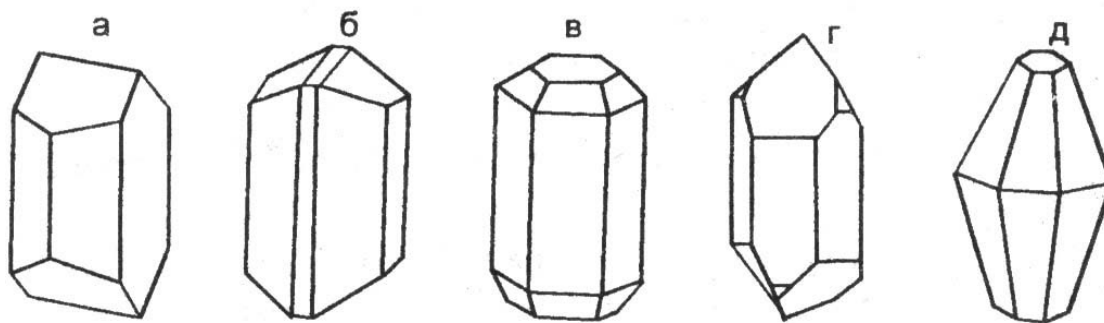


Рис. 1.4. Удлиненные формы кристаллов:

а – полевого шпата; б – роговой обманки; в – апатита; г – кварца; д - корунда

### 1.2.2. Минеральные агрегаты

В природе чаще встречаются не единичные кристаллы минералов, а скопления или срастания различной формы зерен. Эти скопления называют *минеральными агрегатами*.

Агрегаты бывают мономинеральными (моно - один), т. е. состоящими из зерен одного минерала, и полиминеральными (поли - много), сложенными несколькими различными минералами. Выделяют несколько видов минеральных агрегатов.

*Зернистые агрегаты* обладают наибольшим распространением в земной коре. В зависимости от формы слагающих зерен различают собственно зернистые (состоящие из изометричных зерен), а также пластинчатые, листоватые, чешуйчатые, волокнистые, игольчатые, шестоватые и другие агрегаты. По величине зерен можно выделять агрегаты крупнозернистые, более 5 мм в поперечнике, среднезернистые - от 1 до 5 мм и мелкозернистые - с зернами менее 1 мм.

*Землистые агрегаты* - порошкообразные, рыхлые мягкие минеральные массы скрытокристаллического строения, обычно пачкают руки, легко распадаются на мелкие комочки. Различают *сажистые* - (черного цвета) или охристые (желтого, бурого и других ярких цветов). Образуются в процессе химического выветривания. Примером являются минерал каолинит и оксидные марганцевые руды.

*Натечные формы* выделений минералов образуются на стенках пустот при медленном испарении или охлаждении поступающих туда растворов. Эти образования имеют разнообразную форму: почковидную, гроздевидную, неправильную, цилиндрическую. Натёки, свисающие в виде сосулек со сводов пустот, называются сталактитами, а поднимающиеся им навстречу со дна пустот - сталагмитами. Характерным примером натечных образований являются: лимонит, малахит, кальцит.

*Друзы* - это сростки более или менее хорошо ограненных кристаллов на стенках каких-либо пустот. Примером могут служить довольно часто встречающиеся друзы кристаллов кварца или пирита.

Реже встречаются другие виды минеральных агрегатов: *секреции* - выполнение пустот изометричной, часто округлой формы, отличающиеся концентрически-зональным строением, заполнение их минеральным веществом происходит от периферии к центру. Мелкие секреции в излившихся эффузивах называют миндалинами, крупные – жеодами:

*Конкреции* — шарообразные или неправильной формы стяжения и желваки, образующиеся в рыхлых осадочных породах (илах, глинах, песках и др.);

*Оолиты* - (от греч.-яйцо) - мелкие стяжения сферической формы размером от долей миллиметра до нескольких миллиметров, образующиеся путем наслоения коллоидального материала на песчинки в подвижной водной среде, что характерно для руд марганца, железа и алюминия.

### 1.3. Физические свойства минералов

Минералы отличаются друг от друга по многим внешним признакам: цвету, блеску, твердости, форме и другим свойствам. Все физические свойства находятся в прямой зависимости от химического состава и кристаллической структуры, поэтому каждый из минералов характеризуется своим набором физических свойств, позволяющим проводить их диагностику (определение). Знание диагностических свойств позволяет определить наиболее распространённые минералы, даже если они присутствуют в породах в виде небольших зерен или обломков.

#### 1.3.1. Оптические свойства

##### **Окраска минерала и цвет черты**

У минералов различают идиохроматическую, аллохроматическую и псевдохроматическую окраски.

*Идиохроматическая* (от греч. «идиос» - свой, собственный и «хрома» - цвет) окраска обусловлена внутренними свойствами минерала, особенностями строения кристаллической решетки. Такую окраску имеют латунно-желтый пирит, черный магнетит, свинцово-серый галенит и др.

*Аллохроматическая* (от греч. «аллос» - посторонний) окраска связана с присутствием в минералах либо элементов-хромофоров (красителей), либо тонкорассеянных механических примесей. Например, очень сильным элементом-красителем является хром. Даже незначительная примесь  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,1 %) окрашивает бесцветный минерал корунд в ярко-красный цвет, прозрачная разновидность которого называется рубином.

Наличие тонкорассеянных механических примесей оксидов и гидроксидов железа в бесцветных минералах окрашивает последние во всю гамму красно-желтых тонов. Тонкорассеянное органическое вещество дает серые, черные цвета и т. д. Примером окраски такого рода может служить цвет галита. Чистый минерал галит прозрачен и бесцветный или имеет белый цвет. Но часто те или иные красящие пигменты обуславливают окраску различных цветов: серый (обычно глинистые частицы), желтый (*гидроксиды* железа), красный (*оксиды* железа), бурый и черный (органические вещества).

Природа окрашивания некоторых минералов кроется в нарушении однородности строения их кристаллических решеток, в возникновении в них различных дефектов (черный кварц, аметист и др.).

*Псевдохроматическая* (от греч. «псевдос» - ложный) окраска не имеет ничего общего с природой самого минерала. Некоторые минералы меняют окраску в зависимости от освещения. Например, на полированной поверхности минерала лабрадорита при некоторых углах поворота освещения появляются густые синие и зеленовато-синие переливы, вызванные интерференцией световых лучей, отраженных от плоскостей спайности лабрадорита. Такое явление называется *иризацией*.

Иногда минералы бывают покрыты тонкой поверхностной пленкой другого минерала, которая обычно имеет радужную окраску, напоминающую окраску тонких пленок нефти на поверхности воды. Подобные пленки на минералах называют *побежалостью*.

При определении окраски минерала обычно широко применяется метод сравнения с окраской хорошо известных предметов или веществ: яблочно-зеленый, лазурно-синий, шоколадно-коричневый и т. п. Эталоном считаются названия цветов следующих минералов: фиолетовый у аметиста, зеленый у малахита, красный у киновари, бурый у лимонита, свинцово-серый у галенита, железо-черный у магнетита, латунно-желтый у пирита, металлически-золотистый у золота.

*Прозрачность* - способность минерала пропускать свет. В зависимости от этой способности все минералы делятся на: прозрачные - горный хрусталь, топаз, исландский шпат и др.; полупрозрачные - флюорит, сильвин и др.; непрозрачные - пирит, магнетит и др.

*Цвет черты* - это цвет тонкого порошка минерала, который легко получить, если провести испытуемым минералом черту на матовой (неглазурованной) поверхности фарфоровой пластинки, при условии, что твердость его меньше твердости фарфора, называемой бисквитом. Цвет черты при условии, что твердость его меньше твердости фарфора является более надежным признаком по сравнению с окраской минералов. В ряде случаев он соответствует цвету минерала (серая черта у серого галенита), но иногда цвет черты резко отличается от цвета минерала (латунно-желтый пирит оставляет черную черту). Для некоторых минералов этот признак является диагностическим. Например, очень похожие друг на друга минералы группы железа легко распознаются по цвету черты: магнетит имеет черную черту, гематит – вишневую, лимонит – желто-бурую.

Цвет черты определяется только у минералов с металлическим блеском, потому что другие минералы имеют белую или светлоокрашенную черту.

*Блеск минералов* – способность минералов отражать от своей поверхности световой поток. Установлено, что блеск зависит от показателя преломления минерала, т. е. величины, характеризующей разницу в скорости света при переходе из воздушной в кристаллическую среду. Минералы с показателем преломления 1,3-1,9 имеют *стеклянный* блеск, с 1,9-2,6 — *алмазный* блеск. *Полуметаллический* блеск отвечает минералам с показателем преломления 2,6-3,0 и *металлический* – выше 3,0. Металлический блеск отвечает отражению полированной поверхности металла. Такой блеск характерен для непрозрачных минералов. Примером могут служить минералы пирит, галенит, халькопирит. Полуметаллический блеск напоминает блеск потускневшего металла. Он характерен для гематита, графита и др. Наиболее широко распространен стеклянный блеск, на его долю приходится около 70 % минералов. Стеклянным блеском обладают горный хрусталь, кальцит, корунд, флюорит, амфиболы, пироксены, полевые шпаты и другие минералы.

Более сильным, чем стеклянный, является *алмазный блеск*, характерный, например, для алмаза, серы.

Блеск минерала зависит также от характера его поверхности. Если поверхность неровная, то отраженный свет несколько рассеивается, преобразуя стеклянный и алмазный блески в так называемый *жирный*. Порошковатые рыхлые минералы, обладающие тонкой пористостью, имеют *матовый* блеск, так как микроскопические поры являются своего рода «ловушками» для света. Примерами могут служить каолинит, землистые массы лимонита и др.

У минералов с параллельно-волокнистым строением наблюдается типичный шелковистый блеск (асбест), полупрозрачные «слоистые» и пластинчатые минералы имеют перламутровый отлив.

### ***1.3.2. Механические свойства***

*Спайностью* называют свойство минералов раскалываться по определенным направлениям, обусловленным строением их кристаллических решеток,

образуя при этом ровные площади – плоскости спайности. Это свойство минералов связано исключительно с внутренним их строением и не зависит от внешней формы кристаллов. Например, при раскалывании кристаллов кальцита самой разнообразной формы получается спайный выколоч всегда одной и той же формы – ромбоэдр, кристаллов флюорита – октаэдр, галенита и галита – куб.

По степени совершенства различают следующие виды спайности: *весьма совершенная* - минералы легко расщепляются на тонкие листочки, чешуйки (мусковит, биотит, хлорит, тальк, графит); *совершенная* — минералы при ударе раскалываются на обломки, со всех сторон ограниченные тремя и более плоскостями спайности (кальцит, флюорит, галенит, галит); *средняя* – минералы раскалываются на обломки, ограниченные двумя плоскостями спайности и неровными поверхностями по случайным направлениям (полевые шпаты, роговая обманка, пироксен); *несовершенная* – минералы раскалываются на обломки, ограниченные неровными поверхностями и одной плоскостью спайности (корунд, апатит); *весьма несовершенная или отсутствует* – минералы раскалываются только по случайным направлениям с неровными поверхностями (кварц, магнетит, пирит).

Чтобы не спутать грани кристаллов с плоскостями спайности необходимо помнить, что направление спайности дает систему взаимопараллельных плоскостей или трещин. При определении спайности в агрегате выбирается одно или несколько наиболее крупных зерен и в них наблюдаются плоскости спайности. Если угол спайности, например, равен 90 градусам, то излом *ступенчатый*, а если угол спайности острый – излом *занозистый*.

Неровные поверхности, получаемые при расколе минерала по случайным направлениям, не совпадающим со спайностью, называют *изломом*. Наиболее распространен *неровный* излом, но иногда наблюдаются и другие виды: *раковинистый* – излом характерен для минералов с весьма несовершенной спайностью, напоминает поверхность раковины с концентрической скульптурой (кварц, пирит); *ступенчатый*, *занозистый* – излом характерен для игольчатых или волокнистых минералов (гипс, роговая обманка) землистым с матовой шероховатой поверхностью (лимонит, каолинит), зернистым у минеральных агрегатов. Излом, как и спайность, определяется внутренним строением минерала, его кристаллической решеткой.

Твердость минерала - степень его сопротивления внешним механическим воздействиям. В минералогической практике применяют наиболее простой способ определения твердости - царапанье одного минерала другим, т. е. устанавливается относительная твердость минерала. Для её оценки немецким минералогом Ф. Моосом была предложена шкала, состоящая из десяти минералов, каждый из которых, обладая более высокой твердостью, своим острым концом царапает все предыдущие с меньшими номерами. Минералы-эталон в шкале располагаются в порядке возрастания твердости и условно обозначены целыми числами.



Шкала Мооса представлена следующими минералами:

| Минералы –эталоны твердости |                                                      | Твердость |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|-----------|
| Тальк                       | $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ | 1         |
| Гипс                        | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$            | 2         |
| Кальцит                     | $\text{CaCO}_3$                                      | 3         |
| Флюорит                     | $\text{CaF}_2$                                       | 4         |
| Апатит                      | $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl})$    | 5         |
| Ортоклаз                    | $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$                  | 6         |
| Кварц                       | $\text{SiO}_2$                                       | 7         |
| Топаз                       | $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{F}_2$                | 8         |
| Корунд                      | $\text{Al}_2\text{O}_3$                              | 9         |
| Алмаз                       | C                                                    | 10        |

Для определения твердости исследуемого минерала устанавливают, какой эталон с максимальным номером он царапает. Например, если испытуемый минерал царапает апатит, но оставляет порошок, т. е. истирается на ортоклазе, значит его твердость выше 5, но ниже 6 и оценивается в 5.5.

Относительную твердость можно определить, не имея шкалы Мооса, используя некоторые заменители. Так, твердость ногтя – 2,5; медной монеты – 3,0-3,5; оконного стекла – 5,0; иглы и стального ножа – 6,0; напильника – 7,0. Твердость порошковатых разностей бывает занижена по сравнению с твердостью этого минерала в крупных зернах.

Под *хрупкостью* понимают свойство минерала крошиться при проведении по нему черты ножом. Противоположный эффект – гладкий блестящий след – свидетельствует о свойстве минерала деформироваться пластически. *Ковкие* минералы расплющиваются под ударом молотка в тонкую пластинку, *упругие* – способны восстанавливать форму после снятия нагрузки (слюды, асбест).

*Удельный вес* может быть точно замерен только в лабораторных условиях различными методами; приблизительное суждение об удельном весе можно получить путем сопоставления с распространенными минералами, удельный вес которых принимается за эталон. Все минералы по удельному весу можно разделить на три группы: *легкие* - с удельным весом меньше 3 г/см<sup>3</sup> (галит, гипс, кварц и др.); *средние* - с удельного весом порядка 3-5 г/см<sup>3</sup> (апатит, корунд, пирит и др.); *тяжелые* - с удельным весом больше 5 г/см<sup>3</sup> (галенит, золото и др.).

### 1.3.3. Специфические свойства

Некоторые минералы обладают особыми, характерными только для них свойствами, когда нет необходимости определять их в других индивидах.

*Магнитность.* Сравнительно небольшое число минералов обладает свойством воздействовать на магнитную стрелку. Для минералов, обладающих магнитностью, это свойства имеет важное диагностическое значение. Минералы, обладающие ярко выраженными ферромагнитными свойствами, могут притягивать даже мелкие железные предметы - опилки, булавки (магнетит). Менее магнитные минералы (парамагнитные) слабо притягиваются магнитом (пирротин), и, наконец, имеются минералы, которые отталкивают магнитную стрелку - самородный висмут.

*Реакция с соляной кислотой.* С соляной кислотой взаимодействуют минералы из класса карбонатов:

- кальцит  $\text{Ca CO}_3$  - бурно реагирует, "вскипая" в кислоте;
- доломит  $\text{Ca Mg (CO}_3)_2$  - «вскипает» только в порошке;
- магнезит  $\text{Mg CO}_3$  - реагирует только с горячей кислотой.

*Двойное лучепреломление.* Двупреломление света – разложение светового луча, входящего в кристалл, на два. Это свойство характерно для карбонатов, особенно для прозрачной разновидности кальцита – исландского шпата. При наложении исландского шпата на рисунок или текст явственно заметно раздвоение изображения.

*Физиологические свойства.* (Воздействие на вкусовые, обонятельные и тактильные анализаторы человека). Ряд минералов можно определить по вкусу. Например, галит имеет соленый вкус, сильвин – горько-соленый. Эти минералы, кроме того, растворяются в воде. Другие минералы можно различить по запаху. При горении серы ощущается запах сернистого газа, в то время как горящий янтарь издает ароматический запах. Существенна также степень шероховатости минералов, т. е. ощущение, возникающее при прикосновении к минералу. Есть минералы жирные на ощупь (тальк), гладкие (горный хрусталь) и шершавые (каолин).

## 1.4. Классификация минералов

Существует несколько классификаций минералов, в основу каждой из которых положены различные признаки. Наиболее признанной является кристаллохимическая классификация, в основе которой лежит в равной мере химический состав и кристаллическая структура минералов. По этой классификации выделяется большое количество классов, из которых в данном курсе будут рассмотрены лишь следующие: 1 - самородные элементы, 2 - сульфиды 3 - галогениды, 4 - оксиды и гидроксиды, 5 - карбонаты, 6 - сульфаты, 7 - фосфаты и 8 - силикаты.

**Самородные элементы** – некоторые химические элементы в свободном минеральном состоянии. К ним относят: *металлы* - золото (Au),

серебро (Ag), медь (Cu) и др.; *полуметаллы* - мышьяк (As), висмут (Bi); *неметаллы* - графит (C), сера (S) и др.

**Сульфиды** – соли сернистой кислоты  $H_2S$ . Наиболее характерными признаками, свойственными большинству сульфидов, являются сильный металлический блеск и высокий удельный вес. Сюда относят минералы: пирит –  $FeS_2$ , халькопирит –  $CuFeS_2$  и галенит –  $PbS$  и др., представляющие большой интерес, как руды цветных металлов.

**Галогениды** – соли соляной кислоты  $HCl$  (*хлориды*) и соли плавиковой кислоты  $HF$  (*фториды*). Для них характерны низкая твердость (2-4), прозрачность и совершенная спайность. К этому классу относят галит –  $NaCl$ , сильвин –  $KCl$  и флюорит –  $CaF_2$ .

**Оксиды и гидроксиды** – соединения металлов и неметаллов с кислородом и водой  $H_2O$ . Для оксидов характерна прочность кристаллической решетки, чем обусловлена их высокая твердость (5-9). К этому классу относят корунд –  $Al_2O_3$ , кварц –  $SiO_2$ , опал –  $SiO_2 \cdot nH_2O$  и минералы группы железа: магнетит –  $Fe_3O_4$ , гематит –  $Fe_2O_3$ , лимонит  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ .

**Карбонаты** – соли угольной кислоты  $H_2CO_3$ . Большая часть карбонатов бесцветна, твердость невысокая (3), характерна совершенная спайность по ромбоэдру и эффект двойного лучепреломления. К этому классу относят кальцит –  $CaCO_3$ , доломит –  $CaMg(CO_3)_2$ , магнезит –  $MgCO_3$ .

**Сульфаты** – соли серной кислоты  $H_2SO_4$ . В технических науках их называют купоросами. Для минералов этого класса характерна низкая твердость (2-3,5), светлая окраска, невысокая плотность и пестрые цвета окраски. К ним относят гипс –  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  и ангидрит –  $CaSO_4$ , медный купорос –  $CuSO_4$  и железный купорос –  $FeSO_4$ .

**Фосфаты** – соли ортофосфорной кислоты  $H_3PO_4$ . Характерна средняя твердость (5) и светлая окраска. Сюда относят минерал апатит –  $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl)$ .

**Силикаты** – самая обширная группа породообразующих минералов, содержащих  $SiO_2$ , которые слагают большинство горных пород. Основой кристаллической решетки силикатов является скелет из кремнекислородных тетраэдров  $[SiO_4]^{-4}$  (Рис.1.5,а). Кремнекислородные тетраэдры в структурах силикатов могут находиться либо в виде изолированных друг от друга структурных единиц  $[SiO_4]$ , либо сочленяются друг с другом разными способами. В зависимости от способа их сочленения выделяют следующие подклассы:

*Островные силикаты* с изолированными тетраэдрами (см. Рис.1.5, а) представлены оливином. Для них характерны повышенные твердость и удельный вес, а также изометричные формы кристаллов.

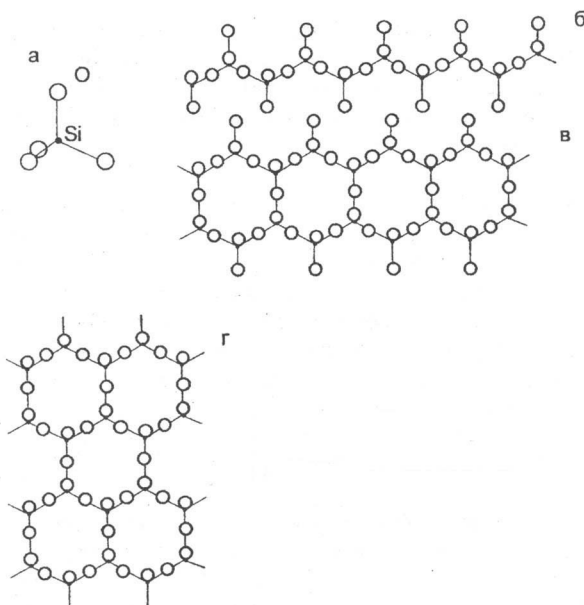
*Цепочечные силикаты* с одинарными цепочками тетраэдров (см. Рис.1.5 б) представлены пироксенами.

*Ленточные силикаты* со сдвоенной цепочкой тетраэдров (см. Рис.1.5, в) представлены роговой обманкой. Несмотря на существенное различие в количественных соотношениях компонентов, цепочечные и ленточные силикаты

имеют много общих свойств: удлиненная форма кристаллов, средняя спайность в двух направлениях, твердость 5-6, темный цвет.

Рис.1.5. Способы сочленения кремнекислородных тетраэдров в кристаллических структурах силикатов:

а – единичный изолированный тетраэдр; б – одинарная цепочка; в – sdвоенная цепочка (лента); г – непрерывный слой тетраэдров



*Листовые силикаты* с непрерывными слоями кремнекислородных тетраэдров представлены слоями кремнекислородных тетраэдров (Рис. 1.5, г). Сюда относят слюды (биотит, мусковит), хлорит, тальк, каолинит, серпентинит. В прямой зависимости от кристаллической структуры находится важное диагностическое свойство этих силикатов - весьма совершенная спайность, а также гексагональная форма кристаллов.

*Каркасные силикаты* с непрерывными трехмерными каркасами тетраэдров  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  представлены почти исключительно алюмосиликатами, в которых часть ионов  $\text{Si}^{4+}$  в кремнекислородных тетраэдрах замещена на ионы  $\text{Al}^{3+}$ . Для этих силикатов характерна светлая окраска и твердость 5-7. К каркасным силикатам принадлежит группа полевых шпатов, которые подразделяются на щелочные полевые шпаты (ортоклаз и микроклин) и плагиоклазы.

## 1.5. Характеристика минералов

### 1.5.1. Самородные элементы

**Алмаз** - С. Характерны кристаллы в виде хорошо ограненных октаэдров. Бесцветные разновидности состоят из чистого углерода. Алмазы бесцветные водяно-прозрачные или окрашены в голубой, синий, желтый, бурый, черный цвет. Блеск сильный алмазный, твердость 10, спайность средняя, излом раковистый. Алмазы применяются в ювелирном деле и для технических целей.

**Графит** - С. Кристаллы редки (в виде пластинок или табличек), чаще встречается в виде тонкочешуйчатых агрегатов. Окраска железо-черная до темной стально-серой, черта черная блестящая, блеск сильный полуметалли-

ческий. Твердость - 1, жирный, пишет на бумаге и пачкает руки. Спайность весьма совершенная. Графит широко применяется в технике для производства тиглей, электродов, сухих элементов, в качестве составной части машинных смазок, для футеровки высокотемпературных печей и т. д. Из него изготавливают краски и карандашные грифели.

**Сера** - S. Встречается в виде кристаллов, сплошных зернистых агрегатов, иногда образует почковидные массы, друзы. Цвет желтый, различных оттенков. Блеск на гранях алмазный, в изломе жирный. Твердость 1-2, очень хрупка, спайность несовершенная, излом неровный, раковистый. Легко загорается от спички и горит с образованием сернистого газа. Сера применяется в производстве серной кислоты, красок, для изготовления спичек, пиротехнических средств, а также для борьбы с сельскохозяйственными вредителями и т. д.

### 1.5.2. Сульфиды

**Пирит** (серный колчедан, железный колчедан) –  $\text{FeS}_2$ . Часто встречается в виде крупных, хорошо образованных кристаллов изометричной формы - кубов с характерной штриховкой на гранях. Агрегаты - сплошные зернистые массы, часто в ассоциации с халькопиритом. Окраска светлая латунно-желтая, часто с желтовато-бурой и пестрой побежалостью. Черта зеленовато-черная, блеск сильный металлический, твердость 6-6,5; спайность весьма несовершенная, излом раковистый. Пирит является основным сырьем для получения серной кислоты. Получаемые в результате обжига пиритные огарки применяются как железная руда и краски (в зависимости от чистоты). Руда с примесями меди и золота.

**Галенит** (свинцовый блеск) -  $\text{PbS}$ . Характерны кристаллы кубической формы, крупно- и мелкозернистые агрегаты. Цвет свинцово-серый, черта серовато-черная, блеск металлический, твердость 2-3, хрупок, спайность совершенная (по кубу). Применение - важнейшая свинцовая руда.

**Халькопирит** (медный колчедан) -  $\text{CuFeS}_2$ . Кристаллы редки, агрегаты - сплошные мелкозернистые массы, часто встречается в виде вкрапленных зерен неправильной формы. Окраска латунно-желтая, с темно-желтой или пестрой побежалостью, черта черная с зеленоватым оттенком, блеск металлический. Твердость 3,5-4, спайность несовершенная, излом неровный. Халькопирит является рудой для получения меди.

### 1.5.3. Галогениды (галюиды)

**Галит** (каменная соль) -  $\text{NaCl}$ . Кристаллы кубической формы. Агрегаты - друзы, сплошные зернистые массы, плотные кристаллические корочки. Окраска бесцветная, снежно-белая, желтая, бурая, синяя, серая, черная. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 2,5. Очень хрупок, спайность совершенная по кубу, растворим в воде. На вкус соленый. Галит применяется главным образом

как пищевой продукт и консервирующее средство, а также в химической, металлургической, кожевенной и других отраслях промышленности.

**Сильвин** -  $\text{КС1}$ . Кристаллы кубической формы, агрегаты - от крупно- до тонкокристаллических, иногда образует плотные сливные массы. Окраска бесцветная, молочно-белая, желтоватая, розовато-красная. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 2, хрупок, спайность совершенная по кубу. Растворим в воде, вкус горько-соленый. Важнейший источник калия (для производства удобрений), кроме того, сильвин используется в химической промышленности.

**Флюорит** (плавиковый шпат) -  $\text{CaF}_2$ . Кристаллы обычно хорошо ограниченные, изометричной формы. Агрегаты - друзы, зернистые. Окраска часто полихромная, зеленая, голубая, фиолетовая. Блеск стеклянный. Твердость 4, спайность совершенная по октаэдру. Флюорит применяется в металлургии в качестве плавня при выплавке различных металлов. В химической промышленности он является основным сырьем для получения плавиковой кислоты и других фтористых соединений. В стекольной промышленности его используют при изготовлении некоторых сортов оптических стекол, в алюминиевой промышленности – для получения криолита. Кристаллы бесцветного прозрачного флюорита используются в оптике.

#### ***1.5.4. Оксиды и гидроксиды***

**Корунд** -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Известно много разновидностей корунда - как обычного, так и прозрачного (благородного). Главным среди прозрачных корундов являются: лейкосапфир - бесцветный, сапфир - синий, рубин - красный, восточный топаз - желтый, восточный аметист - фиолетовый, восточный изумруд - зеленый. Особо выделяют еще наждак, представляющий собой смесь мелкозернистого корунда с магнетитом, гематитом, полевым шпатом и кварцем. Кристаллы корунда имеют бочонковидную, удлиненную форму. Агрегаты - сплошные мелкозернистые массы. Цвет синий, красный, серый. Блеск стеклянный, спайность несовершенная, излом раковистый, твердость 9. Обычный непрозрачный корунд представляет собой ценный огнеупорный и абразивный материал. Прозрачные разновидности корунда используются в ювелирном деле и в точной механике (рубин).

**Гематит** (железный блеск) -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Известны его разновидности: железная слюдка - тонкопластинчатая разность, железная сметана - красная порошковая разность, красный железняк - плотная скрытокристаллическая разность, красная стеклянная голова - почкообразные формы с радиально-волокнистым строением. Гематит образует кристаллы уплотненной таблитчатой и пластинчатой формы. Агрегаты - листоватые, чешуйчатые, землистые. Цвет черный до буровато-красного. Черта вишнево-красная до красновато-бурой. Блеск полуметаллический, иногда матовый. Твердость 5,5-6,5. Спайность отсутствует, излом неровный. Гематит является важнейшей железной рудой. Порошковая разность используется для изготовления красной краски и карандашей.

**Магнетит** (магнитный железняк) -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Образует кристаллы изометричной формы в виде октаэдров. Агрегаты зернистые, в пустотах встречаются друзы. Цвет железо-черный, черта черная, блеск металлический. Твердость 5,5-6,5. Спайность отсутствует, излом неровный. Сильно магнитен. Магнетит является важнейшей железной рудой.

**Лимонит** (бурый железняк) -  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Он не образует кристаллических форм, а является скрытокристаллическим или аморфным. Обычно встречается в виде натечных масс, а также в виде жеод, конкреций, плотных и землистых масс. Окраска темно-бурая до черной, порошковатые разности - коричнево-желтого цвета. Черта желтовато-бурая. Блеск полуметаллический, матовый. Твердость 5,5-5. Спайность отсутствует, излом неровный, землистый. Используется как железная руда.

**Кварц** -  $\text{SiO}_2$ . Образует удлинённо-призматические кристаллы, обычные сростки, друзы. В агрегатах - сплошные массы различной степени зернистости: от грубошестоватых до скрытокристаллических, натечных. Окраска меняется в широком диапазоне: от бесцветного и молочно-белого до серого, желтого, розового, голубого, зеленого, фиолетового, коричневого и черного. Черта белая, бесцветная. Спайность отсутствует, излом раковистый. Твердость 7. Основные разновидности: горный хрусталь – бесцветный; аметист – фиолетовый; дымчатый кварц - бурый, темный; морион - черный. Кварц применяется в оптике и радиотехнике, в ювелирном и гранильном деле, в механике точных приборов, стекольном и других производствах.

Более обычной и широко известной разновидностью природного кварца является *жильный кварц*, представляющий собой агрегат зерен-индивидов, не имеющих собственной кристаллографической огранки, а разделяемых сложными поверхностями. По всем характеристикам (внутреннему составу индивидов, составу элементов-примесей, радиационной окраске и т. д.) такой кварц идентичен кристаллам, отсутствуют у него только грани. Таким образом, *жильный кварц* – это совокупность кварцевых индивидов и агрегатов, составляющих кварцевое тело.

Зернистая разновидность жильного кварца получила название *гранулированного*. Этот кварц представляет собой агрегат гранобластовой структуры. В зависимости от размеров зерен выделяются следующие разновидности гранулированного кварца: микрозернистый (0,05-0,2 мм), тонкозернистый (0,2-1 мм), мелкозернистый (1-2 мм), среднезернистый (2-5 мм), крупнозернистый (5-10 мм)

Непрозрачные волокнистые разновидности кварца получили название *халцедон*. Пестроокрашенный халцедон называют *агатом*.

**Опал** -  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Аморфный, форма выделений - колломорфные агрегаты, почки, натёки и сплошные массы. Цвет белый, голубоватый, серый (редко черный), синий, также красный, желтый, бурый. Блеск жирный, восковой, перламутровый. Цвет черты белый. Иногда минерал прозрачный. Твердость 5,5-6,5. Спайность отсутствует, излом раковистый, неровный, занозистый.

Разновидности: опал благородный - ювелирного качества с радужной опалесценцией (сильными внутренними рефlekсами); опал огненный - оранжево-желтый с переливами в красных тонах в виде «языков пламени». Применяется в ювелирном деле; породы, состоящие из опала (диатомиты, трепелы, опоки), используются в производстве огнеупорных кирпичей, а также в абразивной и керамической промышленности.

#### **1.5.5. Карбонаты**

**Кальцит** (известковый шпат) -  $\text{CaCO}_3$ . Имеет разновидность - исландский шпат - прозрачный двупреломляющий кальцит, который «раздваивает» рассматриваемые через него изображения.

Кристаллы очень разнообразны по форме. Агрегаты - друзы, зернистые. Нередко бесцветен, иногда его окраска белая, желтая, голубая, серая, реже - розовая, красная, бурая, черная. Твердость 3. Хрупок, спайность совершенная по ромбоэдру. При взаимодействии с соляной кислотой бурно вскипает.

Исландский шпат применяется в оптике для изготовления двупреломляющих призм.

Известняки (горные породы, состоящие из кальцита) - используются для изготовления вяжущих строительных материалов (известь, цемент), а также как бутовый камень в строительстве и флюс в металлургии. Мел используется как пишущий и полировальный материал. Мраморы - горные породы, состоящие из кальцита, являются строительным и поделочным материалом.

**Магнезит** (магнезиальный шпат) -  $\text{MgCO}_3$ . Кристаллы редки. Встречается в виде зерен неправильной формы, волокнистых и крупнозернистых агрегатов. Окраска белая с сероватым или желтоватым оттенками. Блеск стеклянный. Твердость 4. Хрупок, спайность совершенная по ромбоэдру. Растворяется только в горячей соляной кислоте, с холодной - не реагирует. Магнезит применяют в основном для производства высокоогнеупорных материалов и металлического магния, специальных цементов; применяется также в бумажной, резиновой и других отраслях промышленности.

**Доломит** -  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Кристаллы разнообразные по форме. Агрегаты зернистые. Окраска серовато-белая. Блеск стеклянный. Твердость 3,5-4. Хрупок, спайность совершенная по ромбоэдру. С соляной кислотой реагирует в порошке.

Применяется для получения различных огнеупорных материалов, извести и магнезиального цемента, а также в качестве флюса при плавке руд и как химическое удобрение.

#### **1.5.6. Сульфаты**

**Гипс** -  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Известны следующие его разновидности: селенит - параллельно-волокнистая разновидность с шелковистым блеском; алебастр - снежно-белая тонкозернистая разновидность. Кристаллы таблитчатые. Агрегаты - друзы, мелкозернистые, а также параллельно-волокнистые. Обычно бесцветен, иногда



окраска белая, реже серая, медово-желтая, красная, бурая, черная. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 2 (царапается ногтем). Спайность несовершенная. Излом неровный, занозистый. Гипс широко применяется в различных отраслях промышленности в качестве добавки к портландцементу, для получения вяжущих веществ, изготовления архитектурных деталей (перегородок, плит), в бумажном производстве, для приготовления различных красок, эмалей, глазурей и т. д. Алебастр и селенит используются как поделочный камень.

**Ангидрит** -  $\text{CaSO}_4$ . Хорошо образованные кристаллы редки. Агрегаты плотные мелкозернистые, иногда шестоватые. Цвет белый, серый или голубоватый. Черта белая, блеск стеклянный. Твердость 3-4, хрупкий, спайность совершенная по кубу. Применяется как сырье для получения серной кислоты и как строительный материал.

### 1.5.7. Фосфаты

**Апатит** -  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl})$ . Часто встречается в виде хорошо образованных кристаллов шестигранной формы. Агрегаты зернистые. Окраска белая, бледно-зеленая, голубая. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 5, хрупок. Спайность несовершенная, излом неровный. Апатит используется как сырье для фосфорных удобрений, для производства фосфорной кислоты и ее солей. Фосфорит – горная порода, сложенная в основном аморфным или микрокристаллическим апатитом с примесью глинистых частиц, кварца, кальцита, гидрооксидов железа, используется для приготовления фосфатных удобрений.

### 1.5.8. Силикаты

Силикаты представляют собой многочисленный класс минералов, включающий в себя совместно с разновидностями до пятисот представителей, что составляет около четверти всех известных минералов. Они являются важнейшими пороодообразующими минералами.

**Топаз** –  $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$  – встречается исключительно в виде кристаллов. Бесцветные, водяно-прозрачные разновидности редки, чаще окрашен в светлые оттенки желтого, винно-желтого, голубого, зеленого, розового, изредка красного цвета. Твердость 8, спайность несовершенная, блеск стеклянный. Топазы относятся к драгоценным камням.

**Дистен (кианит)** –  $\text{Al}_2[\text{O SiO}_4]$  – обычно наблюдается в длинных столбчатых, часто уплощенных, досковидных кристаллах. Цвет голубой, синий (кианит), желтый, бесцветный, черный; блеск стеклянный; твердость по удлинению кристалла 4,5, а в поперечном направлении 6; спайность средняя. Используется для получения кислотоупорных и огнеупорных изделий.

**Ставролит** –  $\text{FeAl}_4[\text{SiO}_4]\text{O}_2[\text{OH}]_2$  – обычно встречается в виде кристаллов, которые имеют вид коротких и толстых призм; типичны двойники. Цвет

красно-бурый до буровато-черного; блеск стеклянный; твердость 7-7,5; спайность несовершенная. Породообразующий минерал.

**Гранаты.** К ним относится обширная группа минералов с общей формулой  $A_3B_2[SiO_4]_3$ . Среди них особенно многочисленны минеральные виды двух изоморфных рядов: альмандиновый ряд –  $(Mg,Fe,Mn)_3Al_2[SiO_4]_3$ , андрадитовый ряд –  $(Ca)_3(Al,Fe,Cr)_2[SiO_4]_3$ . Кристаллы для гранатов типичны, но часто они встречаются и в виде сплошных зернистых масс. Цвет гранатов варьирует широко: темно-красный, буро-красный, медово-красный, бледно-зеленый, изумрудно-зеленый и др. Блеск стеклянный, твердость 6,5-7,5, спайность несовершенная, излом неровный. Гранаты широко применяются в ювелирном деле и в качестве абразивного материала.

**Оливин** –  $(Mg, Fe)_2 [SiO_4]$ . Правильные кристаллы очень редки, обычно распространены зернистые агрегаты. Окраска от зеленовато-желтой до черной. Черта бесцветная, желтоватая. Блеск стеклянный. Твердость 6-7. Спайность несовершенная. Хрупок, излом раковистый, неровный. Породообразующий минерал. Прозрачная разновидность оливина желтовато-зеленого цвета – хризолит – драгоценный камень.

**Пироксены** –  $Ca(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$ . Кристаллы довольно редки, короткостолбчатые, агрегаты зернистые. Окраска обычно черная с зеленоватым или буроватым оттенком. Блеск стеклянный. Твердость 5,5-6. Спайность средняя с углом между плоскостями спайности  $85^\circ$ . Излом неровный, ступенчатый. Является важнейшим породообразующим минералом.

**Роговая обманка (моноклинный амфибол)** –  $NaCa_2(Mg,Fe)_4(Al,Fe)[(Si,Al)_8O_{22}](OH)_2$ . Кристаллы удлиненные, столбчатые, агрегаты крупно- и гигантозернистые. Окраска черная. Блеск стеклянный, твердость 5,5-6. Спайность средняя с углом между плоскостями спайности  $120^\circ$ . Излом часто занозистый. Важнейший породообразующий минерал.

**Мусковит** –  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ . Разновидности мусковита: серицит – тонкочешуйчатая разновидность с шелковистым блеском, фуксит – хромовая слюда изумрудно-зеленого цвета. Кристаллы таблитчатые либо пластинчатые. Агрегаты листоватые или чешуйчатые. Минерал бесцветный, прозрачный, часто с желтоватым, сероватым, зеленоватым оттенками. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 2-3, обладает гибкостью. Спайность весьма совершенная, легко расщепляется на гибкие тончайшие листочки. Мусковит используется как диэлектрик в радио- и электропромышленности.

**Биотит** –  $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ . Кристаллы таблитчатые, агрегаты листоватые и чешуйчатые. Окраска черная, блеск стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом. Твердость 2-3. Спайность весьма совершенная. Важнейший породообразующий минерал.

**Тальк** –  $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ . Его разновидностью являются стеатит, жировик или мыльный камень – плотная разновидность талька, а также благородный тальк – прозрачный, светло-зеленый. Кристаллы редки. Агрегаты листоватые, чешуйчатые, плотные. Окраска бледно-зеленая, белая с желтоватым, буроватым, розоватым оттенками. Блеск стеклянный с перламутровым отливом; жирный на

ощупь. Спайность весьма совершенная. Листочки гибки, но не упруги. Твердость 1. Тальк применяется в качестве кислото- и огнеупорного материала. Используется в медицине, парфюмерии, бумажном и резиновом производствах, а также в сельском хозяйстве.

**Каолинит** -  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ . Кристаллы редки и мелкие. Агрегаты рыхлые, землистые, тонкочешуйчатые. Цвет белый, блеск матовый у сплошных масс. Жирный на ощупь. Твердость 1. Спайность весьма совершенная. Каолинит является главной составной частью многих огнеупорных глин, употребляемых как сырье для керамических и огнеупорных изделий, как строительный материал, в качестве наполнителя при производстве бумаги, линолеума и т. п.

**Хлориты (группа хлоритов)**. К хлоритам относятся слюдоподобные минералы сложного химического состава. Кристаллы таблитчатые. Агрегаты - чешуйчатые, листоватые. Окраска обычно зеленая различных оттенков. Черта зеленовато-белая. Блеск стеклянный до перламутрового. Твердость 1,5-3. Спайность весьма совершенная. Излом занозистый, неровный. Важнейший породообразующий минерал.

**Серпентин** -  $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ . В хорошо образованных кристаллах никогда не встречается. Листоватая разность носит название антигорита. Агрегаты распространены в плотных массах со следами скольжения и имеют скрытокристаллическое строение. Окраска темно-зеленая, зеленовато-черная. Блеск стеклянный, матовый, жирный. Твердость 2,5-4. Спайность совершенная. Плотные, красиво окрашенные разности серпентина используются как облицовочный и поделочный камень, а также как высокосортное огнеупорное сырье.

**Хризотил-асбест** представляет собой разновидность серпентина тонковолокнистого строения. Цвет хризотил-асбеста зеленовато-желтый, белый, редко бурый, обладает огнестойкостью и щелочеупорностью, плохо проводит тепло, электричество и звук, что определяет его большое значение при производстве жаростойких и кислотоупорных материалов, картона, пряжи, специальных костюмов.

**Эпидот** -  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{FeSi}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ . Кристаллы вытянутые, богатые гранями, часто исштрихованы вдоль удлинения. Агрегаты радиально-лучистые, шестоватые, веерообразные, соломовидные, иногда крупнопластинчатые. Цвет фишашково-зеленый. Блеск стеклянный до смоляного. Твердость 6,5-7. Спайность совершенная.

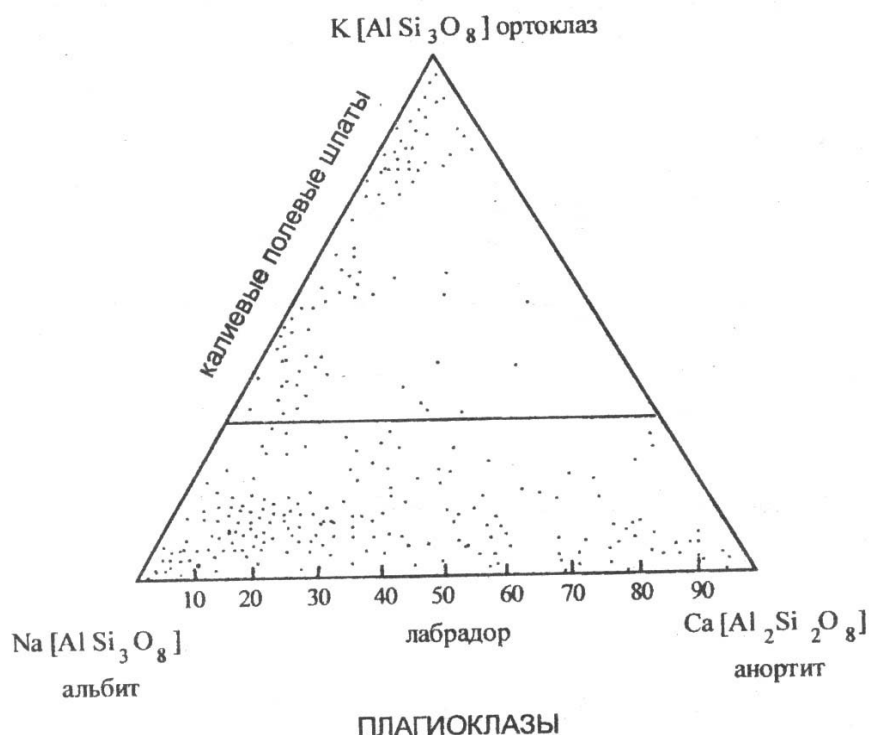
Образуется при контактово-метасоматических и гидротермальных процессах.

**Полевые шпаты** - наиболее распространенные породообразующие минералы. По химическому составу полевые шпаты делятся на две подгруппы: калиевые полевые шпаты и натриево-кальциевые, или плагиоклазы (Рис. 16).

Подгруппа калиевых полевых шпатов включает в себя минералы ортоклаз, микроклин и амазонит с химической формулой  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ .

**Ортоклаз**. Кристаллы призматические. Агрегаты зернистые, друзы. Окраска белая с розоватым оттенком. Блеск стеклянный, матовый. Твердость 6. Спайность средняя, угол между плоскостями спайности  $90^\circ$ . Излом неровный, ступенчатый.

**Микроклин** обычно такого же цвета, как ортоклаз, а его зеленая разновидность называется амазонитом.



Главные члены группы полевых шпатов в системе Or-Ab-An  
Рис.1.6. Диаграмма колебаний химического состава полевых шпатов

Подгруппа натриево-кальциевых полевых шпатов, или *плагиоклазов*, является смесью, крайние члены которой носят названия: альбит  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  и анортит  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ . Существуют все разности непрерывно меняющегося состава от чистого альбита до чистого анортита. В кремнекислородных тетраэдрах  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  структуры альбита один из четырех ионов  $\text{Si}^{4+}$  замещен ионом  $\text{Al}^{3+}$ , тогда как в анортите  $\text{Al}^{3+}$  замещает два иона  $\text{Si}^{4+}$ . В связи с этим содержание  $\text{SiO}_2$  постепенно уменьшается от альбита к анортиту.

По содержанию  $\text{SiO}_2$  плагиоклазы делятся на три группы: кислые - (существенно натриевые), средние - (натриево-кальциевые) и основные - (существенно кальциевые) плагиоклазы.

Кристаллы таблитчатые и призматические. Агрегаты зернистые и друзы. Окраска белая с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный. Твердость 6-6,5. Спайность средняя с углом  $86^\circ$ . Излом неровный.

*Лабрадор* - один из средних плагиоклазов, образует сплошные крупнозернистые агрегаты. Это полупрозрачный минерал темно-серого до черного цвета, обладающий специфическим свойством — иризацией - переливчатыми отсветами на плоскостях спайности в зеленых и синих тонах. Лабрадор — ценный поделочный камень.

## 1.6 Методика определения и изучения минералов

Основная цель работы – знакомство с минералами и изучение их физических свойств. Исследование физических свойств выполняется в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 1. Вначале определяется форма и характер минеральных агрегатов, затем цвет, блеск и другие физические свойства. Полученные данные сводятся в таблицу описания минералов.

| Название минерала, формула, класс | Форма кристаллов или минеральных агрегатов | Физические свойства минералов |            |       |                   |           |             | Примечание |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|------------|-------|-------------------|-----------|-------------|------------|
|                                   |                                            | Цвет                          | Цвет черты | Блеск | Спайность и излом | Твердость | Спец. св-ва |            |
| 1                                 | 2                                          | 3                             | 4          | 5     | 6                 | 7         | 8           | 9          |
|                                   |                                            |                               |            |       |                   |           |             |            |

После нескольких лабораторных занятий проводится коллоквиум для проверки и закрепления полученных знаний.

## РАЗДЕЛ 2. ГЛАВНЕЙШИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

### 2.1. Общие сведения

**Горными породами** называют естественные ассоциации минералов, образовавшиеся на поверхности или под поверхностью Земли в результате различных эндогенных или экзогенных процессов.

По своему происхождению все горные породы подразделяют на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

**Магматические горные породы** образуются при охлаждении и затвердевании магматического расплава на разных глубинах или на поверхности Земли.

**Осадочные горные породы** формируются в результате разрушения любых по происхождению пород (осадочных, магматических или метаморфических), на поверхности континентов, переотложения продуктов разрушения на поверхности Земли (в морях, океанах, на суше и т. д.), а также продуктов жизнедеятельности и хемогенных осадков на дне морских бассейнов последующего преобразования — диагенеза.

**Метаморфические горные породы** возникают на разных глубинах при воздействии на них высоких температур и давлений, а также газов и флюидов.

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

Каждая горная порода характеризуется определенным химическим и минеральным составом. Химический состав выражается в процентных соотношениях главных окислов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . При одном и том же химическом составе горные породы могут иметь различный минеральный состав. В связи с этим решающую роль при определении горной породы имеет ее минеральный состав.

По минеральному составу горные породы бывают мономинеральными (от греч. «моно» — один), если они состоят преимущественно из одного минерала (кварцит, известняк, дунит, каменная соль и др.), и полиминеральными (от греч. «поли» — много), если состоят из нескольких минералов (гранит, гнейс, конгломерат и др.). В обоих случаях различают главные порообразующие минералы, составляющие более 5 % объема породы, и второстепенные, или акцессорные, минералы, слагающие менее 5 % ее объема. Главные порообразующие минералы определяют тип горной породы, наличие или отсутствие акцессорных минералов является в ряде случаев важной характеристикой, но не влияет на название горной породы.

Порообразующие минералы делят на светлые (светло-окрашенные) и темные (темноцветные).

По условиям и времени выделения в породе минералы подразделяются на первичные и вторичные.

Первичные минералы возникают в процессе образования горной породы, вторичные образуются в процессе последующих ее изменений. Процентное содержание вторичных минералов также играет существенную роль при диагностике горных пород.

Строение горной породы определяется структурой и текстурой.

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

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

## 2.2. Магматические горные породы

### 2.2.1. Условия образования магматических горных пород

Магматические горные породы образуются в результате затвердевания магмы на глубине или на земной поверхности при вулканических извержениях. Магматические породы также называют изверженными.

**Магма** (от греч. «густая мазь») — огненно - жидкий, главным образом силикатный, расплав, возникающий в верхней мантии или в земной коре. Магма содержит большое количество растворенных газов и паров воды (F, Cl, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и др.). На большой глубине магма находится под очень большим всесторонним давлением и обладает высокой температурой.

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

Поднимаясь вверх, магма оказывается в различных термодинамических условиях.

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

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

Таким образом, на больших глубинах весь силикатный расплав превращается в агрегат тех или иных минералов, образуется полнокристаллическая

горная порода. Долго сохраняющиеся условия высоких температур и давления создают благоприятные условия роста для всех минералов, в результате образуются полнокристаллические и равнокристаллические структуры пород с более или менее одинаковым размером зерен всех минералов.

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

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

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

При вулканических извержениях магма либо изливается на земную поверхность (или на дно водного бассейна) в виде лавы, либо при взрывах выбрасывается в воздух на разную высоту, застывает и падает на поверхность в виде твердых частиц и обломков разного размера (вулканический пепел, песок, лапилли, вулканические бомбы), давая начало пирокластическим горным породам обломочного строения. Последние образуют особую группу вулканических пород и будут рассмотрены ниже.

Магма, излившаяся на поверхность в виде лавы, попадает в условия резкого понижения температуры и давления и связанной с этим почти полной потерей летучих компонентов, что приводит к её быстрому затвердеванию. При этом если расплав поднимается медленно и с больших глубин и до выхода на поверхность в нем произошла частичная кристаллизация, то есть образовались кристаллы минералов, то при затвердевании на поверхности образуются неполнокристаллические породы. При быстром движении расплав не успевает кристаллизироваться и застывает на поверхности в виде вулканического стекла, образуя стекловатую породу, в которой кристаллы почти или полностью отсутствуют.

По условиям образования магматические горные породы подразделяют на следующие виды.



1. **Интрузивные** (плутонические):
  - глубинные (абиссальные),
  - полуглубинные (гипабиссальные).

2. **Вулканические**:
  - эффузивные (излившиеся),
  - пирокластические.

**Интрузивные**, или внедрившиеся (от лат. «интрузио» — внедрение), горные породы образуются при застывании магмы под земной поверхностью и по глубине застывания делятся на глубинные и полуглубинные.

**Глубинные**, или абиссальные (от греч. «абиссос» — бездонный), или плутонические, породы формируются на больших глубинах, в условиях длительно сохраняющихся высоких температур и давлений и характеризуются полной раскристаллизацией магматического расплава.

**Полуглубинные** (гипабиссальные) горные породы, затвердевшие на средних и небольших глубинах, по условиям образования являются промежуточными между глубинными интрузивными и эффузивными. Температура и давление магмы на разных глубинах меняются по-разному, и могут возникать как полно-, так и неполнокристаллические породы.

Излившиеся, или **эффузивные**, породы (от лат. «эффузио» — излияние) образуются при излиянии лавы на дневную поверхность, где резко понижаются температура и давление. Эффузивные породы характеризуются неполной кристаллизацией или быстрым затвердеванием расплава в виде вулканического стекла.

Различия в условиях образования магматических пород четко отражаются на их внешнем облике и легко распознаются макроскопически по характеру структуры и текстуры.

### ***2.2.2 Структуры и текстуры магматических горных пород***

**Структуры** магматических горных пород макроскопически классифицируются по степени кристалличности вещества, относительному и абсолютному размеру зерен.

По **степени кристаллизации** магматического расплава выделяют следующие структуры:

**полнокристаллические**, когда все вещество раскристаллизовано в агрегат минералов;

**неполнокристаллические**, когда часть расплава раскристаллизовалась и образовались минеральные зерна, а другая часть затвердела в виде вулканического стекла;

**стекловатые**, когда вся порода представлена вулканическим стеклом. Для глубинных пород характерны полнокристаллические структуры, для полуглубинных — полно- и неполнокристаллические, а для излившихся — неполнокристаллические и стекловатые структуры.

По *относительному размеру* минеральных зерен выделяют структуры: **равнокристаллические** (равномерно-кристаллические). Если порода полнокристаллическая по степени кристаллизации и размеры минеральных зерен близки по величине;

**неравнокристаллические** структуры выделяются как для полнокристаллических, так и для неполнокристаллических пород.

Для полнокристаллических различают:

**неравнокристаллические**, когда размер минеральных зерен различается не резко;

**порфировидные**, если одни зерна по размеру резко отличаются от других.

Для неполнокристаллических пород различают:

**порфировые**, состоящие из нераскристаллизованной части исходного расплава, которая вне зависимости от ее количества в породе называется «основной массой», и раскристаллизованной — «вкрапленников», представленных кристаллами минералов;

**афировые**, если порода состоит из основной массы без вкрапленников.

Равно- и неравнокристаллические и порфировидные структуры характерны для интрузивных пород, порфировые и афировые — для эффузивных и близповерхностных полуглубинных пород.

Для пород полно- и равнокристаллических выделяют **структуры по абсолютному размеру зерен**, см:

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| Гигантокристаллические             | > 1      |
| Крупнокристаллические              | 1-0,3    |
| Среднекристаллические              | 0,3-0,1  |
| Мелкокристаллические               | 0,1-0,05 |
| Скрытокристаллические (афанитовые) | < 0,05   |

Все вышеперечисленные структуры, от гиганто- до скрытокристаллической, характерны для интрузивных глубинных и полуглубинных пород, афанитовые — для основной массы эффузивных пород (вкрапленники при этом могут иметь различные размеры).

Среди многочисленных структур, выделяемых по взаимоотношениям минералов в породе, макроскопически хорошо различима **пегматитовая** (*письменная*), характеризующаяся закономерным прорастанием полевого шпата кварцем, образующим клинообразные зерна, напоминающие древнееврейские письма, откуда и произошло название структуры.

**Текстуры** изверженных горных пород подразделяют на компактные, когда нет пор и пустот, и некомпактные, если в породе есть пустоты и поры. К компактным текстурам относят: *массивную, пятнистую, флюидальную, полосчатую, миндалекаменную*; к некомпактным — *пористую, пенистую, пузырчатую*.

**Массивная текстура** отличается беспорядочным расположением минеральных зерен, она наиболее характерна для интрузивных пород, нередко встречается и в эффузивных породах.

**Пятнистую текстуру** выделяет при неравномерном распределении светлых и темных минералов в породе. Встречается реже, главным образом в интрузивных породах.

**Флюидальная текстура** отличается ориентированным расположением удлинённых кристаллов, например столбиков роговой обманки, что отражает вязкое течение магмы или лавы в процессе застывания, при котором удлинённые кристаллы, как бревна в реке, располагаются своими длинными осями по направлению течения более или менее параллельно друг другу.

Флюидальная текстура может проявляться также в *полосчатости*, характеризующейся различиями в составе или структуре полос.

**Некомпактные текстуры** характерны для эффузивных пород и связаны с выделением из лавы летучих компонентов, после чего в затвердевшей лаве остаются пустоты округлой или миндалевидной формы.

Если пустоты мелкие (до нескольких миллиметров), образуется **пористая**, более крупные — **пузырчатая текстура**. В особо благоприятных условиях пары и газы могут вспенивать лаву, и при застывании образуется **пенистая**, или **пемзовая, текстура**, в которой пустоты по объёму преобладают.

**Миндалекаменная (мандельштейновая)** текстура характерна для эффузивных горных пород и образуется в результате заполнения пор и пустот в затвердевшей лаве вторичными минералами (кварц, халцедон, кальцит, хлорит и др.). Образовавшиеся миндалины обычно выделяются своим более светлым цветом на фоне темно-серой или черной породы. От вкрапленников миндалины отличаются округлой или миндалевидной формой. Горные породы с миндалекаменной текстурой называют мандельштейнами.

### 2.2.3 Классификация магматических горных пород

В основу классификации магматических горных пород положены химический и минеральный составы и структурные особенности пород (см. таблицу 1).

Химический анализ магматических горных пород показывает, что они состоят в основном из восьми оксидов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . В значительно меньших количествах присутствуют  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и некоторые другие. Из главных оксидов только  $\text{SiO}_2$  присутствует во всех магматических породах в значительных количествах. Оксид  $\text{SiO}_2$  и принят за основу химической классификации изверженных горных пород.

По содержанию кремнезема (оксида  $\text{SiO}_2$ ) магматические породы подразделяют на четыре класса:

- кислые ( $\text{SiO}_2 = 64\text{-}78\%$ ),
- средние ( $\text{SiO}_2 = 53\text{-}64\%$ ),
- основные ( $\text{SiO}_2 = 44\text{-}53\%$ ),

- ультраосновные ( $\text{SiO}_2 = 30-44 \%$ ).

Границы между этими группами магматических пород в известной мере являются условными, так как между породами соседних групп существуют постепенные переход

Та  
бл  
иц  
а

Классификация магматических горных пород нормальной щелочности

| Группы пород по содержанию $\text{SiO}_2$ (в масс. %)  |                                                                               |                            |                                               |                         |                                                        |              |                                           |                 |  |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------|-----------------|--|
|                                                        | кислые (78-64)                                                                |                            | средние (64-53)                               |                         | основные (53-44)                                       |              | ультраосновные (44-30)                    |                 |  |
|                                                        | глубинные                                                                     | изливающиеся               | глубинные                                     | изливающиеся            | глубинные                                              | изливающиеся | глубинные                                 | изливающиеся    |  |
| Породы нормальной щелочности                           | Гранит, гранодиорит                                                           | Риолит, обсидиан, дацит    | Диорит                                        | Андезит                 | Габбро                                                 | Базальт      | Дунит, перидотит, пироксенит, горнблендит | Пикрит, коматит |  |
| Породо-образующие минералы                             | <b>Кварц</b> , КППШ, биотит, кислый плагиоклаз<br>В обсидиане, пемзе - стекло |                            | Средний плагиоклаз, роговая обманка, пироксен |                         | Основной плагиоклаз, пироксен, роговая обманка, оливин |              | Оливин, пироксен, роговая обманка         |                 |  |
| Количество кварца                                      | 15-40 %                                                                       |                            | -                                             |                         | -                                                      |              | -                                         |                 |  |
| Цвет изливающихся пород                                |                                                                               | Белый, серый, светлые тона |                                               | Темно-серый, коричневый |                                                        | Черный       |                                           | Черный          |  |
| Количество темно-цветных минералов в глубинных породах | 10-15 ± 5 %                                                                   |                            | 25 ± 15 %                                     |                         | 50 ± 15 %                                              |              | 100 %                                     |                 |  |

Важным показателем для классификации является содержание в магматической породе щелочей. По сумме щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) выделяют три ряда магматических пород: нормальной щелочности (низкощелочные, известково-щелочные), субщелочные (умеренно-щелочные) и щелочные (с высокой щелочностью).

Границы содержаний суммы щелочей для выделения рядов значительно варьируют в зависимости от группы магматических пород по содержанию оксида  $\text{SiO}_2$ .

По относительному количеству железисто-магнезиальных силикатов в объемных процентах ( $M$  — цветное число) магматические породы подразделяют на ультрамафические ( $M > 70$ ), мафические ( $70 > M > 20$ ) и салические ( $M < 20$ ).

Химический состав магматических пород взаимосвязан с комплексом слагающих их минералов. Минералами — показателями степени кислотности (содержания оксида  $\text{SiO}_2$ ) являются кварц и оливин. Кислые породы отличаются значительным содержанием кварца. Для основных и ультраосновных пород характерен оливин, а кварц может встречаться только как второстепенный (менее 5 %) минерал и макроскопически обычно невиден. Средние по степени кислотности породы, занимая промежуточное положение и по минералогическому составу, являются переходными между кислыми и основными породами. В них выделяют средние кварцевые, переходные к кислым, и средние бескварцевые, переходные к основным породам.

Количество железисто-магнезиальных темноцветных минералов постепенно увеличивается от кислых к основным и ультраосновным породам. Некоторые разности основных и все ультраосновные породы состоят почти на 100 % из цветных силикатов и относятся к ультрамафитам.

Содержание полевых шпатов уменьшается от кислых к основным породам. В кислых и средних породах полевые шпаты развиты широко, в основных — количество их уменьшается, а ультраосновные породы являются бесполевошпатовыми.

Высокая щелочность магматических пород определяется присутствием щелочных минералов, таких как нефелин, калиевый полевой шпат и другие.

Химический и минералогический состав определяют цвет магматической породы: чем кислее порода, тем она светлее, чем основнее — тем темнее. Кислые и средние породы обычно бывают серыми или цветными (розовыми, красными, желтыми), основные — темно-серыми или черными, ультраосновные — черными или темно-зелеными.

Условия образования не оказывают существенного влияния на химический и минеральный состав изверженных пород. Поэтому в классификации по степени кислотности изверженных пород в одну группу объединяют различные по происхождению (интрузивные, эффузивные, жильные), но близкие по химическому и минеральному составу.

Первоначальный минералогический состав магматических пород может заметно меняться в результате вторичных изменений.

Магматические горные породы весьма разнообразны, но лишь немногие из них распространены в земной коре широко. Наиболее широко развиты породы основного и кислого состава.

В земной коре среди магматических пород *около 70 %* составляют *основные* породы, а *кислые* и *средние* вместе — *около 30 %*. На ультраосновные породы приходится незначительная доля процента.

При этом среди эффузивов самыми распространенными являются лавы основного состава (базальты), а среди интрузивных образований — кислые породы (граниты и гранодиориты).

Среди всех типов по степени кислотности (кислые, средние и т. д.) наиболее широко распространены магматические породы нормальной щелочности (известково-щелочные). Однако субщелочные и щелочные породы хотя и развиты меньше, но не являются редкими.

Ниже приводится характеристика наиболее часто встречающихся разновидностей глубинных (плутонических) и эффузивных пород.

### ***2.2.3 Основные разновидности магматических горных пород***

#### ***2.2.3.1 Породы кислого состава***

**Граниты** - плутонические (интрузивные) породы светло-серого, розовато-серого, красного цветов. Структура полнокристаллическая от мелко- до крупнозернистой, равномерно- или неравномерно-зернистая, иногда порфировидная. Текстура плотная, массивная. В количественном отношении граниты состоят из примерно равных долей (20 - 35 %) калиево-натриевого полевого шпата (ортоклаза или микроклина), кислого плагиоклаза (25 - 35 %) и кварца (25 - 40 %). Темноцветных минералов (биотит, мусковит, реже роговая обманка) содержится мало — от 3 до 10 %. Главные породообразующие минералы легко определяются макроскопически. Полевые шпаты - по стеклянному блеску на плоскостях спайности и цвету (розовому, серому, белому различных оттенков). Кварц присутствует в виде бесцветных, дымчато-серых или черных зерен неправильной формы, обладает жирным блеском и раковистым изломом. Слюды образуют блестящие чешуйчато-листоватые кристаллы серебристого (мусковит), темно-бурого или черного цвета (биотит).

**Риолиты** - эффузивный аналог гранитов. Цвет породы белый, светло-серый, часто с желтоватым или розоватым оттенком. Структура порфировая - на фоне скрытокристаллической или стекловатой основной массы выделяются мелкие вкрапленники полевых шпатов, реже кварца. Темные минералы играют второстепенную роль. Чаще всего встречаются черные блестящие листочки биотита, реже игольчатые кристаллы бурой или черной роговой обманки. Риолиты обладают разнообразной текстурой: плотной массивной, пористой, часто флюидальной. Минеральный состав их такой же, как у гранитов.

**Аплит** - гипабиссальный (жильный) аналог гранита. Текстура массивная, структура мелкозернистая, полнокристаллическая. Состоит почти исключительно из светлых минералов: полевых шпатов (калиевых и кислых плагиоклазов) и кварца; биотит содержится в очень незначительном количестве (не более 5 %). Если в граните необычно мало темноцветных минералов, возможно использование термина *аплитовидный гранит*.

**Пегматит** - гипабиссальная (жильная) обычно кислая порода с массивной текстурой и крупнозернистой структурой, состоящая из кварца, полевых шпатов, биотита, мусковита. Специфический внешний облик обусловлен графической (пегматитовой) структурой, когда сквозь крупные кристаллы полевых шпатов закономерно прорастают многочисленные одинаково ориентированные кристаллы кварца. В поперечных разрезах поверхность такого пегматита напоминает рукопись с древнееврейскими клинообразными письменами. Возможно использование термина *письменный гранит*.

**Обсидианы** - застывшее вулканическое стекло. Образуются при очень быстром остывании лавы, излившейся в подводных условиях. Породы черной окраски, а при наличии тонкой примеси гематита красновато-коричневая плотная однородная порода со стекловатой структурой, стеклянным блеском и хорошо выраженным раковистым изломом. Встречаются обсидианы пятнистой и полосчатой окраски, обусловленной струями стекла разного цвета (флюидальная текстура). Содержание воды в обсидианах не превышает 1 %. При большем количестве воды (до 5 — 10 %) обсидианы переходят в перлиты (пехштейны), которые отличаются более светлой серой окраской и перламутровым или жирным смоляным блеском. При нагревании до 1000 - 1200 °С риолитовые перлиты вспучиваются, многократно увеличивая объем вследствие выделения воды.

**Пемзы** - белые, серые, желтые, светло-коричневые, иногда черные, чрезвычайно пористые, шершавые на ощупь породы. По внешнему облику представляют собой вспенившуюся, крупнопузырчатую или длиноволокнистую массу. Состоят из вулканического стекла. Породы очень легкие, удельный вес меньше единицы. Образуются при быстром затвердевании бурно вскипающей, обогащенной флюидами лавы различного, чаще кислого состава. Кусковая пемза характеризуется высокой пористостью (37—79%), низкой объемной массой.

В ходе извержения большинства континентальных вулканов помимо излияния лав в атмосферу выбрасывается огромное количество обломков. Взрывные газовые выбросы захватывают, разбрызгивают и распыляют жидкую лаву, разрушают материал вулканических построек. Раскаленные сгустки твердеющей лавы различной величины и формы остывают во время полета и вместе с обломками пород падают на землю, образуя огромные массы рыхлых твердых продуктов извержения — *тефры* или *пирокластического материала*. Обычно значительная часть рыхлого пирокластического материала размывается и уни-

чтожается поверхностными водами. Сохранившаяся часть со временем уплотняется, гидрохимически цементируется и превращается в крепкие породы — **вулканические туфы**. Они сложены из отдельных обломков вулканического материала, промежутки между которыми (цемент) чаще всего заполнены тонким вулканическим пеплом, реже глинистым или кремнистым осадочным веществом.

### **2.2.3.2 Средние породы**

В этом классе выделяют два ряда - щелочной и нормальный. Породы щелочного ряда характеризуются наличием большого количества калиевого полевого шпата, который доминирует над плагиоклазом.

#### **Щелочной ряд**

**Сиениты** - глубинные интрузивные породы умеренно-щелочного ряда (5 – 12 % суммы щелочей) светло-серого, розового или красного цвета различных оттенков. Структура полнокристаллическая от средне- до крупнозернистой. Обычно структура равномернозернистая, но встречаются сиениты с порфировидной структурой, обусловленной присутствием крупных (до нескольких сантиметров в длину) кристаллов калиево-натриевого полевого шпата. Текстура сиенитов плотная массивная, иногда наблюдается разновидность с субпараллельным расположением таблитчатых кристаллов, составляющих породу. Основные минералы сиенитов - ортоклаз или микроклин (60 - 80 %), в меньшей степени - плагиоклазы (10 -30 %). Темноцветных минералов мало (10-20 %) главным образом это роговая обманка, реже пироксены, иногда также биотит. Излившимся аналогом сиенитов являются трахиты.

**Нефелиновые сиениты** - глубинные интрузивные щелочные (сумма щелочей 14-18 %) полнокристаллические породы. Цвет меняется от светло-серого, розоватого до темно-серого с зеленым оттенком. Структура крупнозернистая, реже гигантозернистая. Текстура обычно плотная массивная, но встречаются породы, в которых таблитчатые кристаллы полевого шпата имеют плоскостную ориентировку, а также полосчатые породы с чередованием полос, обогащенных светлыми и темноцветными минералами. Главные породообразующие минералы — светлые щелочные калиево-натриевые полевые шпаты (20 - 60 %), серовато-зеленый или красновато-бурый нефелин (20 - 45 %), кристаллы которого характеризуются жирным блеском, иногда кислый плагиоклаз (5 - 20 %). Преобладают щелочной полевой шпат и нефелин, составляющие в сумме 50 — 90 % объема породы. Цветные минералы (5 - 40 %) представлены главным образом щелочными пироксенами и амфиболами, реже биотитом.



**Трахиты** - эффузивный аналог сиенитов. Породы светло-белые, серые, желтоватые, розоватые или красные с ясно выраженной порфировой, реже скрытокристаллической или мелкозернистой структурой. В свежем изломе породы обладают шероховатой поверхностью за счет обилия мельчайших кристаллов полевого шпата в основной массе. Текстура обычно мелкопористая. В порах часто наблюдаются мелкие кристаллы вторичных минералов. По минералогическому составу они не отличаются от сиенитов. Крупные вкрапленники представлены, в основном, блестящими или матовыми, нередко водяно-прозрачными зернами калиево-натриевых полевых шпатов, более мелкие - плагиоклазами. Вкрапленников темноцветных минералов (роговая обманка, биотит, пироксены) очень мало.

### **Нормальный ряд**

**Диориты** - plutonic (intrusive) породы серые, темно-серые или зеленовато-серые, обладающие полнокристаллической мелко-, средне- или крупнозернистой структурой. Текстура плотная, массивная. Главный породообразующий минерал диоритов - светлый плагиоклаз (60 - 80 %), определяющий окраску породы. Среди темноцветных минералов обычно преобладают удлиненные кристаллы роговой обманки (0 - 40 %). Кроме того, нередко присутствуют пироксены (5 - 20 %) в виде короткостолбчатых кристаллов и иногда биотит (0 - 30 %). В качестве второстепенного минерала (< 5 %) может встречаться кварц, но невооруженным глазом он практически не виден. Если количество кварца достигает 5 - 15 % и он хорошо замечен, породу называют **кварцевым диоритом**.

**Андезиты** - эффузивный аналог диоритов. Текстура плотная массивная или пористая. Структура скрытокристаллическая, поэтому минеральный состав визуально определить трудно. Класс породы устанавливается по ее цвету. Цвет андезита от светло-серого до серого. На фоне скрытокристаллической или мелкозернистой основной массы хорошо выделяются крупные вкрапленники плагиоклазов и более мелкие вкрапленники роговой обманки и пироксенов, реже биотита.

### **2.2.3.3 Основные породы**

**Габбро** - plutonic (intrusive) породы серого или черного цвета, обладающие полнокристаллической средне- и крупнозернистой, обычно равнозернистой структурой. Текстура плотная массивная, при неравномерном распределении цветных минералов - пятнистая. Главные минералы представлены светлыми основными плагиоклазами и темным пироксеном примерно в равных количествах (35 - 65 %). Иногда встречается габбро с розовым, Mn-содержащим плагиоклазом. Часто пироксен замещается роговой обманкой, в

этом случае габбро называется уралитизированным. Излившимся аналогом габбро являются базальты.

**Базальты** - эффузивные аналоги габбро. Породы темно-серые, черные или зеленовато-черные, обладающие стекловатой, скрытокристаллической или порфировой структурой, а поэтому визуально минеральный состав не определяется. Класс породы устанавливается по чёрному цвету. В порфировых разностях на фоне скрытокристаллической основной массы невооруженным глазом различимы мелкие вкрапленники (до 20 - 25 %) либо зеленовато-желтых изометричных зерен оливина, либо светлого плагиоклаза, а нередко очень крупные, достигающие нескольких сантиметров в длину, черные призмы пироксена. Текстура базальтов может быть плотной, массивной, пористой, миндалекаменной. Миндалины заполнены вторичными минералами: кварцем, халцедоном, кальцитом, хлоритом.

#### ***2.2.3.4 Ультраосновные породы***

**Дуниты** - плутонические (интрузивные) породы темные, почти черные, с зеленоватым оттенком и смоляным блеском на свежем изломе. При выветривании становятся коричнево-бурыми (сверху образуется характерная «корочка»). Структура полнокристаллическая, мелко- и среднезернистая, равномернозернистая. Текстура плотная массивная. Главный минерал, слагающий не менее 90 % объема породы, - магнезиальный оливин, как правило, частично замещенный вторичными минералами из группы серпентина. Характерные второстепенные минералы - пироксены, хромит или титаномагнетит (< 10 %).

**Перидотиты** - плутонические (интрузивные) породы темно-серого до черного цвета. При выветривании становятся бурыми. Структура перидотитов полнокристаллическая, от мелко- до крупнозернистой, равномернозернистая, иногда порфировидная. Текстура плотная, массивная. Состоит из крупных изометричных кристаллов пироксена (10 – 60 %) и очень мелких зёрен оливина (40 – 80 %), распределённых между зёрнами пироксена. Иногда пироксен в перидотитах бывает замещен роговой обманкой.

**Пироксениты** - плутонические (интрузивные) породы. Породы полнокристаллические, часто крупно- и гигантозернистые с ясно различимыми по совершенной спайности и стеклянному блеску призматическими кристаллами пироксена. Цвет пироксенитов в зависимости от состава меняется от серого с желтым и зеленым оттенками до зеленовато-черного. Главными порообразующими минералами являются пироксены, составляющие 60-100 % объема породы. В состав пироксенитов может входить оливин (до 40 %), в переходных породах от перидотитов.

**Горнблендиты** - плутонические (интрузивные) породы. Текстура массивная, структура полнокристаллическая, гигантозернистая; состоит из удлинённых кристаллов роговой обманки чёрного цвета (роговая обманка определяется по углу спайности).

Вулканическими (эффузивными) аналогами ультраосновных пород являются **пикриты**. Характерные особенности пикритов: структура пироксено-оливинофирная, присутствие нормального плагиоклаза (меньше 20 %) и флогопита (меньше 5 %) в основной массе.

#### ***2.2.4 Методика изучения и описания магматических пород***

При изучении магматических пород главными задачами являются определение условий формирования горной породы и класса по степени кислотности (по содержанию оксида  $\text{SiO}_2$ ).

Условия формирования определяют структуру горной породы. Поэтому первоначально следует определить структуру по степени кристаллизации. Если порода состоит из макроскопически различных зерен одного или разного цвета, следовательно, структура полнокристаллическая, а порода глубинная. Если же часть породы состоит из матовой без видимых зерен массы, называемой основной, и макроскопически различных кристаллов — вкрапленников, значит структура неполнокристаллическая порфиристая, а порода — эффузивная.

Излившаяся порода может состоять только из основной массы без вкрапленников, тогда структура называется афировой. Основная масса чаще не полностью раскристаллизована и представляет собой вулканическое стекло с зародышами кристаллов — микролитами. Полностью стекловатые структуры встречаются редко и имеют специфический облик. Они похожи на обломки оконного стекла, имеют ясно выраженный раковистый излом и сильный блеск.

Главным признаком для отнесения магматической породы к тому или иному классу по степени кислотности является вполне определенный набор породообразующих минералов в каждом классе, что определяет цвет горной породы. Светлые серые и цветные (красные, розовые, желтые и др.) породы являются кислыми или средними по степени кислотности, темно-серые и черные — основными и ультраосновными. Кислые породы содержат кварц в значительных количествах (до 40 % и более), оливин в них отсутствует. Основные и ультраосновные породы бескварцевые, для них характерен оливин в разных количествах. В средних породах, переходных по составу между кислыми и основными, кварц и оливин могут присутствовать в небольших количествах, но макроскопически они почти неразличимы.

Выделение разновидностей плутонических пород базируется на макроскопически определяемом составе и количественных соотношениях породообразующих минералов. Для эффузивных пород действительный минеральный состав установить невозможно (при стекловатой или неполнокристаллической основной массе), поэтому главным критерием остается химический состав. При

определении минерального состава следует помнить, что минералы в породе почти всегда различаются по цвету (если серые, то по тону более или менее темному), часто по форме зерен (округлые, вытянутые, листоватые, чешуйчатые) и по главным физическим признакам (излому, спайности, блеску).

### ***Порядок описания интрузивных пород***

1. Цвет.
2. Структура (по степени кристаллизации, по относительному размеру зерен и для равно-, полнокристаллических по абсолютному размеру зерен).
3. Текстура.
4. Минералогический состав в процентах.
5. Характеристика каждого из минералов, входящих в состав породы (размер и форма зерен, цвет, спайность, излом, блеск).
6. Вывод: название породы, условия образования, класса по степени кислотности и щелочности.
7. Эффузивный аналог.

### ***Порядок описания эффузивных пород***

1. Цвет.
2. Структура (по степени кристаллизации, по относительному размеру зерен).
3. Текстура.
4. Соотношение основной массы и вкрапленников в процентах.
5. Характеристика основной массы (цвет, особенности).
6. Характеристика вкрапленников (цвет, форма и размер зерен, спайность, блеск, излом, вторичные изменения).
7. Вывод: название, условия образования, класс по степени кислотности и щелочности.
8. Глубинный аналог.

После окончания лабораторных занятий проводится коллоквиум для проверки и закрепления полученных знаний.

## 2.3 Метаморфические горные породы

### 2.3.1 Общие сведения о метаморфизме

Горные породы после формирования могут попасть в такую геологическую обстановку, которая будет существенно отличаться от обстановки образования породы и на нее будут оказывать влияние различные эндогенные факторы: давление (нагрузка) вышележащих толщ, глубинные флюиды, растворы и газы, вода, водород, углекислота и др. Изменение магматических и осадочных пород в твердом состоянии под воздействием эндогенных факторов и называется **метаморфизмом**. Преобразованию могут подвергаться любые горные породы: осадочные, магматические и ранее образовавшиеся метаморфические. В физико-химических условиях, отличных от тех, в которых образовались горные породы, происходит изменение их минерального состава, структуры и текстуры. Изменение минерального состава при метаморфизме может протекать **изохимически**, т. е. без изменения химического состава метаморфизируемой породы, и **метасоматически**, т. е. со значительным изменением химического состава метаморфизируемой породы за счет привноса и выноса вещества. Особенность метаморфических процессов заключается в том, что они протекают с сохранением твердого состояния системы, без существенного расплавления пород. Лишь при определенных физико-химических условиях метаморфизм сопровождается частичной или полной кристаллизацией исходных пород. Процессы подобного характера объединяются под названием **ультраметаморфизма**.

В зависимости от интенсивности метаморфических процессов наблюдается постепенный переход от слабо измененных, сохраняющих состав и структуру исходных разностей, до глубоко преобразованных пород, первичная природа которых практически утрачена. Метаморфические отложения широко распространены в земной коре.

**Метаморфизм** - процесс преобразования любых горных пород под воздействием изменившихся физико-химических условий среды. Он реализуется преимущественно путем перекристаллизации пород без существенного плавления под воздействием меняющихся температур, давлений, газовой (флюидной) среды. Преобразуя свой минеральный состав, порода, таким образом, приспосабливается к изменившимся термодинамическим (Т-Р) условиям.

Название термина происходит от греческого слова *metamorpho* – преобразование, превращение. Метаморфическим преобразованием могут подвергаться изначально осадочные, магматические и (повторно) метаморфические породы. При этом исходные породы, как правило, после таких преобразований полностью теряют свой первоначальный облик.

Факторами метаморфизма, т. е. непосредственными причинами преобразования пород, являются: давление (Р), температура (Т), а также растворы и газы (флюиды), пронизывающие толщи горных пород.

**Давление** при метаморфических преобразованиях может быть обусловлено рядом причин: давлением нагрузки вышележащих толщ (литостатическим -  $P_l$ ), динамическим давлением тектонического движения (стрессовым -  $P_c$ ), давлением движущейся магмы ( $P_m$ ), а также давлением поровых (гидротермальных и флюидных) растворов ( $P_f$ ). Главным среди отмеченных причин следует считать тектоническое или стрессовое давление, способное достигать десятков тысяч атмосфер и распространяться на огромные пространства. При проявлении тектонического или стрессового давления роль нагрузки вышележащих пород может оказаться незаметной, а проявление магматического и порового давления флюидов на таком фоне может повлиять на характер минеральных преобразований лишь локально, в местах их проявления.

**Температуры** метаморфических преобразований могут быть обусловлены несколькими причинами и достигать уровней, когда порода начинает плавиться, т. е. 1000 - 1200 °С. Всегда существует температурный фон, обусловленный глубиной погружения пород, т. е. геотермическим градиентом ( $T_g$ ), составляющим обычно около 30°/1 км. Однако основные тепловые превращения в породе осуществляются за счет тектонических подвижек ( $T_c$ ), а также нередко сопровождающих такие движения аномальных глубинных тепловых потоков ( $T_f$ ). На контакте с магматическими породами преобразование осуществляется за счет прогрева пород очагом остывающей магмы ( $T_m$ ).

**Гидротермальные растворы и флюиды**, которые способны приносить или выносить различные химические компоненты, могут влиять на характер минералообразования, создавать специфическую окислительную или восстановительную ( $E_h$ ), а также кислую либо щелочную ( $pH$ ) среды.

Глубинные флюиды насыщены, прежде всего, парами воды и углекислоты, а также более редкими соединениями водорода, хлора, фтора и др.

## Типы метаморфизма

В зависимости от сочетания упомянутых выше факторов выделяются те или иные типы метаморфизма. Наиболее простая схема типов метаморфизма, выделяющихся в зависимости от термодинамических ( $P$ ,  $T$ ) параметров, показана на Рис. 2.1., а геологические условия их проявления - на Рис. 2.2. Можно говорить о контактовом типе метаморфизма, когда порода преобразуется преимущественно под воздействием температуры, а также динамическом, когда основным фактором выступает давление, и динамотермальном, когда проявляются оба фактора одновременно. Каждый из этих типов обладает своими специфическими геологическими условиями проявления (Рис. 2.2).

**Контактовый тип метаморфизма** проявляется в породах обрамления магматических тел, на контакте с ними, поэтому он называется контактовым. Температура магматических тел колеблется в интервале 800-1200° С, а вмещающие породы, разогретые первоначально за счет геотермического градиента, могут быть относительно «холодными». Ширина зоны (ореол) контактового метаморфизма зависит, главным образом, от объема магматического очага и

может достигать нескольких километров. Если вмещающая порода разогрета жильным магматическим телом (пегматитовая жила, дайка гранитоидов и т. д.), то прогретой бывает лишь узкая полоса в несколько метров.

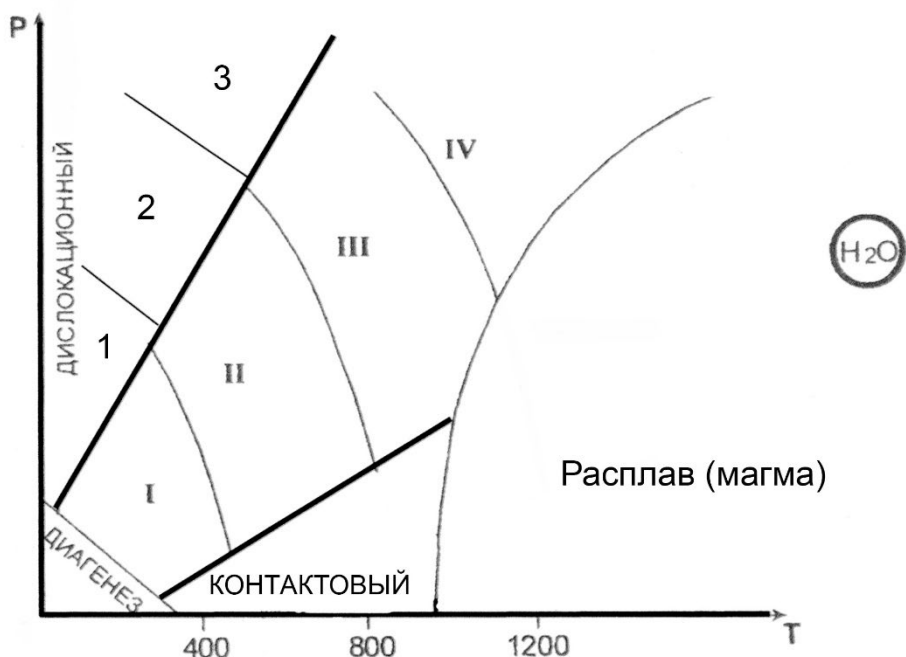


Рис. 2.1. Типы метаморфизма

Фации умеренного давления: I – зеленосланцевая, II – Эпидот - амфиболитовая, III – амфиболитовая, IV – гранулитовая

Фации высокого давления: 1 – глаукофановая, 2 – дистен-мусковитовых сланцев и дистеновых гнейсов, 3 – эклогитовая

Весьма существенную роль при контактовом метаморфизме играет химический состав магмы и вмещающих пород, а точнее, контрастность состава между ними. В случае резкого контраста между многокомпонентной магмой и вмещающими породами на их контакте протекают диффузионные процессы взаимного проникновения, меняющие как состав внешней оболочки магматического тела, так и состав вмещающих пород. Такой процесс перекристаллизации пород, протекающий с существенным изменением их первичного химического состава, называется **метасоматозом**. Обычно метасоматоз сопровождается интенсивной гидротермальной и флюидной проработкой, способствующей приносу и выносу химических компонентов. Типичными представителями таких контактово-метасоматических процессов (на границе между силикатными магмами и известняками) являются скарны. С другой стороны, в случае, если силикатная магма находится в контакте с близкими ей по химическому составу вмещающими породами, то формируются роговики - прогретые и перекристаллизованные продукты метаморфизма первичных пород без проявления метасоматоза.

**Метасоматоз контактовый** – процесс метасоматического изменения горных пород в контакте с интрузивными телами. При метасоматозе образуются как экзометасоматиты, то есть контактовоизмененные вмещающие породы под воздействием внедрившихся в них интрузий, так и эндометасоматиты, являющиеся продуктами изменения самих интрузивных образований при биметасоматических реакциях. Температурный режим этих процессов изменяется от 900 до 300-200 °С. Примерами контактового метасоматоза служат скарнообразование, грейзенизация и пр.

**Дислокационный метаморфизм** протекает в условиях высокого стрессового давления, под воздействием тектонических движений по крупным разрывным нарушениям (разломам). При этом происходит дробление пород с

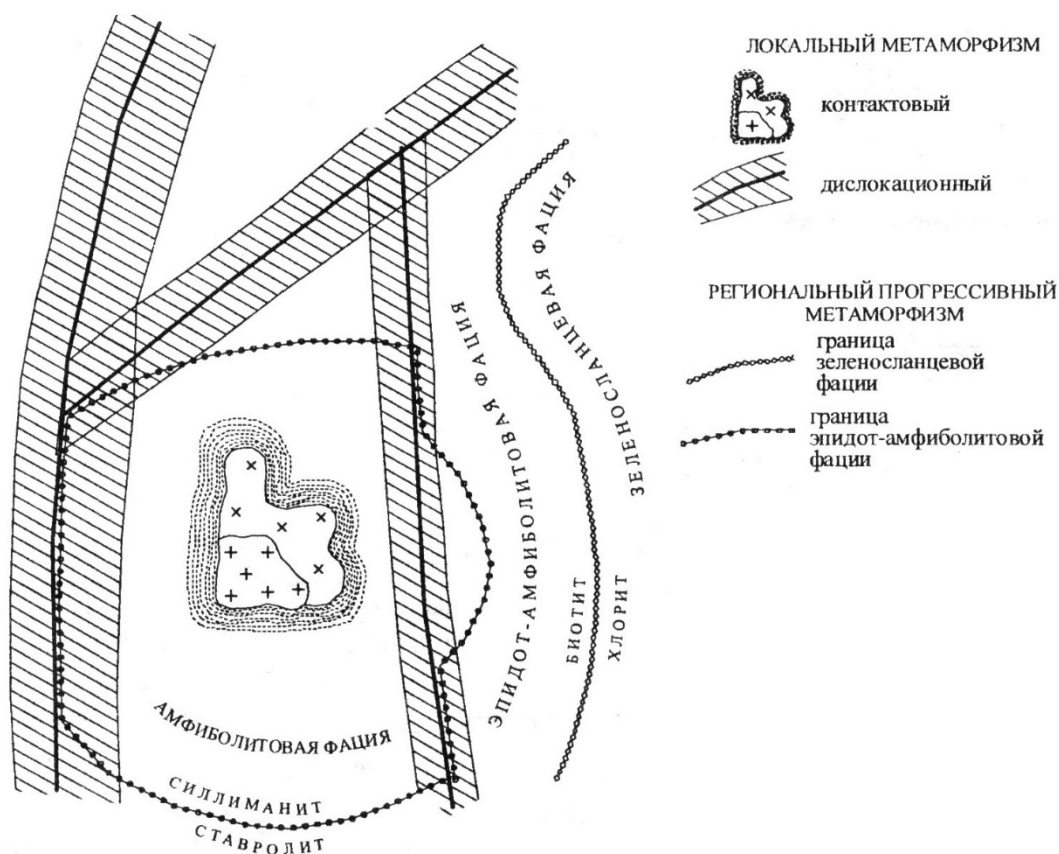


Рис. 2.2. Схематическая карта метаморфизма

образованием структур катаклаза, а под действием проникающих в ослабленные зоны флюидов (гидротермальных растворов), горные породы подвергаются частичной или полной перекристаллизации и цементации.

Новообразованными минералами - индикаторами высоких давлений являются кианит, глаукофан, пироп, омфацит (пироксен), алмаз. Эти минералы фиксируют давления больших глубин, где всегда имеется и некоторый температурный фон, создаваемый геотермальным градиентом. В приповерхностных условиях можно наблюдать и неперекристаллизованные брекчии, милониты, филлониты.



Процессы контактового и дислокационного типов метаморфизма протекают в ограниченных пространствах, т. е. развиваются локально. Контактный метаморфизм проявляется в виде узкой полосы вокруг магматических тел, а дислокационный – такой же полосой сопровождает тектонические трещины, в связи с чем эти два типа метаморфизма объединяются под общим названием **локальный метаморфизм** (Рис.2.3).

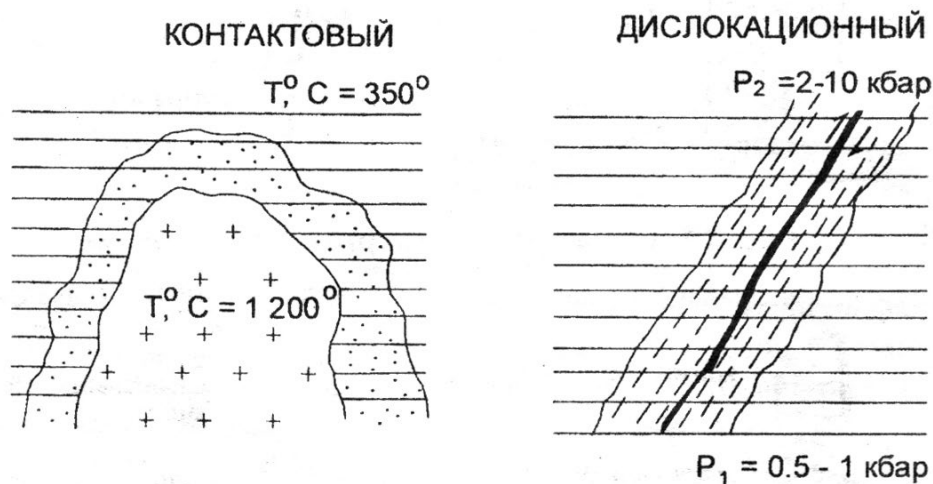


Рис. 2.3. Локальные типы метаморфизма

В противоположность локальному выделяют **региональный метаморфизм**.

Региональный метаморфизм – широкомасштабный процесс, охватывающий огромные территории в пределах подвижных поясов земной коры. Главными его факторами являются температура и давление, а также воздействие воды и углекислоты, содержащихся в исходных породах и способствующих ходу химических реакций. Преобразование горных пород, происходящее на глубине без существенного плавления и метасоматоза, сопровождается перекристаллизацией и развитием новых минералов в условиях расплющивания и пластического течения вещества, что приводит к появлению характерной для метаморфических образований ориентированности (параллельному расположению) минеральных зерен. Породы регионального метаморфизма имеют наиболее широкое распространение.

### Фации метаморфизма

В зависимости от параметров метаморфизма и минерального состава образующихся пород выделяют **фации метаморфизма**, понимая под этим термином совокупности горных пород, минеральный состав которых находится в равновесии при данных условиях метаморфизма.

Для метаморфических пород, в соответствии с типами метаморфизма, выделяют две группы фаций:

- фации умеренных давлений (региональный метаморфизм);
- фации высокого давления (дислокационный метаморфизм).

Метаморфические породы **умеренных давлений** подразделяются на четыре фации. По мере возрастания Р-Т условий регионального метаморфизма выделяют: 1 – зеленосланцевую фацию; 2 – эпидот-амфиболитовую фацию; 3 – амфиболитовую фацию; 4 – гранулитовую фацию. Название фации определяется по типичной породе, сложенной определенной ассоциацией минералов. В области термодинамических условий гранулитовой (иногда амфиболитовой) фации в породе может отмечаться частичное плавление, такое преобразование называют ультраметаморфизмом. Это переходная зона от метаморфизма к магматизму, сложенная мигматитами.

**Фация зеленых сланцев (зеленосланцевая)** соответствует наиболее низкотемпературной ступени регионального метаморфизма и объединяет породы, сформировавшиеся в температурном интервале 250-450 °С при давлении от 1,5 до 3 кбар. Широкое развитие минералов зеленого, светло-зеленого цвета (хлорита, актинолита, серицита, талька и др.) определило название фации.

**Эпидот-амфиболитовая фация** отвечает более высокотемпературной ступени регионального метаморфизма ( $T = 450-600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 3-6\text{ кбар}$ ) и поэтому характеризуются заменой низкотемпературных минералов более высокотемпературными. Граница определяется линией исчезновения хлорита и замещением его биотитом. В этой фации появляется гранат, эпидот, ставролит, роговая обманка и другие. Наиболее широко распространены кристаллические сланцы с гранатом, биотитом, мусковитом, ставролитом.

**Амфиболитовая фация** представлена гнейсами, амфиболитами, для образования которых требуются уже значительные температуры и давление ( $T = 600-800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 4-8\text{ кбар}$ ). При этих условиях исчезает эпидот, ставролит. Название фации определяется формированием типичных пород – амфиболитов, сложенных преимущественно роговой обманкой.

При высоком содержании в породах воды наступает частичное их плавление – анатексис с возникновением гранитного расплава, что приводит к образованию мигматитов.

**Гранулитовая фация** отличается наиболее высокими параметрами метаморфизма ( $T = 750-1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 6-11\text{ кбар}$ ). Такие условия создавались на больших глубинах, на ранних стадиях развития Земли – архейского и протерозойского эонов. Породы, сформированные в условиях этой фации, почти полностью лишены воды; гидроксилсодержащие минералы в них содержатся редко.

В условиях дислокационного метаморфизма выделяются **фации высокого давления**, которые локализуются в глубинных узких тектонических зонах, формируются в условиях повышенного давления (до 10-20 кбар) и температурах 300-800 °С.

**Глаукофановая фация** является наиболее низкотемпературной и в этом отношении сопоставимой с зеленосланцевой фацией. Эта фация характеризует-

ся развитием различных сланцев, в которых обычно присутствует хлоритоид, фенгит, парагонит, глаукофан.

**Фация дистен-мусковитовых сланцев и дистеновых гнейсов** соответствует примерно интервалам температур эпидот-амфиболитовой фации умеренных давлений, но наряду с минералами, свойственными указанной фации появляются новые минералы, индикаторы высокого давления – дистен, омфациит, глаукофан, пироповый гранат, парагонит и ряд других минералов. Обычными породами этой фации являются дистен-мусковитовые (парагонитовые) сланцы и более высокотемпературные дистеновые гнейсы.

**Эклогитовая фация** включает весьма своеобразные породы, называемые эклогитами. Главными минералами эклогитов является пироксен (омфациит) и гранат (пироп).

### **2.3.2 Особенности минерального состава метаморфических горных пород**

Широкий диапазон термодинамических условий проявления метаморфизма обусловил большое разнообразие минерального состава пород. Кроме того, этот набор минералов зависит от состава исходных пород. Сам механизм перекристаллизации пород, протекающей в твердом виде, представляет собой сложный процесс замещения одних минералов (неустойчивых при новых Р-Т- условиях) другими, более устойчивыми. При этом важную роль играют поровые флюиды как катализаторы реакций замещения.

Кроме упоминавшихся ранее минералов, входящих в состав магматических пород, выделяется группа минералов, характерных преимущественно для метаморфических пород.

**Тальк** – низкотемпературный чешуйчатый минерал, возникающий при гидротермальной проработке магнезиальных пород. Мягкий, с жирным блеском.

**Хлорит** – низкотемпературный чешуйчатый минерал часто с зеленоватым оттенком. Образуется при гидротермальной проработке основных пород.

**Серпентин** – возникает как продукт гидротермальной проработки ультраосновных пород. Не обладает четко выраженной формой (иногда образует волокнистые агрегаты), серого с зеленоватыми оттенками цвета.

**Серицит** – низкотемпературная, мелкочешуйчатая, наиболее гидроксилнасыщенная разновидность слюды - мусковита. Присутствие в породе серицита обуславливает ее шелковистый блеск.

**Эпидот** – образует призматические кристаллы, лучистые или зернистые агрегаты. Цвет светло-зеленый. Блеск сильный стеклянный.

**Гранат** – кристаллы изометричные в виде ромбододекаэдров, реже зернистые агрегаты. Цвет – от коричневого до красного. Макроскопически легко узнается по характерному облику кристаллов и цвету.

**Актинолит** – низкотемпературная разновидность роговой обманки. Образуется волосовидные, тонколучистые неориентированные агрегаты. Цвет светло-зеленый.

**Глаукофан** – разновидность роговой обманки, образующаяся при высоких давлениях. Образует тонколучистые агрегаты. Цвет густофиолетовый до черного.

**Ставролит** – кристаллы в виде коротких ромбического сечения призм, характерные двойники, напоминающие прямой или косой (угол  $60^\circ$ ) крест. Цвет коричневый, красно-бурый до черного. Легко узнается по цвету и двойниковым формам.

**Дистен (кианит)** – кристаллы длинные, уплощенные. Имеет анизотропию твердости. Цвет голубой или синий.

### ***2.3.3 Текстуры и структуры метаморфических горных пород***

Текстуры и структуры метаморфических пород зависят от специфических физических условий их образования. Эти условия отличаются от термодинамических параметров кристаллизации магматических пород, для которых действует в полной мере известный закон Паскаля, обеспечивающий при любом направлении тектонических движений одинаковое давление во все стороны. Этим условием обеспечивается повсеместная массивная текстура глубинных магматических пород. Слюды в гранитах, например, благодаря действию закона Паскаля, не ориентированы в одном направлении.

Метаморфические процессы не достигают условий плавления, поэтому породы изменяются в твердом или пластичном состоянии, когда закон Паскаля работает лишь частично или не проявляется вовсе. Для регионального метаморфизма, например, ориентированное давление влияет на форму возникающих минералов, а также на их параллельную или субпараллельную ориентировку. Поэтому у низкотемпературных продуктов регионального метаморфизма отмечаются, как правило, **сланцеватые текстуры** с параллельным и субпараллельным расположением вытянутых, уплощенных или чешуйчатых минералов.

С повышением температуры, в условиях амфиболитовой фации, когда вещество начинает проявлять пластические свойства, а значит, частично проявляется закон Паскаля, четкая ориентировка удлиненных, уплощенных минералов постепенно исчезает, т. к. давление становится, до определенной степени, всесторонним. Такая текстура со слабо выраженной ориентировкой минералов называется **гнейсовой**, по названию главного и типичного представителя пород амфиболитовой фации - гнейса.

Максимальное проявление закона Паскаля достигается в условиях гранулитовой фации, поэтому ее продукты не несут следов ориентировки минералов, а текстура становится **массивной** как у глубинных магматических пород.

Так как региональный метаморфизм протекает в условиях тектонического давления, то сланцеватые текстуры могут усложняться мелкой складчатостью. Тогда такая текстура называется **плойчатой**. Нередко метаморфические процессы высокотемпературных фаций сопровождаются расслоением первично однородной массы на слои контрастного минерального состава. Образуются

темноокрашенные (с амфиболом, слюдами) и светлоокрашенные (с кварцем, полевым шпатами) слои. В этом случае говорят о **полосчатой** текстуре пород.

Более широкий диапазон текстур характерен для продуктов локального (контактового и дислокационного) метаморфизма. Для скарнов, роговиков, березитов, лиственитов, мраморов, образующихся при контактовом метаморфизме без проявления тектонического (стрессового) давления, наиболее часто отмечается **массивная** текстура, хотя может встречаться пористая, ноздреватая, пятнистая и другие.

Структурные особенности метаморфических пород также в существенной степени определяются Р-Т условиями среды минералообразования. Очевидно, что в условиях полной анизотропии среды, когда относительно «холодная» твердая порода подвергается тектоническому направленному сжатию, легче кристаллизоваться и расти чешуйчатым минералам, которые относительно легко могут наращивать свой размер вкрест, перпендикулярно вектору давления. В то же время в условиях изотропной среды гранулитовой фации, когда давление становится всесторонним, возникают благоприятные условия для кристаллизации изометричных, объемных минералов.

Так как для метаморфических процессов отмечается тесная обусловленность внешними факторами формы минералов, эта особенность заложена в понятие структуры (в противоположность магматическим и осадочным породам, где в понятие структуры вкладывается не форма, а размер минералов, зерен и т. д.). Форма минералов, а значит и структура породы, совместно с ее текстурными особенностями позволяют восстанавливать Р-Т условия образования продуктов метаморфизма.

Конкретные названия структур определяются несколькими латинскими названиями упомянутых форм минералов: лепидос - чешуйка; нематос - нить, иголка; гранос - зерно. Кроме того, следует помнить, что метаморфизм – процесс постоянного обновления минерального состава породы, все минералы вновь выросшие, возникшие. Этот процесс называется бластезом (от греческого «бластос» – росток). В итоге структуры продуктов регионального метаморфизма, в зависимости от формы слагающих ее минералов, могут называться: лепидобластовая, гранобластовая, нематобластовая, либо более сложными комбинированными названиями: лепидо-гранобластовая, немато-гранобластовая или лепидо-немато-бластовая т. д.

**Гранобластовая структура** чаще отмечается для пород амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма при наличии зерен изометричной формы кварца, полевых шпатов, гранатов, карбонатов и др.

**Лепидобластовая** характерна обычно для зеленосланцевой фации при обилии чешуйчатых, листоватых минералов – серицита, мусковита, биотита, хлорита, талька, серпентина.

**Нематобластовая** в чистом виде встречается редко (амфиболиты, актинолитовые сланцы) и отличается наличием минералов игольчатой, длинно-призматической формы (эпидот, роговая обманка, актинолит, кианит, рутил).

Иногда в породе отмечаются разноминеральные агрегаты, когда один из новообразованных минералов резко выделяется по размеру среди остальных. В этом случае можно говорить о **порфиробластовой** структуре.

Значительно меньшую информацию об условиях образования несут структуры контактового метаморфизма, продукты которого чаще всего обладают **кристаллобластовыми** структурами.

Среди пород регионального метаморфизма имеется два характерных исключения. В зависимости от Р-Т условий различные формы минералов возникают лишь в том случае, если в исходном химическом составе имелись в наличии необходимые порообразующие компоненты, позволяющие строить все многообразие решеток минералов (чешуйчатых, игольчатых, зернистых). Среди осадочных пород известны два мономинеральных, а значит простых по составу, образования - известняки ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) и кварцевые пески ( $\text{SiO}_2$ ). При метаморфизме эти простые по составу породы не способны формировать игольчатые, чешуйчатые и другие, кроме зернистых, формы. Поэтому известняки при метаморфизме переходят в мономинеральную (с одним кальцитом) породу – мрамор с возможным укрупнением зерна по мере роста температуры. Аналогично ведут себя кварцевые пески, которые способны образовать только зернистый агрегат кварцита. Так как отмеченные породы не способны реагировать на давление изменением формы зерен, то для них, обычно, трудно восстановить тип метаморфизма – региональный или контактовый.

### ***2.3.4 Главные разновидности метаморфических горных пород***

#### **Продукты регионального метаморфизма (умеренного давления)**

Продукты регионального метаморфизма отличаются большим разнообразием. Это обусловлено, во-первых, разнообразием исходного состава горных пород (эдукта), во-вторых, зависимостью минерального состава пород от термодинамических условий (породы одного химического состава в условиях разных фаций имеют различный минеральный состав). Некоторым исключением выглядят две упомянутые выше породы: мрамор и кварцит, краткое описание которых приведено ниже.

**Мрамор** - карбонатная порода, образующаяся при метаморфизме известняков и доломитов и сложенная преимущественно кальцитом. Мраморы высокой степени метаморфизма лишь немногим отличаются от мраморов низкой степени. При увеличении температуры может возрасти крупность минеральных зерен. В остальном породы идентичны, хотя их генезис может быть весьма разнообразным. Чистые разновидности мраморов имеют белый цвет, различные минеральные примеси окрашивают их в розовые (гематит), желтые (лимонит), серые (органическое вещество), зеленые (хлорит, эпидот) оттенки. Текстура массивная, реже полосчатая; структура гранобластовая.

**Кварцит** - горная порода, состоящая существенно из кварца. Образуется при метаморфизме кварцевых песчаников и некоторых кислых магматических пород (кварцевых порфиров). Так как кварц слабо реагирует на изменение термодинамических условий, фациальный уровень того или иного кварцита (если нет других минеральных примесей) определить очень трудно. Кварциты низких и высоких степеней метаморфизма, в силу упомянутых причин, очень похожи. Цвет чистых кварцитов белый, в зависимости от примесей может обладать розовым, черным, желтым, зеленым оттенками. Текстура массивная; структура гранобластовая.

Внешне кварцит очень похож на мрамор, но отличается от него следующими свойствами: твердостью (кварцит царапает стекло, мрамор - нет), спайностью зерен (у кальцита совершенная спайность в трех направлениях, у кварца отсутствует), реакцией с соляной кислотой (мрамор «вскипает» в кислоте, кварцит не реагирует).

**Яшма** – слабометаморфизованные осадочные кремнистые породы, обладающие пятнистой или полосчатой текстурой, обусловленной чередованием участков или тонких слоев различной окраски. Красивые сочетания цветов (красные, желтые, зеленые, коричневые и др.) и своеобразные текстуры при высокой твердости и прочности поставили яшмы в ряд поделочных камней. Они слагаются скрытокристаллическим и микрозернистым кварцем, халцедоном, а окрашены оксидами железа и марганца.

**Яшмоид** – кремнистая порода, по внешнему виду и физико-химическим свойствам близкая к яшмам. Большинство из них образовались путем окремнения различных пород (осадочных, магматических, метаморфических). Окраска яшмоидов самая разнообразная, текстура плотная, массивная, структура скрытокристаллическая гранобластовая. Яшмоиды, как правило, в значительной степени метаморфизованы.

Полиминеральные породы в условиях регионального метаморфизма изменяют свой минеральный состав в зависимости от фациальных условий, поэтому эти породы будут рассмотрены в рамках минеральных фаций.

### **Фация зеленых сланцев**

**Филлит** образуется в самой низкотемпературной области фации зеленых сланцев. Исходной породой филлитов обычно являются аргиллиты (глинистые сланцы). Глинистые минералы в результате метаморфизма преобразуются в кварц, серицит, иногда хлорит, альбит (полевошпат), часто с примесью графита. Так как зерна очень мелкие, визуально минеральный состав не устанавливается, а внешне это темная, почти черная (за счет примеси графита) сланцеватая порода с шелковистым блеском на плоскостях сланцеватости, обусловленным присутствием серицита. Часть исходного минерального состава может оставаться неперекристаллизованной. Текстура сланцеватая, структура

чаще всего гранолепидобластовая. Гранулярность породы нередко обусловлена сохранившимся зернистым кварцем.

**Кварц-серицитовый сланец** является продуктом зеленосланцевой фации прогрессивного регионального метаморфизма и образуется либо по аргиллитам (глинистым сланцам), либо по аркозовым песчаникам, или кислым магматическим породам. Основными минералами являются кварц, серицит (мелкочешуйчатый мусковит), альбит (полевои шпат). В зависимости от исходного состава пород могут присутствовать хлорит, эпидот или карбонаты. Размер зерен очень невелик (до 0,5 мм), поэтому отдельные минералы определяются с трудом. Цвет породы светло-серый, иногда с зеленоватым оттенком (за счет хлорита и эпидота); на плоскостях спайности – шелковистый блеск, обусловленный присутствием серицита, текстура сланцеватая, иногда плейчатая; структура грано-лепидобластовая.

**Хлоритовый (зеленый) сланец** - продукт зеленосланцевой фации прогрессивного регионального метаморфизма основных магматических пород. Это сланцеватые зеленые породы, цветом своим обязаны обилию одного или более зеленых минералов (хлорита, эпидота и актинолита), из других минералов практически всегда отмечается альбит (полевои шпат) и кварц. Структура породы лепидобластовая. Кварц-хлоритовый сланец имеет лепидо-гранобластовую структуру

**Тальковый сланец** образуется за счет низкотемпературного гидротермального метаморфизма ультраосновных магматических пород (перидотитов и дунитов), а также серпентинитов. Основным минералом породы является тальк (не менее 75 %, обычно 90 %), могут присутствовать хлорит, актинолит, серпентин, карбонаты. Текстура сланцеватая, структура лепидобластовая.

### **Эпидот-амфиболитовая фация**

**Сланцы кристаллические** — общее название обширной группы метаморфических пород, характерных для эпидот-амфиболитовых фаций. Различают ортосланцы, образовавшиеся из интрузивных пород, и парасланцы, образовавшиеся из осадочных пород. Основными минералами этих сланцев являются биотит, мусковит, кварц, полевые шпаты. При этом в сланцах преобладают слюды (биотит и мусковит), поэтому для них характерна грубая рассланцованность. Помимо этих минералов в кристаллических сланцах, как правило, присутствуют порфиروبласты граната, кианита, ставролита. Текстура сланцеватая, грубосланцеватая; структура лепидогранобластовая, гранолепидобластовая, порфиробластовая. Наиболее распространены сланцы двуслюдяные, мусковит-гранатовые, биотит-гранатовые, двуслюдяные со ставролитом.



## **Амфиболитовая фация**

**Гнейс** - продукт дальнейшего метаморфизма слюдяных кристаллических сланцев, т. е. исходными породами гнейсов являются осадочные и кислые породы. Главные минералы гнейсов – кварц, полевые шпаты, слюды (биотит, мусковит) и роговая обманка; может присутствовать гранат, кианит и др. Наиболее характерным отличием гнейсов от кристаллических сланцев является гнейсовая (полосчатая) текстура – чередование светлых кварц - полевошпатовых и темных биотит-роговообманковых прослоев – без отчетливой ориентировки удлиненных и чешуйчатых зерен. Такая расслоенность является результатом «метаморфической дифференциации» прогретых до высокой пластичности пород, при которой обычно не образуется сланцеватых структур. Структура лепидогранобластовая.

**Амфиболит** – типичная темно-зеленая порода амфиболитовой фации регионального метаморфизма, производная от основных магматических пород, сложена преимущественно роговой обманкой и плагиоклазом. В ней могут присутствовать в небольших количествах гранат, биотит и кварц. Текстура визуально массивная, но нередко наблюдается полосчатая «гнейсовая» текстура. Структура нематогранобластовая или гранонематобластовая.

## **Гранулитовая фация**

**Гранулит** – обычно светлая мелко-, среднезернистая сланцеватая порода, состоящая в основном из двух пироксенов (гиперстен и диопсид), калиевого полевого шпата (ортоклаза), иногда кварца, граната, биотита, роговой обманки. Структура породы преимущественно гранобластовая.

## **Продукты дислокационного метаморфизма (высокого давления)**

При дислокационном метаморфизме основным фактором является одностороннее (стрессовое) давление, которое возникает при тектонических подвижках (взбросах, сдвигах, надвигах и т. д.).

## **Фация глаукофановых сланцев**

**Тектонические брекчии** - сильно раздробленные породы, состоящие из угловатых обломков различных размеров, сцементированных частицами тех же, но более мелко раздробленных пород. Тектонические брекчии являются продуктом низших ступеней дислокационного метаморфизма.

**Катаклазит** - сильно раздробленная, перетертая горная порода, состоящая из деформированных, изогнутых, раздробленных зерен минералов и мелкогранулированной полиминеральной связующей массы (цемента). В

катаклазите не наблюдается явлений перекристаллизации и минералообразования.

**Милонит** - еще более тонкоперетертая горная порода. От катаклазита отличается большей степенью раздробленности минеральных зерен и наличием линзовидно-полосчатой, сланцеватой текстуры, которая возникает вследствие неоднократных разнонаправленных перемещений блоков породы. В результате образуются линзы грубо раздробленного материала, сцементированные тонко раздробленной породой, частично перекристаллизованной.

**Глаукофановые сланцы** - мелкокристаллические темно-зеленые или серые породы с голубым оттенком, сланцевой текстуры. В состав входят глаукофан, актинолит, лавсонит, гранат, парагонит и др. Состав глаукофана непостоянен и широко варьирует в ряду глаукофан – рибекит. Условия температуры, при которой формируются глаукофановые сланцы, мало отличаются от условий образования зеленых хлоритовых сланцев. Появление роговой обманки типа глаукофан-рибекит обусловлено более высоким давлением.

#### **Фация дистен-мусковитовых сланцев, дистеновых гнейсов**

**Дистен-мусковитовые сланцы** представляют собой светлые породы сланцеватой текстуры, сходные с мусковит-кварцевыми сланцами умеренного давления и отличающиеся лишь присутствием порфробластических выделений кианита и ставролита. Порфиробласты имеют обычно хорошие кристаллографические очертания, размер зерен кианита 0,5-3,0 см, реже крупнее. Структура сланцев лепидо-немато-гранобластовая.

**Дистеновые гнейсы** – породы темно-серого цвета полосчатой или гнейсовой текстуры, в которой кварц-полевошпатовые прослои чередуются с прослоями, сложенными темноцветными минералами. Содержание темноцветных минералов в породе 10-25 %. Двуслюдяные плагиогнейсы с порфиробластическими выделениями кианита. Кианит находится в породе в виде неориентированных порфиробласт размером 0,5-4,0 см, голубого и серого цветов, встречается как в кварц-полевошпатовых, так и в темноцветных прослоях.

#### **Эклогитовая фация**

**Эклогит** – порода темно-зеленого цвета, кристаллически зернистая, массивная, иногда слабо сланцеватая порода, состоящая в основном из граната (пиропового ряда) и пироксена (омфацита), является продуктом метаморфизма высоких температур и очень высоких давлений. Исходными для эклогитов являются основные магматические породы. Омфацит темно-зеленого цвета. Гранат в эклогите представлен пиропом, который

образует крупные порфиробласты красно-коричневого цвета, структура эклогитов гранонематобластовая. При снижении температуры пироксен может замещаться глаукофаном, тогда порода приобретает фиолетовый оттенок.

### **Продукты контактового метаморфизма и метасоматизма**

**Роговик.** В случае если контактовый метаморфизм протекает в зоне взаимодействия разогретой силикатной магмы с близкими ей по химическому составу вмещающими породами (глинистые сланцы), то происходит лишь их прогрев без существенного перемещения химических компонентов. В таких условиях образуется роговик. Это плотная порода, потерявшая сланцеватость, полнокристаллическая, серая или белая с раковистым изломом. Текстура массивная, структура мелкозернистая кристаллобластовая (роговиковая). В состав роговика могут входить различные минералы: кварц, слюды, полевые шпаты, гранат и др. Но вследствие роговиковой структуры эти минералы обычно не определяются.

При наличии контраста химического состава магмы и вмещающих пород в зоне их соприкосновения протекают процессы контактового метаморфизма, сопровождающиеся метасоматозом – существенной миграцией химических компонентов, что, в конечном счете, приводит к значительному изменению состава как магмы (в эндоконтакте), так и вмещающих пород (в экзоконтакте), что приводит к образованию скарнов.

**Скарн** – контактово-метасоматическая порода, образующаяся на контакте мраморов или известняков и магматических пород. В зоне контакта под действием высоких температур магматического очага при проработке высокотемпературными растворами образуется скарн. Растворы имеют высокую минерализацию и пропитывают эндо- и экзоконтакты интрузии. В мраморы и известняки из интрузии обычно мигрируют элементы Fe, Mg, Si, Al и др., а в известняках растворы обогащаются Ca и CO<sub>2</sub>. В результате взаимодействия этих растворов происходит образование новых минералов - граната (андрадита), пироксена, кальцита, реже везувиана, эпидота, роговой обманки и актинолита. Очень часто скарны бывают рудными, т.е. содержат большое количество магнетита, сульфидов, иногда золота.

В целом для скарнов характерны следующие признаки: разнообразие и непостоянство минерального состава; резкое изменение размеров зерен даже в пределах одного штуфа; частое наличие рудных минералов (магнетита и др.). Текстура у них массивная, пятнистая, структура гранобластовая.

**Сerpентиниты** - гидротермально изменённые гипербазиты (дуниты, перидотиты, пироксениты). Серпентинизация может быть как *автометаморфической*, т. е. вызванной гидротермами самой интрузии, так и *аллометаморфической*, связанной с воздействием на ультраосновные породы гидротерм других, более молодых интрузий. Сущность процесса

серпентинизации заключается в замещении первично безводных Fe-Mg-силикатов (оливина и пироксена) водным силикатом Mg (серпентином) и вторичным окислом железа (магнетитом). Цвет породы тёмно-зелёный, пятнистый, текстура массивная, структура лепидогранобластовая. Состоят главным образом из минералов группы серпентина с постоянной примесью карбонатов и магнетита.

**Змеевик** – это поделочная разновидность серпентинита. Назван по сходству цвета и рисунка со змеиной кожей. На уральских месторождениях по художественно-декоративным свойствам выделяются пятнистая, полосчатая и пятнисто-полосчатая разновидности змеевика.

В пятнистых змеевиках на общем зеленом фоне отчетливо прослеживаются участки темного цвета. Эти участки имеют изометрическую или линзовидную форму с расплывчатыми очертаниями. Их количество составляет 10-15% породы. Участки темного цвета сложены мелкочешуйчатым антигоритом, а осветленные – офитом приятного светло-зеленого тона. Иногда встречаются светло-серые и белые включения карбоната.

В полосчатых змеевиках чередуются полосы светлого и темно-зеленого цвета. Полосы извилистые, не выдержанные по мощности, с расплывчатыми очертаниями. Мощность полос колеблется от 0,2 до 0,7 см.

Пятнисто-полосчатые змеевики характеризуются сложным сочетанием пятен и полос темно-зеленого, светло-зеленого и белого цвета. Во всех разновидностях змеевиков в довольно заметных количествах встречается магнетит.

**Листвениты** – конечный продукт процесса метасоматического преобразования ультраосновных и основных пород. Гидротермы, вызвавшие серпентинизацию ультраосновных пород, с понижением температуры обогащаются углекислотой (CO<sub>2</sub>), что вызывает интенсивную карбонатизацию серпентинитов с образованием талька и Mg-карбоната. На следующем этапе, когда весь серпентин заместился тальком и карбонатом, начинается карбонатизация талька. Освобождающаяся при этом кремнекислота (SiO<sub>2</sub>) образует кварц. В результате образуется кварц-карбонатная порода – лиственит. Обычно она имеет зелёный цвет за счёт примеси фуксита – зелёной хромовой слюды. Характерна также примесь золотиносного пирита, поэтому листвениты используются как поисковый признак на золото. Текстура массивная, структура лепидогранобластовая.

**Березиты** – породы, состоящие из кварца, К-слюды (серицит-мусковит), небольшого количества доломит-анкерита и **пирита** (присутствие обязательно). Являются продуктом низко-, среднетемпературного метасоматоза (флюид К и CO<sub>2</sub> – специализации) кислых и средних магматических пород. Цвет серый, текстура массивная, структура лепидогранобластовая.

### ***2.3.5 Определение метаморфических горных пород***

Основная цель лабораторной работы – знакомство с метаморфическими горными породами, их текстурно-структурными особенностями, минеральным составом. Студенты должны научиться определять продукты разных типов метаморфизма (регионального, термального и дислокационного) и, при возможности, устанавливать их исходный состав (эдукт).

Выполнение лабораторных работ проводится в определенной последовательности: вначале определяется текстура породы, позволяющая устанавливать тип метаморфизма; затем исследуются структурные особенности, по которым восстанавливают термодинамические условия проявлений метаморфизма (фаии – для продуктов регионального метаморфизма), которые уточняются после диагностики минерального состава породы. По совокупности полученных сведений о метаморфической породе делаются выводы об исходной породе (эдукте).

Описание пород ведется в следующей последовательности: цвет породы, текстура, структура, минеральный состав. По совокупности всех описанных признаков студент должен определять тип метаморфизма, фаиальный уровень (Р-Т- условия), и при возможности предположить возможный состав эдукта.

## 2.4 Осадочные горные породы

Осадочные горные породы представляют собой скопления минерального или органического вещества, образующиеся на дне водоёмов или на поверхности суши как результат действия экзогенных процессов. Они покрывают около 75 % поверхности континентов. При этом многие из них являются полезными ископаемыми: три четверти ежегодно добываемого минерального сырья имеет осадочное происхождение.

Образуются осадочные горные породы преимущественно за счет разрушения и последующего переноса в водные бассейны всех типов пород: магматических, метаморфических и осадочных. Кроме того, они могут формироваться за счет жизнедеятельности и отмирания живых организмов, а также в процессе химических реакций осаждения солей из водных растворов.

Механизмы формирования осадочных пород, их вещественный и химический составы, в отличие от магматических и метаморфических разновидностей, намного более сложные и разнообразные. Выделяют терригенные («рожденные на суше»), органогенные (образованные за счет жизнедеятельности и отмирания живых организмов) и хемогенные (за счет химических реакций осаждения) разновидности. Широкий диапазон химического и вещественного составов объясняется тонким разделением продуктов разрушения первичных пород и переходом в раствор их составных частей. Минералогический состав осадочных пород характеризуется широчайшим диапазоном минералов, устойчивых в экзогенных условиях: кварц, халцедон, опал, минералы группы каолинита, силикаты и оксиды железа, марганца, алюминия. Кроме того, осадочные породы могут содержать обломки других пород, скелетные остатки организмов или продукты их жизнедеятельности, а также состоять из солей. Такое многообразие пород, обусловленное различиями условий их образования, стало причиной широкого диапазона их текстур и структур.

### 2.4.1 Образование осадочных горных пород (литогенез)

Формирование осадочных пород представляет собой сложный и длительный процесс. В образовании осадочных пород выделяют следующие стадии: 1) образование исходного осадочного материала; 2) перенос осадочного материала; 3) накопление осадка (седиментогенез); 4) преобразование осадка в осадочную породу (диагенез); 5) изменение осадочной породы до начала метаморфизма или начала выветривания (катагенез). Процесс формирования осадочной породы, начиная от образования исходного материала и заканчивая превращением осадка в породу, носит название литогенеза. Исходным материалом осадочных пород служат продукты разрушения магматических, метаморфических и ранее образовавшихся осадочных пород на поверхности Земли. Разрушаются горные породы и входящие в их состав минералы в

результате экзогенных процессов, причём основная масса продуктов разрушения образуется в результате выветривания. Под действием поверхностных вод и в меньшей степени ледников и ветра продукты разрушения переносятся к областям седиментации (осадконакопления). Весь этот материал, находящийся на стадии переноса, при соответствующих условиях рельефа и геохимической обстановки может перейти в осадок. При этом начинается третья стадия образования породы - седиментогенез, или накопление осадка. Осаждение частиц может быть временным, когда частицы вновь подхватываются движением среды, или окончательным, когда происходит накопление осадка, т. е. постепенное закрепление частиц на дне.

Подавляющая масса осадков накапливается в конечных водоёмах стока - озёрах и, главным образом, морях. Такие осадки называют субаквальными. В отличие от них осадки, накапливающиеся на суше, вне водной среды, называют субаэральными. В конечных водоёмах стока в зависимости от характера поступающего материала, а также от гидродинамического и гидрохимического режимов формируются осадки трёх типов: обломочные, органогенные и хемогенные. Характерно, что породы биогенного происхождения встречаются только в толщах субаквальных отложений. Субаэральные отложения обычно представлены только обломочными и хемогенными образованиями, отличными по своим свойствам от тех же разностей, сформировавшихся в субаквальных условиях. На стадии седиментогенеза закладываются такие важные свойства осадка, как минеральный состав, размер и форма слагающих его частиц, слоистость. Следующим этапом формирования породы является стадия диагенеза. Диагенез - совокупность процессов, преобразующих осадок в осадочную породу. Свежесформированные осадки обычно образуют рыхлые, сильно обводнённые слои, насыщенные разнообразными химически активными соединениями. Кроме минеральных веществ в осадке присутствует органическое вещество в виде остатков отмерших организмов и живые бактерии.

Только что образовавшийся осадок представляет собой рыхлое или текучее тело, обильно обводненное, богатое микроорганизмами и состоящее из весьма разнообразного материала, частью твердого, частью жидкого и газообразного. Главная особенность свежесформированного осадка - отсутствие равновесия между входящими в его состав реакционноспособными соединениями. Из-за неравномерности свежий осадок представляет собой неустойчивую физико-химическую систему. Так, в осадке имеется много кислорода и богатых им веществ, здесь же - живые организмы, нуждающиеся в кислороде для своего существования, и органическое вещество, которое способно к окислению и сгоранию. Пропитывающая иловый осадок вода по составу почти не отличается в первый момент от воды наддонной. Эта вода не насыщена карбонатами, кремнеземом, фосфатами и другими компонентами; в то же время в осадке много биогенно осажденных или перенесенных в виде взвеси кальцита, магнезита, кремнезема и других веществ. В состав глинистых минералов в виде примеси входят также поглощенные ими катионы многих металлов.

После фиксации осадка на дне естественно начинается процесс уравнивания этой системы. Физико-химическое равновесие достигается при процессах обезвоживания, разложения органических остатков, уплотнения и цементации осадков, образования конкреций.

Стадией диагенеза заканчивается процесс собственно формирования осадочной горной породы. Она продолжает существовать в земной коре до тех пор, пока находится в термодинамических условиях, характерных для верхних горизонтов. Однако и здесь осадочная горная порода не остаётся неизменной. Наступает стадия катагенеза. Катагенез — это совокупность процессов, изменяющих осадочную породу в период её существования до начала метаморфизма или выветривания. В отличие от диагенетических процессов, обусловленных внутренней неуравновешенностью осадка, причиной катагенеза является отсутствие равновесия между породой и средой, в которую она попадает в результате прогибания или подъёма участков земной коры. Основными факторами катагенеза являются температура и воздействие подземных вод. В целом процессы катагенеза протекают менее интенсивно, чем диагенетические, но зато чрезвычайно длительны и приводят к заметным результатам, а именно: уплотнению и обезвоживанию, растворению и выносу ряда минералов подземными водами, перекристаллизации минералов в осадочной породе.

#### ***2.4.2. Химический и минеральный составы осадочных пород***

Осадочные горные породы состоят из различных по составу и происхождению компонентов: аллотигенных, аутигенных остатков разного типа и вулканогенного материала.

**Аллотигенные** (привнесённые извне) компоненты составляют основную массу обломочных и некоторых глинистых пород и представляют собой обломки и частицы пород и минералов различного размера. Как правило, в осадочных породах встречаются обломки наиболее устойчивых минералов и пород. Главным образом, это кварц, затем следуют полевые шпаты, слюды, пироксены, амфиболы.

**Аутигенные** (образовавшиеся на месте нахождения) компоненты образуются за счёт выделения минерального вещества из природных растворов или в результате обменных и других реакций либо в воде бассейна осадконакопления, либо в осадочной горной породе. Наибольшее значение из них имеют глинистые минералы, карбонаты, сульфаты, соли, оксиды и гидроксиды Fe, Mn, Al, Si, а также фосфаты. Эти минералы составляют основную массу хемогенных и часть глинистых пород, а также широко распространены в цементах обломочных пород и конкрециях.

**Органические остатки.** В осадочных горных породах присутствуют органические останки или следы жизнедеятельности организмов. Это обломки раковин или скелетных частей различных животных и растительных организмов. В породах биогенного происхождения органические останки являются



преобладающим компонентом, а в некоторых случаях породы целиком сложены ими (ракушняки, известняки, мел и др.).

В значительной части современных осадков присутствует **вулканогенный материал** в виде обломков вулканического стекла и эффузивных пород. Вулканогенный материал попадает в осадки обычно как примесь вулканического пепла, песка и более крупных образований при извержениях. При этом название породы состоит из двух слов, например, туфогенный песчаник. Следует иметь в виду, что прилагательное в этом словосочетании (в данном случае «туфогенный») означает, что вулканогенного материала в породе меньше, чем терригенного. В песчанистом туфе меньше терригенного материала, чем вулканогенного.

### ***2.4.3 Классификация осадочных горных пород***

Общепризнанных классификаций осадочных горных пород нет, что связано, прежде всего, с разнообразием процессов и факторов, контролирующих образование осадков. В нашей стране распространением пользуется классификация осадочных пород, предложенная в 1958 г. М. С. Шевцовым, в основу которой положено, с одной стороны, их происхождение, а с другой - их химический и минеральный составы. Упрощенная классификация осадочных пород приведена в виде таблицы (Таблица 2).

По генетическим признакам среди осадочных горных пород выделяют три главные группы.

1. Терригенные (обломочные) породы образуются в результате механического разрушения ранее существовавших горных пород и накопления обломочного материала. К ним относят песчаники, гравелиты, конгломераты, а также их не сцементированные и неокатанные разновидности: пески, гравий, дресву, галечник и щебень. В эту же группу входят глинистые породы, являющиеся продуктом преимущественно химического разрушения пород, а также переотложения глинистых минералов, освободившихся при выветривании глинистых толщ и тончайшего дробления химически стойких минералов.

2. Органогенные породы, которые образуются в результате жизнедеятельности организмов (коралловые постройки) и их отмирания (кости рыб, зубы акул и т. д.). В отдельную группу выделяют каустобиолиты, образующиеся из растительных и животных (планктон) останков, преобразованных под влиянием биохимических, химических и других геологических факторов и обладающих горючими свойствами. Это - угли, торф, сапропель и др.

3. Хемогенные породы, образующиеся при химическом разрушении, растворении минералов материнских пород и последующем выпадении новых минералов в осадок из пересыщенных растворов.

Более детальное подразделение осадочных пород в пределах выделяемых генетических групп производится по вещественному и минеральному составам. Терригенные осадочные горные породы по размеру обломков (частиц) подраз-

деляют на грубообломочные (псефиты), песчаные (псаммиты), пылеватые (алевриты) и глинистые (пелиты). По характеру связи (цементации) обломочного материала их подразделяют на сцементированные и несцементированные (рыхлые).

При классификации органогенных и хемогенных пород определяющим является их химический состав.

Таблица 2.2

### Классификация осадочных горных пород

| ТЕРРИГЕННЫЕ                                      |                            |                             |                                                                      |               |
|--------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------|
| Структура                                        | Рыхлые, несцементированные |                             | Сцементированные                                                     | Размер, мм    |
|                                                  | неокатанные                | окатанные                   |                                                                      |               |
| псефитовая                                       | Глыбы<br>Щебень<br>Дресва  | Валуны Галеч-<br>ник Гравий | >50 Конгломераты<br>1-10                                             | > 10 Гравелит |
| псаммито-                                        | Песок                      |                             | Песчаник                                                             | 0,1-1,0       |
| алевритовая                                      | Алевриты                   |                             | Алевриты                                                             | 1,0 -0,01     |
| пелиговая                                        | Глины                      |                             | Аргиллиты                                                            | < 0,01        |
| ОРГАНОГЕННЫЕ                                     |                            |                             |                                                                      |               |
| Название                                         |                            |                             | Химический состав                                                    |               |
| Известняки, мел                                  |                            |                             | CaCO <sub>3</sub>                                                    |               |
| Доломит                                          |                            |                             | CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                  |               |
| Опоки, трепела                                   |                            |                             | SiO <sub>2</sub> · n H <sub>2</sub> O                                |               |
| Сапропелиты, торф, уголь                         |                            |                             | Органические соединения углерода                                     |               |
| ХЕМОГЕННЫЕ                                       |                            |                             |                                                                      |               |
| Название                                         |                            |                             | Химический состав                                                    |               |
| Соли галоидные: галит сильвин                    |                            |                             | NaCl, KCl, CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O                      |               |
| Соли сернокислые: гипс ангид-рит                 |                            |                             | CaSO <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O, Al(OH) <sub>3</sub> , AlO(OH) |               |
| Соли фосфатные: апатит, бурые железняки, бокситы |                            |                             |                                                                      |               |

#### 2.4.4 Текстуры и структуры осадочных горных пород

Строение осадочных пород характеризуется текстурой и структурой.

**Текстура** - это общий рисунок породы, черты ее строения, определяемые способом заполнения пространства, характером сочетания между собой элементарных частиц (минералов, зерен, обломков). Текстура породы формируется с этапа накопления осадка. Возникшие в процессе осадконакопления первичные текстуры отражают состояние среды в момент накопления осадочного материала и результаты её взаимодействия с осадком. Вторичные текстуры возникают в уже сформировавшейся породе при процессах диагенеза и гипергенеза.

**Структура** осадочной породы - это особенности её строения, которые определяются размером, формой, степенью однородности составных частей, а также количеством, размером и степенью сохранности органических остатков. Элементы структуры породы формируются на протяжении всех этапов образования и жизни породы.

Важнейшим признаком, характеризующим строение осадочных пород, является их **слоистая текстура**. Образование слоистости связано с условиями

накопления осадков. Любые перемены этих условий вызывают либо изменение отлагающегося материала, либо обстановку в его поступлении, что внешне выражается в появлении слоев.

Слои представляют собой более или менее плоские тела, горизонтальные размеры которых во много раз больше их толщины (мощности), и отделяющиеся друг от друга поверхностями напластования. Слоистая текстура обусловлена чередованием слоев нескольких разностей осадочных пород и может быть вызвана резким изменением размера обломочных частиц и вещественного состава пород либо ориентировкой осадочного материала.

Для осадочных пород характерна также **пористая текстура**, характеризующая степень её проницаемости. По степени пористости выделяют следующие породы:

*микropористые*, в которых пористость не заметна на глаз, но устанавливается специальными методами;

*мелкопористые*, в которых можно различить мелкие частые поры;

крупнопористые - с колебанием размера пор в пределах от 0,5 до 2,5 мм;

*кавернозные* имеют крупные поры (каверны) на месте выщелоченных раковин и остатков других организмов, а также отдельных частей горной породы.

Для однородных, преимущественно зернистых хемогенных и органогенных пород, характерны **массивные текстуры**. Все несцементированные осадочные горные породы имеют **рыхлую текстуру**.

Структура осадочных пород отражает их происхождение. Структуры осадочных пород определяются, главным образом, размером и отчасти формой слагающих их частиц. По величине обломков для терригенных горных пород (мм) выделяют такие структуры, как: **галечная** (окатанные обломки) - 10 - 100; **щебеночная** (остроугольные обломки) - 10 - 100; **гравийная** (окатанные обломки) - 1 - 10 ; **дресвяная** (остроугольные обломки) — 1-10; **псаммитовая** - 0,1-1; **алевритовая** — 0,01 - 0,1; **пелитовая** - < 0,01.

Для хемогенных пород (известняки, доломит, гипс) характерна **кристаллически-зернистая структура**. В зависимости от размера слагающих породу зерен выделяют крупнозернистую (преобладают зерна величиной 1,0 - 0,5 мм), среднезернистую (0,5 - 0,25 мм), мелкозернистую структуры (0,25 - 0,1 мм), иногда, когда порода плохо отсортирована, выделяют **разнозернистую структуру**.

**Оолитовая структура** наблюдается в случаях, когда в породе в массовых количествах присутствуют мелкие шаровидные стяжения (оолиты) различного размера (боксит, оолитовый известняк).

Структуры пород, в составе которых большое участие принимают остатки организмов (свыше 20 - 30 % объема породы), определяются степенью сохранности этих останков и их количеством. Выделяются следующие структуры: **биоморфная** - в случае хорошей сохранности скелетных остатков организмов; **детритовая** - порода почти полностью состоит из скелетных обломков размером крупнее 0,1 мм.

Осадочные породы имеют самую разнообразную окраску и оттенки. При этом иногда окраска является признаком, характерным для определения этих пород, и зависит: 1) от окраски минералов, слагающих пород; 2) окраски рассеянных в породе примесей и цемента; 3) цвета тончайшей корочки, часто обволакивающей зерна составляющих породу минералов. Белый и светлосерый цвета обычно обусловлены окраской главных минералов осадочных пород (кварца, каолинита, кальцита, доломита и др.) и свидетельствует до некоторой степени о чистоте породы. Темно-серый и черный цвета чаще всего появляются в результате примеси углеродистого вещества и, реже, оксидов и гидрооксидов марганца. Красный и розовый цвета связаны с примесью в породе оксидов железа, а зеленый цвет зависит от примеси закисного железа и присутствия минералов с зеленой окраской - чаще глауконита, реже хлорита и малахита.

#### ***2.4.5 Основные разновидности осадочных горных пород***

##### **Терригенные осадочные горные породы**

**Грубообломочные породы (псефиты)** в зависимости от размера и формы обломков подразделяют:

- на глыбы и валуны, имеющие соответственно угловатые и окатанные обломки размером свыше 100 мм в поперечнике;

- щебень и галечник - угловатые и окатанные обломки размером от 100 до 10 мм в поперечнике;

- дресву и гравий - угловатые и окатанные обломки размером от 10 до 1 мм в поперечнике.

**Сцементированные породы**, состоящие из окатанных, округленных обломков, размеры которых превышают 10 мм, называются **конгломераты**; соответственно порода, состоящая из неокатанных, угловатых обломков крупнее 10 мм, называется **брекчией**. Гальки в конгломератах состоят из магматических, метаморфических и осадочных пород, цементом служит песчано-глинистый, известково-глинистый, карбонатный, кремнистый или иной материал. Возможно выделение *олигомиктовых* конгломератов, характеризующихся существенно кварцевым составом галек (белый жильный кварц, кварциты) и *полимиктовых* конгломератов, где гальки имеют разнообразный состав. Брекчии обычно обладают однообразным составом обломков и цементирующего материала.

**Гравелиты** слагаются окатанными обломками различных пород и, реже, минералов с преобладающим размером 1-10 мм. Цемент - карбонатный, карбонатно-глинистый или песчано-глинистый.

Практическое применение: грубообломочные породы находят в дорожном строительстве, при отсыпке железнодорожного балласта и изготовлении бетона, иногда используются в строительстве как декоративный материал

(некоторые разности брекчий и конгломератов). Иногда грубообломочные породы содержат ценные полезные ископаемые (золото, уран и др.).

**Песчаные породы (псаммиты)** состоят из зерен, размеры которых составляют 0,1-1 мм, и представлены **песками и песчаниками**. Первые сложены несцементированными скоплениями зерен, вторые - сцементированными зернами той же величины. В зависимости от их размера выделяются *крупнозернистые* (0,5 - 1 мм), *среднезернистые* (0,25 - 0,5 мм) и *мелкозернистые* (0,1 - 0,25 мм) пески и песчаники. В породах существенно преобладает кварц, далее идут полевые шпаты, слюды, халцедон, глауконит, а также глинистые минералы. Цементирующая часть песчаных пород чаще всего представлена глинистым материалом и кальцитом, реже - доломитом, опалом, оксидами железа.

*Мономинеральные* песчаные породы состоят в основном из кварца, *полимиктовые* пески и песчаники состоят из зерен различных минералов (кварца, полевых шпатов, слюды).

Пески и песчаники имеют широкое применение для получения кирпича и бетона, а также в дорожном строительстве. Кварцевые пески и песчаники служат сырьем для получения динаса, оконного стекла, используются в литейном и керамическом производстве.

**Глауконитовые песчаники** содержат глауконит - железистую разновидность гидрослюды, обладающей характерным ярко-зеленым цветом, которая является аутигенным минералом морских бассейнов нормальной солености. Для глауконита характерно образование округлых комочков размером 0,2-0,4 мм. Песчаники, содержащие округлые зерна глауконита, называют глауконитовыми. Структура породы псаммитовая, текстура слабовыраженная слоистая.

**Пылеватые породы (алевриты)** состоят из зерен, имеющих размер 0,1 - 0,01 мм. Рыхлые скопления таких обломков называют **алевритами**, а сцементированные - **алевролитами**. Минеральный состав обломочной части примерно такой же, как и в песчаных породах, но здесь выше доля устойчивых минералов - кварца, мусковита, халцедона. Характерными компонентами их являются частицы глинистых минералов и хлорит. Цементами алевролитов служат кремнисто-глинистая, хлорит-глинистая масса, карбонаты и гидрооксиды железа.

**Суглинки** — рыхлые породы, содержащие 30—40 % частиц размером менее 0,01 мм, в том числе 10—30 % глинистых частиц и значительное количество песчаных и пылеватых фракций. Суглинки, по составу переходные к лёссу, называют лёссовидными. Широко применяются в качестве глинистых пород для цементного производства и для производства красного строительного кирпича.

**Лёсс** - светлая палево-желтая легкая однородная порода, обычно слабосцементированная, состоящая, главным образом, из частиц кварца и, меньше, полевых шпатов с примесью глинистых частиц и карбонатов. Наличие последних легко обнаруживается с помощью соляной кислоты, от которой лёсс «вскипает».

**Алевролит** — сцементированная порода различной окраски, алевритовой структуры, часто имеет тонкослоистую текстуру с горизонтальной или косой слоистостью. Окраска породы определяется преимущественно окраской цементирующего материала (глинистыми минералами). Характерной особенностью алевролитов является шероховатость пород в изломе, что определяется размером (0,1 - 0,01 мм) обломочных зерен.

**Глинистые породы** состоят из мельчайших ( $< 0,01$  мм) кристаллических и аморфных частиц различных глинистых минералов, в меньшей степени из зерен хлоритов, оксидов и гидроксидов алюминия, глауконита, опала, кварца и других минералов - продуктов химического разложения горных пород в поверхностных условиях. Образование глинистых пород происходит в результате химических процессов, ведущих к накоплению глинистых минералов, и одновременному переносу мельчайших частиц.

**Глины** - это легко размокающие породы. В сухом состоянии являются или землистыми, рыхлыми, легкорастирающимися в порошок или плотными крепкими агрегатами с землистым или раковистым изломом, имеющими микропористую текстуру. В состав глин входят различные глинистые минералы, поэтому окраска глин разнообразна и зависит как от состава глин, так и от примесей.

Каолинитовые глины, или **каолины**, имеют преимущественно белый или светло-серый цвет, монтмориллонитовые, или **бентониты**, - светлосерый или с желтоватым или с зеленоватым оттенком, гидрослюдистые - от белой до зеленой или пестрой окраски.

Глины являются ценным сырьем для изготовления фарфора, фаянса, огнеупорного кирпича и др.

**Аргиллиты** - уплотненные в процессе диагенеза глины. Обладают землистым или раковистым изломом. Цвет может быть различным, чаще всего это серые или темно-серые породы. По минеральному составу это преимущественно гидрослюдистые породы с примесью кварца, полевых шпатов, слюд и др.

**Мергели** - породы смешанного состава, состоящие из кальцита и на 45-75 % из глинистых частиц. Мергели образуются в морских бассейнах, лагунах и пресноводных озерах при одновременном поступлении глинистого и карбонатного материала. В зависимости от содержания глины различают известковистый аргиллит, мергель и глинистый известняк. По внешнему виду это плотная

и однородная порода белого, серого, желтоватого цвета. Вскипает при взаимодействии с соляной кислотой, оставляя желтые пятна за счет концентрации на месте реакции глинистых частиц. Мергели широко применяются в цементной промышленности.

## **Хемотропные и органические осадочные породы**

### **Карбонатные породы**

**Известняки** - наиболее распространенные карбонатные породы. Это обычно мономинеральные породы, состоящие из кальцита. Наиболее типичный признак известняков - интенсивная реакция с соляной кислотой. Цвет их обычно светлый, белый, светло-желтый, светло-серый. Интенсивность окраски определяется присутствием органического вещества. Текстура известняков массивная или слоистая. Структура: *биоморфная, детритовая, биогенно-шламовая, зернистая*.

По генетическим признакам выделяют:

- 1) органические известняки, образующиеся из скоплений раковин, их обломков, скелетов кораллов, внутренних слепков, сложенных кальцитом;
- 2) хемотропные известняки с характерной оолитовой структурой, пористой текстурой, образующиеся за счет реакций осаждения;
- 3) обломочные известняки, состоящие в основном из обломков известняков или ракушек, в различной мере окатанных.

**Мел** - специфическая карбонатная порода, состоящая из кальцита. Окраска породы белая, иногда с сероватым или буроватым оттенком. Мел непрочен, легко поддается обработке ножом, стеклом, пачкает руки, высоко порист (до 40 - 50 %). Породы интенсивно «вскипает» при взаимодействии с соляной кислотой. Основная составная часть породы - органические остатки (раковинки фораминифер, остатки известковых водорослей). Структура мела *пелитоморфная*.

**Доломиты** внешне сходны с известняками, но основной составной частью их является минерал доломит. Окраска доломитов преимущественно светлая, серая, кремовая, зеленовато-серая. Структура *мелко- и тонкозернистая*, текстура *массивная* и *слабовыраженная слоистая*.

Карбонатные породы широко используются в различных отраслях промышленности: для производства цемента, в виде флюса при выплавке металлов, для известкования кислых почв и др.

### **Кремнистые породы**

**Опоки** — твердые породы  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  белого, серого до черного цвета, часто обладающие раковистым изломом. Состоят из мельчайших округлых

стяжений (глобулей) опала. Окраска пород в целом более темная, чем у трепелов - от серой до темно-серой и черной.

**Трепелы** - породы, состоящие из мельчайших зернышек опала, скрепленных опаловым цементом. Трепел может быть рыхлым, компактным, плотным и пористым. Цвет от белого, сероватого до желтовато-серого.

**Опоки и трепелы** - кремнистые породы, в значительной части состоят из опала  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и халцедона  $\text{SiO}_2$ . Содержание этих минералов в породах составляет от 50 до 98 %.

Кремнистые породы применяют как теплоизоляционные, строительные и фильтрационные материалы, как наполнители, катализаторы, адсорбенты.

### Глиноземистые породы

**Бокситы** состоят преимущественно из минералов - гидроксидов алюминия: гидраргиллита, диаспора и бемита, а также постоянной примеси гидроксидов железа. Цвет бокситов буровато-красный, кирпично-красный, охряно-желтый, серый. Встречаются в виде землистых или оолитовых масс.

Бокситы - основная руда для получения алюминия, кроме того, используются для получения огнеупоров, абразивов и в качестве химического сырья.

### Сернокислые и галоидные породы

**Каменная соль** состоит из минерала галита ( $\text{NaCl}$ ). Окраска породы светло-серая, белая, но иногда может быть красной, черной или синей. Структура породы *кристаллически-зернистая*, текстура *массивная или слоистая*. Характерный диагностический признак - соленый вкус. Каменная соль используется в пищевой промышленности для сохранения скоропортящихся продуктов и как приправа к пище.

**Калийная соль (сильвинит)** - наиболее распространенная калийная соляная порода. Состоит из **сильвина** ( $\text{KCl}$ ), обычно с существенной примесью карналлита ( $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и галита. По характеру окраски выделяют красные и пестрые сильвиниты. Текстура их *слоистая, массивная*, структура *разнозернистая с преобладанием мелко- и среднезернистой*.

Основным потребителем калийных солей является сельское хозяйство, где калий применяется для удобрения почвы. Остальное количество калийных солей потребляется химической промышленностью, выпускающей несколько продуктов, в которых основной составной частью является калий.

**Гипс** - мономинеральная порода, состоит из минерала гипса. Окраска породы светлая: белая, кремовая, реже серая или бурая. Структура *мелко- и*



*среднезернистая, текстура массивная, реже слоистая. Порода невысокой твердости, царапается ногтем.*

**Ангидрит** имеет также светлый, голубовато-серый, серый, белый цвета. Плотность его выше, чем у гипса, поэтому по удельному весу он легко отличается от последнего. Отчетливо фиксируется различие по твердости (порода ногтем не царапается). Структура ангидрита *средне- и мелкозернистая, текстура массивная и слоистая.*

Гипсы и ангидриты используются в строительстве для приготовления вяжущих материалов - алебаstra, формовочного гипса и др., а также в производстве серной кислоты, бумаги, в медицине.

### **Железистые породы**

**Бурые железняки.** Образование железистых и марганцевых пород, содержащих минералы железа и марганца (оксиды, гидроксиды и карбонаты) и являющихся рудами, связывается обычно с выветриванием богатых этими минералами горных пород. В них в процессе диагенеза возникают морские, озерные, болотные и другие руды.

Бурые железняки обладают бурой окраской различных оттенков до черной и сравнительно большой плотностью. Характерна *оолитовая, землистая, конкреционная, натечная* структура, *пористая* текстура. В составе бурых железняков преобладают минералы - оксиды и гидроксиды железа: гетит, гидрогетит, лимонит, гематит.

### **Фосфатные породы**

**Фосфориты** - довольно распространенная порода, образование которой связано с гибелью, разложением и химической переработкой останков морских организмов. Это осадочные горные породы, более чем на 50 % состоящие из фосфатов кальция. Окраска фосфоритов обычно темная, серая, черная, коричнево-серая и зеленовато-серая, определяется, главным образом, присутствием органического вещества, сульфидов железа и глауконита. Встречаются и светлоокрашенные разновидности.

Фосфориты являются сырьем для производства фосфорных удобрений для сельского хозяйства.

### **Каустобиолиты**

**Каустобиолиты** образуются из остатков растительных или животных организмов, преобразованных под влиянием различных геологических факторов и способных гореть на воздухе.

**Торф** представляет собой скопление относительно малоизмененных останков растительных тканей, образующихся в условиях болот. Это более или менее рыхлая бурая или черная гумусовая масса, содержащая в большем или меньшем количестве видимые останки растительности (листья, стебли, корни, древесину, мох). Высушенный торф обычно рыхлый, легкий.

**Ископаемые угли** сложены материалом растительного происхождения, накопившемся на дне мелководных водоемов и в болотах, в частности, при преобразовании торфа. Растительный материал претерпел сложный химический процесс изменения, в результате которого органическое вещество потеряло кислород и водород и обогатилось углеродом по схеме: древесина (50 % C) - торф - бурый уголь (около 70 % C) - каменный уголь (82 % C) — антрацит (95 % C).

**Бурый уголь** - плотная темно-бурая или черная порода. Дает бурую черту (в отличие от каменного угля). Блеск часто матовый, хотя встречаются и блестящие разновидности с раковистым изломом. В некоторых случаях легко различаются следы древесной структуры (лигнит).

**Каменный уголь** имеет черный цвет, жирный блеск. Черта черная или матовая (пачкает руки). Излом раковистый, крупно- и мелкозернистый. Хрупок.

**Антрацит** отличается от каменного угля большей твердостью и блеском. Ему свойственны черный цвет, полуметаллический блеск, неровный излом. Масса его плотная (рук не пачкает).

Каустобиолиты широко используются как промышленное топливо, а также в качестве сырья для химической промышленности.

#### ***2.4.6 Методика и описание осадочных пород***

Основная цель лабораторной работы - знакомство с осадочными горными породами, их текстурно-структурными особенностями, минеральным составом.

Правильное определение осадочных горных пород возможно только при полном учете всего комплекса внешних свойств. Подробно должны быть описаны текстура и структура породы, характер слоистости (в случае отсутствия последней это должно быть специально указано), наличие или отсутствие кавернозности и т. д. Необходимо устанавливать и указывать возможно точнее структуру породы со всеми ее особенностями, окраску, твердость, излом, удельный вес и другие признаки, точно определять состав породы. Не менее подробно, чем породу, следует описывать и все инородные включения в нее: органические остатки, конкреции, прожилки, различные выделения, выцветы, примазки и т. д. Полное описание дает возможность установить тип породы и способ ее образования, а тем самым и определить ее.

При описании псефитов следует указывать состав, окраску, величину и характер окатанности обломков, состав и окраску цемента и соотношение в породе обломков и цемента.

Описывая глину, необходимо указать следующие ее внешние признаки: цвет, причем подчеркнуть, в каком состоянии влажности описывается глина; пластичность (глина бывает жирная, пластичная, сухая и песчанистая); характер примесей, часто обуславливающих окраску; структуру; растительные остатки и окаменелости.

## РАЗДЕЛ 3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАЗРЕЗЫ

Геологические карты – это графические модели современного геологического строения и геологической истории Земли, созданные методами и средствами картографии.

Масштабы геологических карт весьма различны. В зависимости от задач и масштаба геологосъемочных работ они подразделяются на мелкомасштабные (1:100 000; 1:500 000), среднемасштабные (1:200 000; 1:100 000), крупномасштабные (1:50 000; 1:25 000). В настоящее время приоритетными являются работы масштаба 1:200 000. При изучении месторождений возможно использование геологических карт и планов более крупного масштаба.

### *3.1 Методы определения геологического возраста и геохронологическая шкала*

При геологическом картировании, составлении и последующем чтении геологических карт необходимо, прежде всего, знать возрастную последовательность отложений, распространенных в пределах района. Для этого важнейшей задачей является определение относительного возраста геологических толщ, установление того, какие из них формировались раньше, какие позднее и какое положение они занимают в геохронологической шкале.

Наиболее распространёнными методами определения относительного возраста являются стратиграфический, петрографический и палеонтологический.

**Стратиграфический метод** основан на принципе установления последовательности образования слоев во времени, поскольку нижележащий слой древнее залегающих на нем слоев при ненарушенном первичном залегании. Более надежен **палеонтологический метод** определения относительного возраста, основанный на изучении остатков древних вымерших организмов. Эволюционное развитие органического мира позволило выделить группы *руководящих ископаемых организмов*, которые жили во вполне определенные промежутки геологического времени. При этом обнаружение одинаковых палеонтологических остатков в разных породах участка, даже удаленных друг от друга, позволяет установить их đồngовозрастность.

**Петрографический метод** используется локально и основан на детальном изучении и сравнении горных пород по особенностям их состава для сопоставления геологических разрезов на отдельных участках, особенно для корреляции толщ по соседним скважинам.

В настоящее время для установления времени образования и сопоставления отложений горных пород широко применяются определения *абсолютного возраста породы* т.е. в абсолютных единицах времени (в годах, чаще в миллионах лет). Определение абсолютного возраста производится

радиологическими методами, основанными на процессе радиоактивного распада природных изотопов элементов. Это свинцово-изотопный, калий-аргоновый, рубидиево-стронциевый, самарий-неодимовый и углеродный методы.

Согласно существующей Международной геохронологической шкале в истории Земли выделяют следующие геохронологические подразделения: *ЭОН, эру, период, эпоху, век и время*. Каждому геохронологическому подразделению отвечает комплекс отложений, ранее выделенным на основании изменений органического мира и называемый *стратиграфическим*: эонотема, группа, система, отдел, ярус и зона.

Наиболее длительным по времени является эон (греч. – длительный промежуток времени). В геологической истории Земли выделяется три эона – архей, протерозой и фанерозой. Этот отрезок геологического времени наиболее длительный, (более 3,2 млрд лет), подразделяется на архей и протерозой и соответствующие комплексы пород часто называют общим термином – докембрий (Рис.3.1).

Фанерозой подразделяется на три эры – палеозойская, мезозойская и кайнозойская. Подразделения эр и соответствующих эратем приведены на Рис.3.1.

Для обозначения на геологических картах подразделений различного возраста каждому из них придан определенный цвет и индекс (Рис.3.1). Более дробные подразделения (отдел, ярус) закрашиваются цветом соответствующей системы, при этом более древние имеют темный тон, молодые – светлый тон того же цвета.

В рамках лабораторной работы студенты для закрепления материала знакомятся с современной геохронологической шкалой и по данным таблицы составляют геохронологическую шкалу для фанерозоя (масштаб: в 1 мм – 2 млн.лет)

| Эпоха (эон)   |               | Эпоха (эра)  | Система (период) | Отдел (эпоха)   | Ярус (век) | Возраст (млн лет) |
|---------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|------------|-------------------|
| Фанерозойская | Кайнозойская  | Четвертичная | Голоцен          |                 |            |                   |
|               |               |              |                  | Неоплейстоцен   | 0.0117     |                   |
|               |               |              | Плейстоцен       | Эоплейстоцен    | 0.781      |                   |
|               |               |              |                  | Неогеновая      | Плиоцен    | Гелазский         |
|               |               | Пьяченцкий   | 2.58             |                 |            |                   |
|               |               | Занклский    | 3.600            |                 |            |                   |
|               |               | Мессинский   | 5.333            |                 |            |                   |
|               |               | Миоцен       | Тортонский       |                 | 7.246      |                   |
|               |               |              | Серравальский    |                 | 11.63      |                   |
|               |               |              | Лангийский       |                 | 13.82      |                   |
|               |               |              | Бурдигальский    |                 | 15.97      |                   |
|               |               |              | Аквитанский      |                 | 20.44      |                   |
|               |               |              | Олигоцен         |                 | Хаттский   | 23.03             |
|               |               |              |                  |                 | Рюпельский | 27.82             |
|               |               | Палеогеновая | Эоцен            | Приабонский     | 33.9       |                   |
|               | Бартонский    |              |                  | 37.8            |            |                   |
|               | Лютетский     |              |                  | 41.2            |            |                   |
|               | Ипрский       |              |                  | 47.8            |            |                   |
|               | Палеоцен      |              | Танетский        | 56.0            |            |                   |
|               |               |              | Зеландский       | 59.2            |            |                   |
|               |               |              | Датский          | 61.6            |            |                   |
|               |               |              | Мезозойская      | Меловая         | Верхний    | Маастрихтский     |
|               | Кампанский    | 72.1±0.2     |                  |                 |            |                   |
|               | Сантонский    | 83.6±0.2     |                  |                 |            |                   |
|               | Коньякский    | 86.3±0.5     |                  |                 |            |                   |
|               | Туронский     | 89.8±0.3     |                  |                 |            |                   |
|               | Сеноманский   | 93.9         |                  |                 |            |                   |
|               | Нижний        | Альбский     |                  |                 | 93.9       |                   |
|               |               | Аптский      |                  |                 | 100.5      |                   |
|               |               | Барремский   |                  |                 | ~ 113.0    |                   |
|               |               | Готеривский  |                  |                 | ~ 125.0    |                   |
|               |               | Валанжинский |                  |                 | ~ 129.4    |                   |
|               | Берриасский   | ~ 132.9      |                  |                 |            |                   |
|               | Берриасский   | ~ 139.8      |                  |                 |            |                   |
|               | Берриасский   | ~ 145.0      |                  |                 |            |                   |
|               | Фанерозойская | Мезозойская  | Юрская           | Верхний         | Титонский  | ~ 145.0           |
| Кимериджский  |               |              |                  |                 | 152.1±0.9  |                   |
| Оксфордский   |               |              |                  |                 | 157.3±1.0  |                   |
| Средний       |               |              |                  | Келловейский    | 163.5±1.0  |                   |
|               |               |              |                  | Батский         | 166.1±1.2  |                   |
|               |               |              |                  | Байосский       | 168.3±1.3  |                   |
|               |               |              |                  | Ааленский       | 170.3±1.4  |                   |
| Нижний        |               |              |                  | Тоарский        | 174.1±1.0  |                   |
|               |               |              |                  | Плинсбахский    | 182.7±0.7  |                   |
|               |               |              |                  | Синемюрский     | 190.8±1.0  |                   |
| Геттангский   |               | Геттангский  | 199.3±0.3        |                 |            |                   |
|               |               | Геттангский  | 201.3±0.2        |                 |            |                   |
| Триасовая     |               | Верхний      | Рэтский          | ~ 208.5         |            |                   |
|               |               |              | Норийский        | ~ 208.5         |            |                   |
|               |               |              | Карнийский       | ~ 227           |            |                   |
|               |               |              | Ладинский        | ~ 237           |            |                   |
|               |               | Средний      | Анизийский       | ~ 242           |            |                   |
|               |               |              | Оленекский       | 247.2           |            |                   |
|               |               | Нижний       | Индский          | 251.2           |            |                   |
|               |               |              | Индский          | 251.9±0.024     |            |                   |
|               |               | Пермская     | Татарский        | Вятский         |            |                   |
|               |               |              |                  | Северодвинский  | 265.1±0.4  |                   |
| Биармийский   |               |              | Уржумский        |                 |            |                   |
|               |               |              | Казанский        | 270.6*          |            |                   |
| Приуральский  |               |              | Уфимский         |                 |            |                   |
|               |               |              | Кунгурский       | 283.5±0.6       |            |                   |
|               |               |              | Артинский        | 290.1±0.26      |            |                   |
|               |               |              | Сакмарский       | 293.52±0.17     |            |                   |
|               |               |              | Ассельский       | 298.9±0.15      |            |                   |
|               |               |              | Палеозойская     | Каменноугольная | Верхний    | Гжельский         |
| Касимовский   |               | 307.0±0.1    |                  |                 |            |                   |
| Средний       |               | Московский   |                  |                 | 315.2±0.2  |                   |
|               |               | Башкирский   |                  |                 | 323.2±0.4  |                   |
| Нижний        |               | Серпуховский |                  |                 | 330.9±0.2  |                   |
|               |               | Визейский    |                  |                 | 346.7±0.4  |                   |
|               |               | Турнейский   |                  |                 | 358.9±0.4  |                   |



| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
|-----------------|--|---------------|--|------------------|--|---------------|--|-------------------|--|
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  | Система (период) |  | Отдел (эпоха) |  | Возраст (млн лет) |  |
| Эпохотема (эон) |  | Эратема (эра) |  |                  |  |               |  |                   |  |

Рис.3.1 Общая стратиграфическая школа (ОСШ)

## 3.2. Горный компас и работа с ним

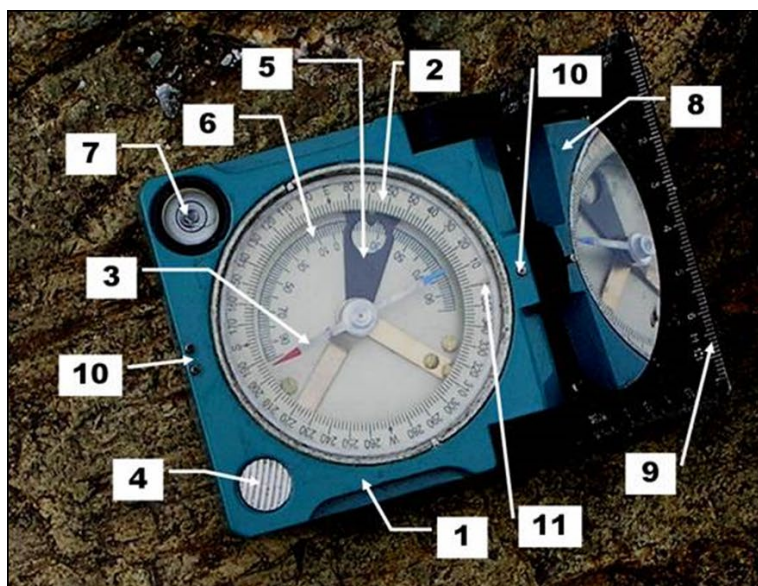
### 3.2.1 Устройство горного компаса

При геологических исследованиях основным инструментом геолога для ориентировки на местности и измерения элементов залегания слоя является горный компас.

Горный компас монтируется на прямоугольной пластинке и состоит из магнитной стрелки и большого лимба, необходимых для замера азимутов, а также из клинометра и полулимба для замера углов падения слоя. Большой лимб разделен на  $360^{\circ}$ , его градуировка произведена против часовой стрелки, линия север-юг параллельна длинной стороне пластинки. Северный конец магнитной стрелки покрыт черной или синей краской, под ней на иглу надевается кольцо, укрепленное на конце рычага (арретира), которым стрелка в «нерабочем» состоянии прижимается к стеклу компаса (Рис.3.2).

Шкала полулимба градуируется на пластинке компаса и представляет собой половину окружности, на которой нанесены деления от  $0$  до  $90^{\circ}$  в обе стороны, т.е. соответственно возможному изменению углов падения слоя. Начало счета делений ( $0^{\circ}$ ) расположено против середины короткой стороны пластинки компаса, а концы ( $90^{\circ}$ ) – против С и Ю большого лимба. Для отсчета углов падения служит клинометр (отвес). Точность замера угла падения компасом колеблется от  $1$  до  $3^{\circ}$ .

Градуировка большого лимба против часовой стрелки и соответствующая перестановка стран света сделана из соображений ускорения производства замеров азимутов. Основное правило пользования горным компасом: при производстве замеров азимутов направляем компас северной стороной на визируемый предмет, совмещая длинную сторону пластинки компаса (линию С-Ю) с направлением измеряемой линии и непосредственно берем на лимбе отсчет по северному концу магнитной стрелки.



- 1 – пластина;
- 2 – лимб ( $0-360^{\circ}$ );
- 3 – магнитная стрелка;
- 4 – кнопка арретира магнитной стрелки;
- 5 – отвес (кнопка арретира на обратной стороне компаса);
- 6 – шкала отвеса ( $90^{\circ}-0-90^{\circ}$ );
- 7 – пузырьковый уровень;
- 8 – зеркало,
- 9 – линейки;
- 10 – визиры;
- 11 – указатель магнитного склонения

Рис. 3.2 Строение горного компаса



### 3.2.2 Залегание горных пород и его элементы

Залегание горных пород – положение, форма и взаимоотношение геологических тел в земной коре. Для осадочных и большей части вулканогенных пород характерны пластообразная форма и пологое, близкое к горизонтальному первичное залегание. Толщи осадочных пород, залегающие горизонтально или с очень небольшим наклоном, широко развиты на Русской и Сибирской древних платформах.

Под воздействием главным образом тектонических процессов происходит нарушение залегания или дислокация пластов и создаются различные структуры: односторонний или моноклиальный наклон, разнообразные складки, часто осложненные разрывными нарушениями.

Слоистость, сланцеватость, контакты интрузий, трещины и сместители разрывных нарушений – всё это различного рода геологические поверхности, которые можно рассматривать как плоскости, положение которых в пространстве определяется ориентировкой относительно сторон света и горизонта. Положение плоскости характеризуют три компонента – линия простирания, линия падения и угол падения, которые называются *элементами залегания*.

*Простирание* – протяженность слоя на горизонтальной поверхности Земли. Линия простирания – линия пересечения слоя с горизонтальной плоскостью.

*Падение* – направление погружения наклонной плоскости слоев, линия падения – линия, располагающаяся в плоскости пласта, перпендикулярная к линии простирания и направленная в сторону падения.

*Угол падения* – угол между линией падения и проекцией её на горизонтальную плоскость. Определяется двумя параметрами: направлением падения и углом падения. Изменяется от 0 до 90°.

В практике геологических исследований для характеристики залегания горных пород используются *азимут простирания* и *азимут падения*.

*Азимут простирания* – горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления до линии простирания.

*Азимут падения* – горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления до проекции линии падения на горизонтальную плоскость. Азимут простирания и азимут падения отличаются на 90°.

### 3.2.3 Замеры элементов залегания слоя горным компасом

Чтобы определить азимут простирания слоя, необходимо установить горный компас вертикально (отвес качается свободно) длинной стороной на ребро, отвесом вниз. Перемещая компас, добиваемся наибольшего отсчета – это будет истинный *угол падения*. Для определения азимута падения компас переворачиваем до совмещения основания его с плоскостью слоя. Короткая сторона компаса будет совпадать с линией простирания (Рис. 3.3). *Основное*

*правило – необходимо при замере азимута падения держать компас так, чтобы север лимба (северная сторона компаса) был направлен в сторону падения слоя. По северному концу магнитной стрелки на лимбе компаса берем отсчет азимута падения.*

Поскольку азимут простираения отличается от азимута падения на  $90^\circ$ , то его можно не измерять, а вычислять, прибавив или отняв от него  $90^\circ$ . Запись замеров производится в сокращенном виде, например: Аз.пр 55, Аз.пад. 145,  $< 60^\circ$ .

Основная цель лабораторной работы с горным компасом – знакомство с его устройством, изучение порядка измерения азимутов и ориентировки на местности, определение элементов залегания горных пород.

Выполнение лабораторной работы производится в определенной последовательности:

Вначале изучается устройство горного компаса и его основных элементов, его отличие от обычного компаса, затем - измерение азимута на объект, изучение элементов залегания и определение их на специальных площадках.

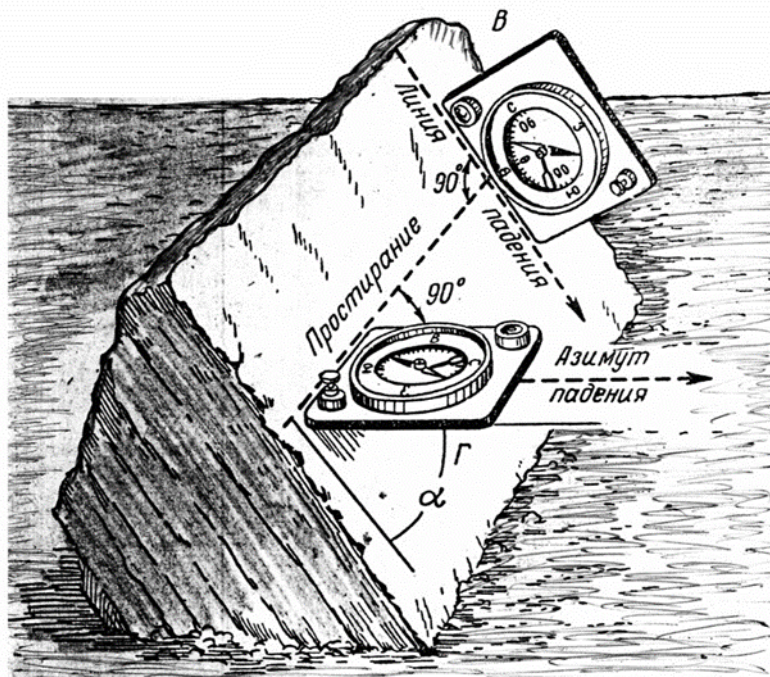


Рис.3.3 Измерение элементов залегания пласта горным компасом

### **3.3 Чтение геологических карт и методика построения разрезов**

Масштабы геологических карт весьма различны. Существуют мелкомасштабные геологические карты (масштаб 1:50000 – 1:25000), среднемасштабные (1:200000 – 1:100 000) и крупномасштабные (1:50000 – 1:25000).

Геологические карты обычно несут информацию о распространении таких стратиграфических подразделений как системы, отделы и ярусы. Для их обозначения используется стандартная расцветка и индексы, принятые для геохронологической шкалы. Контакты между стратиграфическими подразделе-

ниями на геологической карте принято показывать тонкими черными линиями. Интрузивные породы обозначаются на геологических картах различным цветом и индексом, может быть использован соответствующий крап. Каждому классу интрузивных пород присваивается свой цвет: кислым красный, средним темно-малиновый, щелочным красновато-оранжевый, основным – темно-зеленый, ультраосновным темно-фиолетовый.

На полях геологической карты справа помещаются все условные обозначения, которые нанесены на карту; слева располагается стратиграфическая колонка, а внизу – один или несколько разрезов, линии которых нанесены на карту.

Геологические разрезы представляют собой вертикальные сечения земной коры от её поверхности на ту или иную глубину. Они могут составляться по геологическим картам, данным буровых скважин или геофизическим материалам. Разрезы по геологической карте строятся по прямым линиям в направлении, которое дает наиболее полное представление о залегании пород территории. Вертикальный и горизонтальный масштабы разрезов преимущественно соответствуют масштабу карты.

По расположению выходов пород различных стратиграфических подразделений на геологической карте определяется геологическая структура участка, при этом учитывается следующее:

1. Если конфигурация выходов на дневную поверхность стратиграфических подразделений соответствует конфигурации горизонталей карты, то залегание пород горизонтальное.

2. Если полосы выходов стратиграфических подразделений располагаются в той же последовательности, что и на стратиграфической колонке, залегание пород моноклинальное.

3. Если они располагаются в различной последовательности – залегание пород складчатое.

Особенности построения геологических разрезов с различным залеганием пород сводятся к следующему. Для карты с горизонтальным залеганием пород построение разреза выполняется в определенной последовательности:

- а) намечается линия разреза на карте; б) составляется топографический профиль по этой линии; в) на полученный профиль наносятся контакты стратиграфических подразделений; г) соединяются разновозрастные контакты на разрезе, подразделения, а располагающиеся ниже уровня эрозии откладываются согласно стратиграфической колонки; е) наносятся цветовые обозначения подразделений и их индексы.

Для карт, отражающих складчатое залегание пород, проекция горизонтального среза синклиальной или антиклиальной складки будет иметь вид симметрично повторяющихся в плане полос стратиграфических подразделений. Ширина этих полос зависит от мощности подразделений и угла падения пород. Чем больше угол падения и меньше мощность, тем уже полоса. Если пласт залегает вертикально (угол падения  $90^\circ$ ), то ширина его выхода на дневную поверхность соответствует его мощности. Если известны мощности

стратиграфических подразделений, то составление разреза производится в следующем порядке: а) на профиль выносятся контакты между стратиграфическими подразделениями; б) для каждого из пластов от точки пересечения его кровли с поверхностью профиля провести циркулем дугу, радиус которой равен мощности пласта; в) от точек пересечения подошвы пласта с поверхностью профиля провести к этим дугам касательные; г) достроить профиль на глубину при сохранении мощности пласта.

Горизонтальное и складчатое залегание пород часто усложняется разрывными нарушениями. В этом случае построение геологических разрезов осуществляется по блокам, границами которых являются дизъюнктивы.

Лабораторная работа по составлению геологических разрезов выполняется по миниатюрным геологическим картам. Порядок выполнения работы определяется методикой, описанной выше.

## РАЗДЕЛ 4. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

### 4.1 Общие сведения

Для горных инженеров основными объектами деятельности являются месторождения полезных ископаемых. При изучении этого раздела главная цель – сформировать у студента представление о месторождениях полезных ископаемых как геологических объектах, возникающих в процессах формирования и развития земной коры, их главнейших особенностях, включающих форму рудных тел, вещественный состав, текстуры и структуры руд. Важным моментом является изучение условий их образования (генезиса) и генетической классификации месторождений, знакомство с главными типами руд и важнейшими месторождениями.

**Полезное ископаемое** – природное скопление минеральных образований, в котором содержание ценных компонентов и условия залегания достаточны для промышленного извлечения.

**Руда** – минеральный агрегат, из которого технологически возможно и экономически выгодно извлекать элементы, их соединения и минералы. Рудой обычно называют полезные ископаемые, из которых извлекают металлы.

По промышленному использованию полезные ископаемые подразделяются на рудные или металлические полезные ископаемые, которые включают черные металлы (Fe, Mn, Cr), легирующие (Ti, V, Ni, Co, Mo, W), цветные (Al, Cu, Pb, Zn, Sn, Bi, Yb, Hg), благородные (Au, Ag, Pt, Pd и др.), радиоактивные (U, Th, Ra), а также редкие и рассеянные металлы (Li, Rb, Cs, Be и др.) и нерудные или неметаллические полезные ископаемые. К последним относятся индустриальное сырьё (драгоценные, технические и поделочные камни), химические и агрохимическое сырьё (минеральные соли, фосфаты, серное и борное сырьё) и строительные материалы. В отдельные группы выделяются горючие полезные ископаемые (каменный и бурый уголь, нефть и газ) и гидроминеральное сырьё (подземные и поверхностные воды).

**Месторождение полезных ископаемых** (по В.И. Смирнову) – участок земной коры, в котором в результате тех или иных геологических процессов произошло накопление минерального вещества по количеству, качеству и условиям залегания пригодного для промышленного использования.

Месторождения состоят из отдельных тел или залежей, представляющих собой локальное скопление полезного ископаемого, которое ограничено контуром экологически целесообразной выемки.

Месторождения, объединённые общностью происхождения, условиями локализации руд и пространственной близостью образуют **рудные поля**. Поля в свою очередь объединяются в рудные районы (узлы), металлогенические области (зоны) и провинции.

## 4.2 Морфология рудных тел

Форма (морфология) рудных тел зависит от их генезиса (происхождения), то есть геологических условий их формирования, а также от геологического строения участка земной коры, где расположено месторождение. Изучение морфологии и условий залегания тел полезных ископаемых имеет решающее значение при осуществлении разведки и эксплуатации месторождения.

Для месторождений твердых полезных ископаемых выделяют четыре морфологические группы залежей. С учетом соотношения размеров по трем направлениям В.И. Смирновым выделены четыре типа форм тел полезных ископаемых: 1) изометричные ( $x = y = z$ ), 2) плоские или плитообразные ( $x = y > z$ ), 3) вытянутые в одном направлении ( $x = y < z$ ) или ( $x > y = z$ ) и 4) сложные или комбинированные.

**Изометричные тела** приблизительно равновелики в трех измерениях (Рис. 4.1). К этому типу относятся штоки, гнезда, штокверки и карманы (Рис. 4.1).

**Шток** – крупная ( $>10$  м) изометричная залежь массивных (сплошных) или почти сплошных руд. Если размер таких залежей не превышает 10 м, их называют **гнездами**.

**Штокверки** – представляют собой близкий в изометричному объем рудной массы различно ориентированных прожилков и вкрапленников. Границы рудного тела здесь устанавливаются по данным опробования.

**Карманы** – характерны для месторождений кор выветривания и представляют собой небольшие, несколько вытянутые по вертикали углубления, заполненные полезным ископаемым.

**Плоские** или **плитообразные** тела распространены наиболее широко и характеризуются двумя большими и одним (мощность) значительно меньшим размером. К ним относятся пласты, пластообразные и плащеобразные плитообразные тела, жилы и линзы (Рис. 4.1).

**Пласт** – плитообразное тело, отделенное от вмещающих пород более или менее параллельными плоскостями, сложенное полезным ископаемым осадочного генезиса.

**Пластообразные** – залежи преимущественно сложены полезными ископаемыми неосадочного происхождения. В отличие от пластов они имеют неровные, часто нечеткие контакты, наряду с согласным может быть секущее залегание.

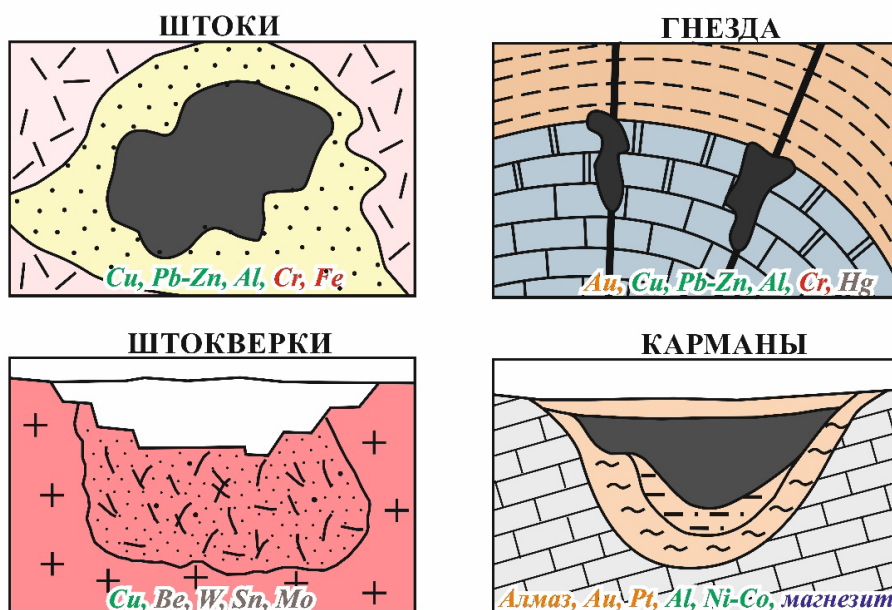
**Плащеобразные** тела имеют в плане очертания, близкие к изометричным, типичны для площадных кор выветривания.

**Жилы** – трещины в горных породах, выполненные полезным ископаемым, отложившимся из гидротермальных растворов. Различают простые (одионые) и сложные жилы, среди которых выделяют четковидные, камерные, лестничные и др.



# ФОРМЫ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

## I. Изометричные и близкие к ним



## II. Плоские или плитообразные

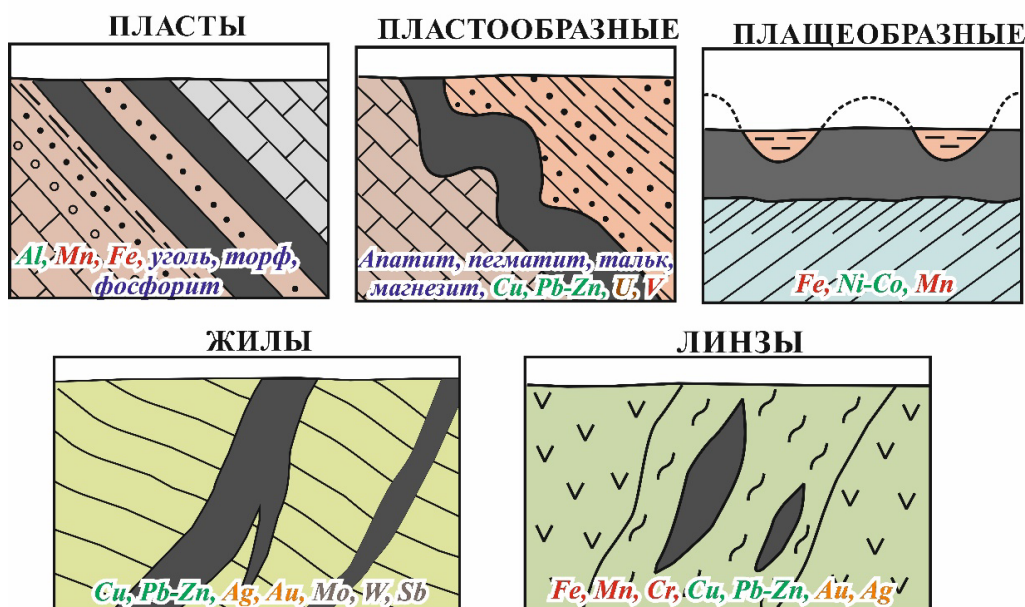


Рис. 4.1 Формы тел изометричной, плоской или плитообразной формы

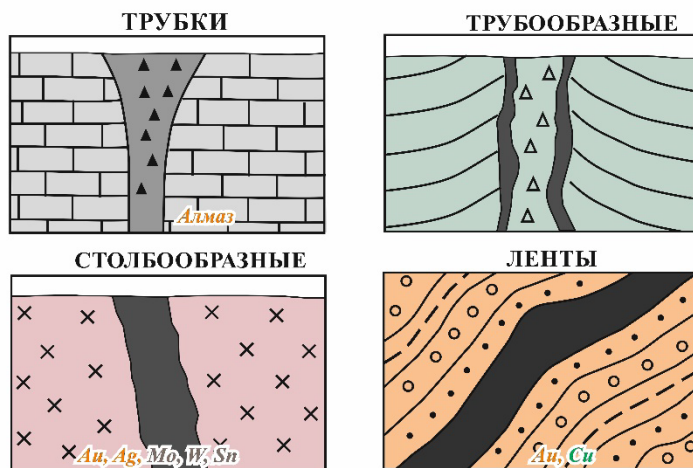
**Вытянутые в одном направлении** тела представлены секущими по отношению геологического разреза (столбообразные, трубообразные) и согласно им субсогласные (ленты, лентообразные) (Рис.4.2).

**Сложные** или **комбинированные** тела представляют собой сочетания или комбинации тел, принадлежащих к разным группам (Рис.4.2).

По возрастному соотношению с вмещающими породами различают две группы рудных тел – сингенетические и эпигенетические.

*Сингенетические тела* полезных ископаемых образуются в процессе формирования преимущественно осадочных и вулканогенно-осадочных толщ, а также в ходе кристаллизации ультраосновных и основных массивов, т.е. одновременно или почти одновременно с вмещающими породами.

### III. Вытянутые в одном направлении



### IV. Сложные или комбинированные

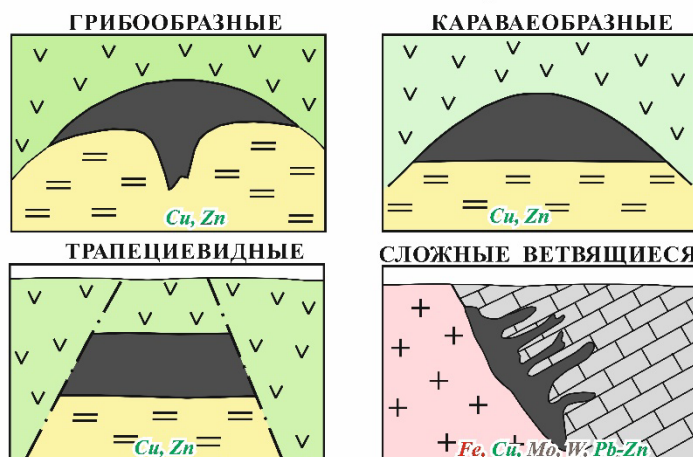


Рис.4.2 Вытянутые в одном направлении, сложные и комбинированный формы тел ПИ

*Эпигенетические рудные тела* образуются после вмещающих пород в различной геологической обстановке.

Рудные тела могут выходить на дневную поверхность или залегать на глубине. Последние называют «слепые», или скрытые, а в зависимости от глубины их размещения их делят на поверхностные (до 100 метров) и глубокозалегающие.

По характеру залегания среди рудных тел различают горизонтальные (угол падения до  $10^\circ$ ), наклонные ( $10-45^\circ$ ) и крутопадающие ( $> 45^\circ$ ).

По отношению к первичному напластованию и контактам вмещающих пород тела полезных ископаемых бывают согласные и секущие. Контакты тел полезных ископаемых могут быть резкие (четкие) и постепенные, через зону вкрапленности. В последнем случае они определяются по данным опробования.



Форма тел полезных ископаемых может быть нарушена тектоническими деформациями, что значительно осложняет выполнение геологоразведочных работ.

**Цель лабораторной работы:** ознакомиться с принципами определения формы рудных тел, изучить предложенные геологические разрезы, определить формы рудных тел на реальных геологических разрезах месторождений.

Порядок выполнения работ:

1. На предложенных геологических разрезах детально ознакомиться с условными обозначениями, определить формы рудных тел и найти их место в классификационной таблице.

2. Попытаться по геологической обстановке определить главные факторы, обусловившие форму и место локализации полезного ископаемого.

3. Привести характеристику рудных тел по ряду параметров – сингенетичности или эпигенетичности руд, характер залегания и отношение к вмещающим породам.

#### ***4.3 Исследование минерального состава, текстур и структур полезных ископаемых***

Руды металлических и неметаллических полезных ископаемых по сравнению с горными породами имеют более сложное и разнообразное строение. Это обусловлено особыми геолого-тектоническими, геохимическими и физико-химическими условиями процессов рудообразования. В свою очередь разнообразие текстур и структур руд определяется генезисом месторождения, особенно это относится к гидротермальным месторождениям, в которых сосредоточена главная масса промышленных скоплений тяжелых металлов. Помимо этого, рудные минералы по сравнению с порообразующими силикатами обладают большей способностью изменяться при диагенезе, метаморфизме и выветривании, что отражается на строении руды. Изучение текстур и структур различных руд в настоящее время стало неотъемлемой частью комплексного изучения месторождений полезных ископаемых.

##### ***4.3.1 Исследование минерального состава руд***

Продуктами природных физико-химических процессов и составными частями разнообразных горных пород и руд являются минералы, встречающиеся в природе в виде кристаллов, кристаллически-зернистых масс, землистых скоплений, корочек и других форм. Из всего многообразия минералов промышленное значение в качестве рудного и нерудного сырья имеют около 200 минералов.

Вещественный состав, под которым понимается, как минеральный, так и химический состав руд, разнообразен, кроме того, для ряда неметаллических полезных ископаемых (асбест, кварц, глины, слюды, тальк и пр.) важное значение приобретают и их физические свойства.

Минеральные ассоциации, встречающиеся в месторождениях, неоднородны по своему составу. Минералы, слагающие руду (рудообразующие минералы), принято разделять на четыре группы: минералы промышленные, минералы – носители полезных примесей, минералы – носители вредных примесей, минералы непромышленные. Руды могут состоять из одного минерала (мономинеральные) и нескольких (полиминеральные). Минералы гидротермальных месторождений, не имеющие промышленной ценности, встречающиеся в составе жил, прожилков и просечек, носят название жильных минералов, а в остальных месторождениях – нерудных.

При наличии в рудах попутных ценных компонентов (металлов, неметаллов), извлечение которых экономически выгодно, руды считаются комплексными. Они могут быть полиминеральными и полиэлементными. Полиминеральные состоят из нескольких минералов различного состава, пригодных для раздельного использования (например, полиметаллическая руда из сульфидов меди, цинка, свинца и других металлов; медно-молибденовая – из сульфидов меди и молибдена; вольфрам-оловянные – из минералов этих металлов), Полиэлементные комплексные руды состоят из нескольких металлов, входящих в состав одного минерала (например, ванадинит, содержащий в своем составе свинец и ванадий; пироксид – церий и ниобий; электрум – золото и серебро).

В пределах месторождений выделяются парагенезисы минералов. Термин *«парагенезис»* буквально означает совместное образование.

**П а р а г е н е з и с м и н е р а л о в** - группа минералов, образованная совместно, одновременно или близодновременно, в условиях равновесия, свидетельствующего об определенных физико-химических условиях отложения. В более широком понимании к одному минеральному парагенезису относятся все первичные (разновременные) и вторичные (например, пирит и гётит и другие гидрооксиды железа; халькопирит и вторичные минералы меди – малахит, азурит и др.) ассоциирующие минералы какого либо месторождения. То же относится к минеральным парагенезисам, возникающим при гидротермальном рудообразовании на последовательных стадиях единого процесса минералообразования и сменяющим друг друга во времени в ходе формирования с сохранением реликтов более ранних минералов, которое сосуществует с более поздним.

Парагенезисы минералов существенно различны в разных генетических типах месторождений, формировавшихся в результате различных геологических процессов (эндо- и экзогенных). Парагенетические ассоциации минералов и рудных элементов, дающие представление о комплексности руд, показаны в Таблице 4.1.

В процессе минералогического изучения руд главное внимание уделяется промышленным минералам и минералам-носителям полезных и вредных примесей, их диагностике, форме и размеру выделений, особенностям сростаний с другими минералами.

Таблица 4.1.

## Парагенетические ассоциации элементов и минералов в рудах

| Руды                                        | Основные рудные элементы  | Рудные минералы                                       | Жильные и нерудные минералы                   |
|---------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1. Магматические месторождения              |                           |                                                       |                                               |
| Хромитовые руды                             | Cr, Fe, Mg                | Хромиты, платина, осмистый иридий                     | Сerpентин, оливин                             |
| Медно-никелевые сульфидные руды             | Ni, Cu, Fe, Co, Pt, Pd    | Пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит, минералы | Пироксены, основные плагиоклазы               |
| Апатит-нефелиновые руды в щелочных породах  | P, Ti, Fe, Al             | Апатит, нефелин, сфан, титаномагнетит                 | Эгирин, роговая обманка                       |
| Редкометальные руды в пегматитах            | Be, Li, Cs, Nb, Ta, Sn    | Колумбит, касситерит, лепидолит, берилл, сподумен     | Кварц, калиевый полевой шпат                  |
| 2. Гидротермальные месторождения            |                           |                                                       |                                               |
| Магнетитовые руды                           | Fe, Co, V, Pb, Zn         | Магнетит, пирит, пирротин                             | Гранат, пироксены, хлорит, кальцит            |
| Вольфрам-молибденовые руды                  | W, Mo, Bi, Cu, Pb, Ag, Au | Шеелит, вольфрамит, молибденит, халькопирит           | Кварц, слюды, полевые шпаты, кальцит, флюорит |
| Медные и медно-молибденовые порфировые руды | Cu, Mo, Re                | Халькопирит, пирит, молибденит                        | Кварц, серицит, хлорит                        |
| Медноколчеданные руды                       | Cu, Fe, Zn, Pb, As        | Пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенипирит    | Кварц, серицит, хлорит                        |
| 3. Экзогенные месторождения                 |                           |                                                       |                                               |
| Буро-железняковые руды                      | Fe, Mn, V, P              | Лимонит, гидрогётит, сидерит, шамозит, пиролюзит      | Глинистые минералы                            |
| Никелевые руды                              | Ni, Fe, Mn, Mg            | Гарниерит, ревдинскит, лимонит, псиломелан            | Халцедон, кварц, опал, серпентин, глины       |
| Марганцевые руды                            | Mn                        | Пиролизит, псиломелан, манганит, родохрозит           |                                               |
| Ископаемые соли                             | Na, Ca, Mg, K             | Галит, сильвин, карналлит, гипс                       |                                               |

## 4.3.2 Методика исследований

Изучение минералов руд приводится по эталонным коллекциям. Порядок описания рудных минералов следующий:

1. С помощью приложения определяются минералы по диагностическим признакам: цвет, блеск, спайность, твердость и т.д.

2. Изучается форма минеральных выделений. Производится отнесение рудного минерала к одной из групп: изометричные, неправильной формы, удлинённые (игольчатые, прожилкообразные, решетчатые, нитевидные, линзовидные) и пластинчатые (таблитчатые, чешуйчатые).

3. Визуально определяется количество рудного минерала в образце.

4. Работа завершается составлением таблицы рудных минералов по приведенной ниже форме:

| Минерал,<br>формула | Диагностические<br>признаки<br>(по приложе-<br>нию) | Форма<br>минеральных<br>выделений | Количество<br>рудного<br>минерала | Применение |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 1                   | 2                                                   | 3                                 | 4                                 | 5          |

#### 4.3.3. Изучение текстур и структур руд

Процессы рудообразования, особенно при формировании гидротермальных месторождений, протекают значительно более сложно по сравнению с процессами образования горных пород. Именно особыми физико-химическими условиями, периодически меняющимися, например, в зоне выветривания месторождений, и объясняется необычайное разнообразие особенностей строения руд, характерное для подавляющей массы месторождений: руды по сравнению с горными породами обладают несравненно большим разнообразием текстурно-структурных особенностей.

Под текстурами и структурами руд полезных ископаемых, как и горных пород, понимается в общем случае их строение, наблюдаемое непосредственно в горных выработках или визуально при изучении образцов полезных ископаемых, а также под микроскопом в прозрачных и полированных шлифах. По характеру распределения ценных минералов выделяются руды с равномерным, неравномерным и крайне неравномерным составом.

От минерального состава и количественных соотношений рудных и нерудных минералов, текстуры и структуры руд зависят способы их добычи, переработки, обогащения полезных компонентов, в связи с чем руды разделяются на отдельные технологические сорта.

**Т е к с т у р о й** называется строение руды, обусловленное формой, размерами и характером срастания *минеральных агрегатов*. Она определяется, кроме того, их пространственным расположением, т.е. ориентировкой и сочетанием различных по составу и структуре агрегатов, которые в рудах, в отличие от горных пород, необычайно широко распространены. Если для подавляющего большинства горных пород характерны однородные текстуры, то руды отличаются гораздо более сложным строением.

Под *минеральными агрегатами* следует понимать срастание одновременно образующихся минеральных зерен, образовавшихся совместно в определенных физико-химических условиях и представляющих собой минеральный парагенезис. Руды, как правило, сложены несколькими минеральными агрегатами, но встречаются руды с однородным строением. Последние преимущественно мономинеральные. Главнейшими морфологическими видами агрегатов являются: *пятнистые* (вкрапленность, пятна, модули); *удлинённые* (полоски, прослойки, прожилки и пр.); *друзовые и жеоидовые*;

*натёчные и сферические* (оолиты, почки, конкреции, фестоны, корки, сталактиты, сталагмиты и др.); *обломочные* (обломки, галька, валуны и пр.); *органогенные* (окаменелые остатки флоры и фауны); *коррозионные* (скелеты, реликты - остатки, каемки, решётки и др.); *каркасные*. Размеры таких агрегатов колеблются от долей мм до 10 см и более в поперечнике, поэтому в рудах выделяются микротекстуры, если величина агрегата более 2 мм, и микротекстуры, если величина агрегата менее 2 мм.

Формирование текстурных особенностей руд происходит при различных геологических процессах. Некоторое сходство текстур руд и горных пород устанавливается для собственно магматических месторождений и вмещающих их материнских изверженных пород. Примером могут служить текстуры хромитов, титаномагнетитовых руд, апатит-нефелиновых и некоторых других месторождений. В осадочных рудах текстуры находятся в прямой зависимости от условий процесса отложения химических осадков, обломочного материала, а также дигенетических изменений. В процессе метаморфизма происходит изменение и перекристаллизация минералов руд, но обычно хорошо сохраняются основные признаки слоистых текстур осадочных руд. Гидротермальное рудообразование происходит под влиянием многочисленных и разнообразных факторов как геологических, так и физико-химических с разнообразными способами отложения рудного вещества путём выполнения полостей и помещения боковых пород вблизи трещин. Эти особенности фиксируются в виде разнообразных сложных текстур.

Современная классификация текстур руд носит морфолого-генетический характер: в её основу положены как способ образования минеральных агрегатов руд, так и характер распределения их в пространстве (Табл.4.2.). Генетические группы текстур здесь выделены на основе генетической классификации месторождений, а морфологические объединяют однородные, удлинённые, округлые и неправильные группы текстур. Однородными текстурами обладают руды, представленные одним минеральным агрегатом больших размеров, в котором минералы распределены равномерно, поэтому такие руды в разных участках штуфа или забоя горной выработки одинаковы по вещественному составу и структуре.

Таблица 4.2

## Классификация важнейших текстур руд

| Морфогенетические группы |                                 | Геологические группы:                             |                                                                                           |                                               |                                                                 |                                           |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                          |                                 | Первичные текстуры                                |                                                                                           | Вторичные текстуры                            |                                                                 |                                           |
|                          |                                 | Магматические и пегматические                     | Гидротермальные                                                                           | Осадочные                                     | Выветривания                                                    | Метаморфогенные                           |
| Однородные (равномерные) |                                 | Массивная<br>Вкрапленная                          | Массивная<br>Вкрапленная                                                                  | Вкрапленная<br>Массивная                      | Порошковатая<br>Пористая                                        | Массивная<br>(переотложенная)             |
| Неоднородная             | Удлиненные<br>(плосковытянутые) | Полосчатая<br>линзовидная                         | Полосчатая<br>Крустификационная<br>Прожилковая и<br>прожилковидная<br>Прожилково-сетчатая | Слоистая<br>Линзовидная                       | Полосчатая                                                      | Сланцеватая<br>Полосчатая<br>(реликтовая) |
|                          | Округлые<br>(изометричные)      | Пятнистая<br>Нодулярная<br>(бобовая)<br>Гнездовая | Кокардовая<br>Колломорфная (почковидная)<br>Гнездовая                                     | Оолитовая<br>Конкреционная<br>Конгломератовая | Скорлуповатая<br>Конкреционная<br>Колломорфная<br>(почковидная) | Оолитовая<br>(реликтовая)                 |
|                          | Неправильные<br>(сложные)       | Брекчевидная<br>Друзовая                          | Друзовая<br>Брекчиевая<br>Брекчиевидная<br>Колломорфная (сложнопетельчатая)               | Брекчиевая<br>(обломочная)<br>Органогенная    | Жеоловая<br>Друзовая<br>Сталоктитовая<br>Пористая<br>Ячеистая   | Плойчатая<br>Брекчиевая                   |

**К о д н о р о д н ы м** текстурам принадлежат массивные, вкрапленные, а также рыхлые, порошковатые сажистые текстуры, характерные для многих месторождений рудного и нерудного сырья. Для вкрапленных руд необходимо обращать внимание на густоту вкрапления минеральных зерен полезного компонента (Табл.4.3).

Таблица 4.3.

Характеристика степени густоты включений минеральных зерен

| Обозначение по густоте включений | Площадь или объем в %% (по всей площади образца руды) |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Единичные                        | 1                                                     |
| Редкие                           | До 5                                                  |
| Густые                           | До 25                                                 |
| Очень густые                     | До 50                                                 |
| Сплошные                         | До 80-100                                             |

**Н е о д н о р о д н ы е** текстуры наиболее распространены и подразделяются на несколько морфогенетических групп.

**У д л и н е н н ы е** текстуры наблюдаются в рудах, сложенных минеральными агрегатами, вытянутыми в определенном направлении и различающимися мощностью, структурами, составом, размерами зерен и окраской. Минеральные агрегаты, имеющие форму полосок, прослойков, линз и плиток сланцеватости, обычно располагаются более или менее параллельно друг другу. Минеральные агрегаты прожилковой формы образуются при заполнении трещин или при замещении вдоль трещин и часто располагаются беспорядочно. Подобные текстуры наиболее характерны для метаморфических руд (железистые кварциты), контактово-метасоматических, а также осадочных месторождений.

**О к р у г л ы е** или **и з о м е т р и ч н ы е** текстуры характеризуются наличием минеральных агрегатов неправильной, изометричной и округлой форм в виде вкрапленности, нодулей, гнезд, почек в рудах магматических и гидротермальных месторождений, оолитов и конкреций в осадочных рудах (бокситы, железные руды).

Наиболее сложными являются **н е п р а в и л ь н ы е** текстуры, получившие широкое распространение в рудах гидротермальных месторождений, а также в зонах окисления рудных, особенно сульфидных месторождений (пятнистые, колломорфные, сложно-петельчатые, брекчиевые и пр.).

Ниже приводится описание наиболее распространенных текстур руд.

## Однородные (равномерные) текстуры

**Массивная** текстура наблюдается в рудах, которые состоят из одного или нескольких минералов, тесно примыкающих к друг другу и распространенных более или менее равномерно. Примером могут быть массивные медноколчеданные руды, главный минерал которых пирит сростается с небольшим количеством халькопирита, равномерно распределённым в массе пирита и заполняющим промежутки между его зернами. В магнетитовой или хромитовой руде рудные минералы тесно сростаются с нерудными. Чаще массивные текстуры характерны для мономинеральных агрегатов, состоящих из одного рудного минерала и небольшой примеси другого рудного или нерудного минерала. Термин «массивная текстура» обычно применяется для богатых руд, в которых рудные минералы преобладают над нерудными. Эти руды обычно не требуют предварительного обогащения.

**Равномернокрапленная однородная** текстура выделяется в том случае, если рудные минералы равномерно рассеяны в массе нерудных минералов, слагающих горную породу или жильную массу.

**Порошковатая** или землистая текстура, свойственная рыхлым порошковатым массам аморфного и скрытокристаллического вещества, выделяющимся из истинных или коллоидных растворов в водных бассейнах или на стенках полостей и трещин. Порошковатые массы черного цвета (например, гидроокислов марганца или ковеллина и халькозина, или тонкодисперсного пирита) называются сажистыми, например, налёты лимонита в пустотах.

## Удлиненные текстуры

**Полосчатая** текстура характеризуется чередованием полосок различного минерального состава, различной зернистости или различных по окраске полос одного и того же минерала. Полосы имеют мощность от десятых долей мм до нескольких см и редко десятков см. Длина полосок по простиранию колеблется от нескольких десятков см до нескольких м. Границы между полосами резкие и постепенные.

**Крустификационная** текстура встречается в жилах выполнения. Текстура характеризуется полосчатым расположением минеральных агрегатов. При этом полосы минералов отлагались на стенках трещины от периферии к центру. Каждая последующая полоска повторяет все очертания стенок трещины или поверхности полосы ранее отложенного минерального агрегата. Таких полосок может быть несколько, прилегающие к стенке трещины – наиболее ранние, в центре – более молодые. Полосы могут состоять из одного минерала и отличаться друг от друга лишь по цвету и структуре, или же сложены различными минералами.

**Прожилковая** текстура характеризуется развитием прожилков рудных и жильных минералов по трещинам, пересекающим породу или руду в зо-



нах брекчирования, или по трещинам отдельности и сланцеватости. Мощность прожилков изменяется от долей мм до 2 см, реже до 10 см. Если прожилки одного минерального агрегата заполняют трещины разных направлений, формируется прожилково-сетчатая текстура.

По отношению к вмещающей породе или руде прожилки всегда представляют более молодые агрегаты. Прожилки заполнения имеют ровные границы, прожилки замещения – извилистые границы и содержат реликты замещаемых минералов. Прожилковая текстура наблюдается в рудах, отложившихся при заполнении трещин. Прожилковидная текстура образуется при одновременном развитии процессов заполнения и замещения.

**С л о и с т а я** текстура обладает почти параллельным расположением слоев, прослоек и пропластков различного минерального состава, структуры, окраски, твёрдости и пористости. Обычно рудные прослойки чередуются с прослойками горной породы. Границы между ними как резкие, так и постепенные. Различают грубослоистую, тонко-слоистую и микрослоистую текстуру в зависимости от мощности отдельных прослоек. Грубослоистая текстура имеет мощность прослоек от 10 до 0,5 см, тонкослоистая – от 5 до 0,5 мм, микрослоистая – менее 0,5 мм. Слоистость образуется во время накопления осадков и является типоморфной для руд осадочного генезиса.

**Л и н з о в и д н а я** текстура представляет разновидность слоистой и полосчатой текстур, образуется в тех случаях, когда рудные агрегаты в форме слоев и полосок пережимаются или выклиниваются по простиранию. В таких случаях рудные минеральные агрегаты имеют форму линзочек.

**С л а н ц е в а т а я** текстура образуется под влиянием ориентированного давления и характеризуется линейным или плоско-параллельным расположением удлинённых минеральных агрегатов. Она является вторичной и широко распространена, например, на колчеданных месторождениях.

### **Округлые (изометричные) текстуры**

**П я т н и с т а я** текстура характеризует такие формы срастания, когда один минеральный агрегат ли несколько агрегатов в форме пятен и гнезд развиты в массе другого рудного или нерудного минерального агрегата. Величина минеральных агрегатов изменяется от одного до нескольких см. Пятнистые текстуры наиболее широко развиты в метасоматических месторождениях и в жилах выполнения.

**Н о д у л я р н а я** текстура является разновидностью пятнистой и характерна для хромитов и медно-никелевых руд. Отдельные пятна (нодули) хромита и сульфидов диаметром от 5 до 15 мм обладают овальной, реже округлой или сфероидальной формой с резкими границами (Рис.4.3). Они заключены в массе изменённых породообразующих минералов. Нодули хромита располагаются то полосами, то в беспорядке и обособляются в процессе ликвации. Параллельная вытянутость их обусловлена течением в магме при её кристаллизации.

**Колломорфная** текстура встречается в рудах, сложенных агрегатами фестончатой формы. Формируется при последовательном нарастании на стенах трещины или полости полосок коллоидного минерального вещества. Колломорфная почковидная текстура характеризуется наличием полусферических, округлых или округло-бугорчатых агрегатов. В разрезе почки имеют концентрическую скорлуповатость, где плотные концентры имеют гелевое и скрытокристаллическое строение (примером могут служить текстуры агрегатов малахита).

**Кокардовая** текстура характеризуется последовательным отложением минералов в виде колец или корок вокруг неправильных или овальных обломков породы или руды. Такая текстура возникает в тех случаях, когда трещина частично заполнена обломками.

**Скорлуповатая** текстура характеризует строение полезного ископаемого, отложенного в изометричных полостях виде чередующихся корок – скорлупок полусферической или фестончатой формы. При этом отложение минерального вещества различного состава происходит от периферии к центру полости ли вокруг обломков боковой породы.

**Конкреционная** текстура определяется образованием конкреций или стяжений шарообразной, овальной, реже неправильной формы в глинисто-карбонатных и глинисто-песчанистых породах осадочного генезиса или в рыхлых продуктах выветривания в зоне инфильтрации грунтовых вод. Размеры конкреций колеблются от нескольких мм до 1 м и более в поперечнике. Конкреционная текстура характерна для осадочных руд. Состав конкреций карбонатный, гётитовый, пиролюзитовый, марказитовый, фосфоритовый.

**Оолитовая** текстура характеризуется скоплением оолитов, представляющих собой минеральные агрегаты шаровидной или эллипсоидальной формы с концентрически – зональным строением. Оолиты образуются в весьма подвижной среде в результате концентрического нарастания коллоидного вещества вокруг взвешенных в воде песчинок, глинистых частиц, органических остатков, пузырьков воздуха и др. Цемент обычно находится в подчиненном количестве по отношению к оолитам. Оолиты могут быть сложены арагонитом, кальцитом, сидеритом, доломитом, халцедоном, пиритом, гидраргиллитом, диаспором и фосфатами кальция.

**Конгломератовая** текстура наблюдается в рудах и породах, состоящих из сцементированных галек и валунов. Пустоты между обломками заполнены глинистым, песчано-глинистым и известковым цементом (Рис.4.3). Ценные минералы, как например, самородное золото, платина, уранинит, гётит и др., сосредоточены в цементе конгломератов. Иногда галька и валуны сложены рудными минералами, как например, валунчатые руды магнетита, фосфоритовая галька и т.п. Конгломератовые текстуры широко распространены в рудах осадочных месторождений золота, платины, железа и в некоторых строительных материалах.

## **Неправильные (сложные) текстуры**

**Брекчиевая** текстура развита в рудах и породах, сложенных двумя минеральными агрегатами, из которых один представлен угловатыми обломками, а другой – цементом. Обломки и цемент являются различными по времени образования с определенными парагенетическими ассоциациями минералов, структурами и текстурами. Например, встречаются обломки пород, сцементированные рудными минералами или обломки руды, сцементированные жильными минералами и т.д.

**Брекчиевидная** текстура образуется обломками округлой формы и цементом; округлая форма обломков возникает в результате их замещения цементом (Рис.4.3).

Текстуры **друзовые** и **жеодовые** связаны с наличием в породе или руде полостей неправильной, изометричной, линзовидной или округлой формы. На стенках таких полостей отлагаются минеральные агрегаты («щетки» кристаллов и «корки» зерен или аморфного вещества), которые частично или полностью их заполняют.

**Друзовая** текстура примечательна щетками крупных кристаллов рудных и нерудных минералов, которые нарастают на стенках небольших пустот в горных породах или рудах. В природе широко распространены друзы горного хрусталя, кальцита, барита, пирита и др. Друзовые текстуры часто развиты в жилах выполнения.

**Жеодовая** текстура формируется при выполнении минеральным веществом небольших пустот или менее изометричной формы. Нарастание корок внутри полости происходит всегда от периферии к центру. Размеры жеод могут быть весьма различными: от нескольких мм до 2-3 м и более в поперечнике. В середине жеоды всегда сохраняются пустоты линзообразной или овальной формы - жеодовые пустотки.

**Сталактитовая** текстура наблюдается в рудах, в которых натечные минеральные агрегаты удлиненной формы образуются при нарастании вещества сверху вниз строго по вертикали. Удлиненные свисающие минеральные агрегаты в кровле открытых полостей называются сталактитами.

**Пористая** текстура представляет собой систему пор, образовавшихся в породе или руде при выщелачивании неустойчивых минералов и минеральных агрегатов. Форма и размеры пустот могут быть различными. Так текстура, характеризующаяся порами изометричной формы, носит название ячеистой.

Визуальное определение текстур руд проводится в образцах разнообразных месторождений, для которых вначале определяются рудные минералы и состав минеральных агрегатов. При определении текстур с помощью Табл.4.2 делается вывод о генезисе руд.

**Структурой** называется строение минерального агрегата, обусловленное формой, размерами и характером срастания минеральных зерен. Морфологической единицей структуры является минеральное зерно или минеральный индивид. Индивидом, по Д.П. Григорьеву, является как природный кристалл,

ограниченный кристаллическими гранями, так и каждое минеральное сырьё или другое однородное выделение, отделенное от соседей поверхностями соприкосновения. Кристаллы и минеральные зерна могут обладать однородным и неоднородным внутренним строением, которое может быть вызвано присутствием твердых минеральных включений различного генезиса. Форма, величина, внутреннее строение и пространственная ориентация минеральных зерен являются основными признаками для определения морфологических видов структур.

Изучение структур каждого минерального агрегата проводится макроскопически и под микроскопом. Структуры крупнозернистых агрегатов определяют невооруженным глазом в штуфах, кернах и шлифовках. Структуры средне – и мелкозернистых агрегатов определяются только под микроскопом в полированных и прозрачных шлифах.

Структуры руд, выделение которых возможно провести визуально, подразделяются на ряд групп. По абсолютному размеру минеральных зерен выделяются следующие структуры:

1. **Крупнозернистые** (размер зерен более 5 мм)
2. **Среднезернистые** (2-5мм)
3. **Мелкозернистые** (0,2 – 2мм)
4. **Тонкозернистые** (менее 0,2мм)

По относительному размеру зерна структуры руд подразделяются на **равномернозернистые** и **неравномернозернистые**. **Равномернозернистые** структуры характеризуются сростками кристаллических зерен, форма и размеры которых изменяются в зависимости от температуры, давления и состава растворов. Они развиты в минеральных агрегатах, отложившихся при кристаллизации расплавов и водных растворов в магматических очагах, в соленосных бассейнах, в открытых пустотах горных пород и руд. В мономинеральных агрегатах зерна имеют более или менее одинаковые размеры.

**Неравномернозернистые** структуры подразделяются на порфировые, пойкилитовые и эмульсионные. **Порфировая** структура характеризуется резким различием зерен по размеру – отдельные зерна имеют значительно большие размеры, чем остальные. **Пойкилитовая** структура отличается включением мелких зерен рудного минерала в более крупные; в **эмульсионных** структурах такие мелкие зерна-вроски имеют округлую, овальную, каплевидную форму.

В зависимости от формы зерен минерального агрегата выделяются **изометрически-зернистая, пластинчатозернистая, игольчатая и волокнистая** структуры.

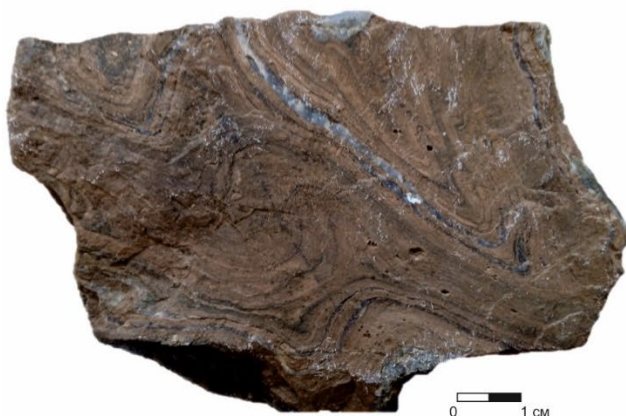
По взаимоотношению (характеру срастания) зерен выделяются **зональная, параллельно-пластинчатая, радиально-лучистая, сноповидная и решетчатая** структуры.



*Нодулярная текстура, хромитовая руда  
(Месторождение Рай-Из, Полярный Урал)*



*Брекчиевидная текстура, колчеданная руда  
(Сафьяновское месторождение)*



*Плойчатая текстура, гондит - Mn руда  
(Полярный Урал)*



*Конгломератовая текстура*

Рис. 4.3 Примеры текстур руд

Определение структуры руд производится после изучения текстуры визуально или с помощью лупы. Вначале определяется размер минеральных индивидов, затем характер их взаимоотношений.

Итогом работы по изучению текстур и структур руд является таблица следующего вида:

| Наименование<br>образца, ме-<br>сторождения | Кол-во<br>рудных<br>минералов, % | Рудные<br>минералы | Нерудные<br>минералы | Текстура | Структура | Генезис |
|---------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------|-----------|---------|
| 1                                           | 2                                | 3                  | 4                    | 5        | 6         | 7       |

#### 4.4. Классификация месторождений и их примеры

Существование различных параметров месторождений полезных ископаемых определило и существование различных по целям и основаниям их классификаций. Так, классификация Государственной комиссии по запасам (ГКЗ) РФ производится по следующим критериям: форма рудных тел и рудоносных зон, степень сложности их строения, из других отметим классификацию по промышленным или геолого-промышленным типам месторождений.

Наиболее признанной в настоящее время является генетическая классификация месторождений академика В.И. Смирнова, в основу которой положено сочетание различных источников рудного вещества, транспортирующих агентов и способов рудоотложения (Табл.4.4, Рис. 4.3).

Все месторождения в ней подразделены на три серии, каждая серия подразделена на группы, а последние – на классы.

**Экзогенные месторождения** называют также гипогенными и связывают с внутренней энергией Земли. Они подразделяются на три группы: магматическую, флюидно-магматическую и гидротермальную.

**Магматические месторождения** пространственно и генетически связаны со становлением магматических расплавов ультраосновного, основного и щелочного составов и подразделяются в зависимости от типа дифференциации на классы кристаллизационных и ликвационных месторождений.

В зависимости от времени кристаллизации рудных минералов по отношению к породообразующим в классе кристаллизационных месторождений выделяют *раннемагматические* и *позднемагматические*.

Первые характеризуются более ранней кристаллизацией рудных минералов. К ним принадлежат месторождения алмазов в кимберлитах и некоторые месторождения хромитов.

*Позднемагматические месторождения* образуются при кристаллизации рудных минералов на поздних стадиях становления интрузивных массивов. Они представлены значительными месторождениями хромитов (Кемпирсайское), титаномагнетитов (Качканарское) и апатита (Хибинские месторождения).

*Ликвационные месторождения* формируются при разделении расплава на несмешивающиеся жидкие фазы (силикатную и сульфидную) и их последующей кристаллизации. Месторождения представлены сульфидной медно-никелевой формацией (Норильск - 1, Таланах, Печенга, Аллареченское, Заполярное).

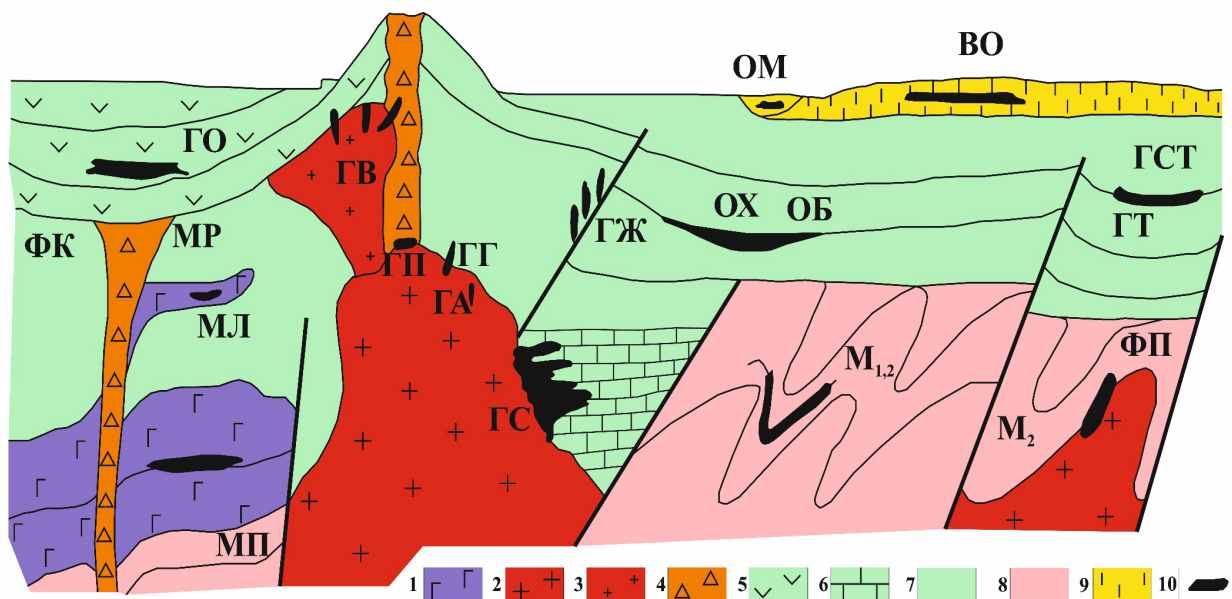


Таблица 4.4

**Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых  
(по В. И. Смирнову, с изменениями)**

| Серия               | Группа                |                               | Класс                                                                  | Индекс                 | Полезное ископаемое                           |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| Эндогенная          | Магматическая         |                               | Кристаллизационный:<br>а) раннемагматический<br>б) позднемагматический | <b>МР</b><br><b>МП</b> | <b>Алмаз, Cr, Ti – Fe, апатит-нефелин</b>     |
|                     |                       |                               | Ликвационный                                                           | <b>МЛ</b>              | <b>Cu – Ni</b>                                |
|                     | Флюидно-магматическая |                               | Пегматитовый                                                           | <b>ФП</b>              | <b>Самоцветы, мусковит</b>                    |
|                     |                       |                               | Карбонатитовый                                                         | <b>ФК</b>              | <b>Nb, Ta, TR, апатит, Fe</b>                 |
|                     | Гидротермальная       | Плутоногенная                 | Грейзеновый                                                            | <b>ГГ</b>              | <b>Sn, W, Mo, Be</b>                          |
|                     |                       |                               | Альбититовый                                                           | <b>ГА</b>              | <b>U, Th, Nb, Ta, TR</b>                      |
|                     |                       |                               | Скарновый                                                              | <b>ГС</b>              | <b>Fe, Cu, Pb – Zn, W – Mo, B</b>             |
|                     |                       |                               | Порфировый                                                             | <b>ГП</b>              | <b>Au – Cu – Mo</b>                           |
|                     |                       |                               | Жильный                                                                | <b>ГЖ</b>              | <b>Au, Sn, Mo, Pb – Zn, Co – Ni – Bi – U</b>  |
|                     |                       | Вулканогенная                 | Субвулканический                                                       | <b>ГВ</b>              | <b>Au – Ag, Sn, W, Bi, U, алуни́т</b>         |
|                     |                       |                               | Гидротермально-осадочный                                               | <b>ГО</b>              | <b>Pb – Zn – Cu, S, Fe, Mn</b>                |
|                     |                       | Амагмато-генная               | Стратиформный                                                          | <b>ГСТ</b>             | <b>Cu, Pb – Zn</b>                            |
|                     |                       |                               | Телетермальный                                                         | <b>ГТ</b>              | <b>Hg, Sb, Au</b>                             |
| Экзогенная          | Выветривания          |                               | Остаточный                                                             | <b>ВО</b>              | <b>Ni, Al, Fe, каолин</b>                     |
|                     |                       |                               | Инфильтрационный                                                       | <b>ВИ</b>              | <b>U, V, S</b>                                |
|                     | Осадочная             |                               | Механический:<br>а) обломочных пород<br>б) россыпи                     | <b>ОМ</b>              | <b>Au, Pt, алмаз, Sn, W, Ti, пески, глины</b> |
|                     |                       |                               | Химический:<br>а) из истинных растворов<br>б) из коллоидных растворов  | <b>ОХ</b>              | <b>Соли, гипс, известняк, Al, Fe, Mn</b>      |
|                     |                       |                               | Биохимический                                                          | <b>ОБ</b>              | <b>Фосфорит, уголь</b>                        |
|                     | Метаморфогенная       | Метаморфическая               |                                                                        | Зеленосланцевой фации  | <b>М<sub>1</sub></b>                          |
| Амфиболитовой фации |                       |                               |                                                                        | <b>Графит</b>          |                                               |
| Гранулитовой фации  |                       |                               |                                                                        | <b>Гранат</b>          |                                               |
| Эклогитовой фации   |                       |                               |                                                                        | <b>Рутил</b>           |                                               |
| Метаморфизованная   |                       | Контактово-метаморфизованный  | <b>М<sub>2</sub></b>                                                   | <b>Графит, корунд</b>  |                                               |
|                     |                       | Регионально-метаморфизованный |                                                                        | <b>Au – U, Fe</b>      |                                               |

## Идеализированная схема размещения различных генетических классов месторождений



1-2 – интрузивные породы: 1 – базиты и ультрабазиты, 2 – гранитоиды;  
 3 – субвулканические тела; 4 – магматогенные брекчии; 5 – вулканиты;  
 6 – известняки; 7 – вулканогенно-осадочные, осадочные комплексы;  
 8 – метаморфогенные комплексы; 9 – кора выветривания;  
 10 – месторождения

Рис. 4.4 Идеализированная схема размещения различных генетических классов месторождений

*Флюидно-магматическая группа месторождений* образована остаточными магматическими расплавами, обогащенными летучими компонентами и водой. К этой группе относятся пегматиты и карбонатиты.

*Пегматиты* формируются в тесной связи с деятельностью магматических очагов и представляют собой гигантокристаллические горные породы по составу близкие к обычным магматическим породам. С пегматитами связаны как самоцветное сырьё, так и редкометалльные и редкоземельные металлы.

*Карбонатиты* представляют собой карбонатные породы эндогенного происхождения, состоящие на 80-90% из карбонатов (обычно кальцит, реже доломит, анкерит) с примесью апатита, флогопита, магнетита, редкоземельных и других минералов, которые определяют промышленную ценность месторождений.

*Гидротермальные месторождения* чрезвычайно многочисленны и разнообразны. Их объединяет общность образования из гидротермальных растворов, имеющих различное происхождение, что позволяет подразделить их на три группы: *плутоногенные*, *вулканогенные* и *амагматогенные* (внемагматические).

*Плутоногенные* гидротермальные месторождения образованы растворами, выделяющимися при кристаллизации интрузивных пород кислого состава.



Они локализуются в апикальных частях гранитных интрузивов или же на некотором удалении и сопровождаются гидротермально-метасоматическими изменениями окружающих пород. В этой группе выделяются классы *грезенов*, *альбититов*, *скарнов*, а также *порфировые* и *жильные* месторождения.

*Грейзены* – метасоматические горные породы, состоящие из кварца и слюды, формируют штокверки рассеянной прожилково-вкрапленной минерализации, ведущими компонентами здесь являются вольфрам, молибден, олово и бериллий.

*Альбититы* – метасоматические горные породы, в образовании которых ведущую роль играет процесс высокотемпературной альбитизации. С ними связаны месторождения урана, бериллия, тантала, ниобия и редких земель.

*Скарнами*, обычно, называют породы известково-силикатного состава, образовавшиеся метасоматическим путем чаще всего в приконтактной области интрузивов среди карбонатных, реже силикатных пород. К скарнам приурочены месторождения железа, меди, вольфрама и молибдена, олова.

*Порфировые месторождения* связаны с образованием малых интрузий и субвулканических тел, обычно порфировой структуры. Из порфировых месторождений, объединяющих две рудные формации – кварц-молибденовую и кварц-халькопиритовую, - получают половину мировой добычи меди и подавляющее количество молибдена.

*Класс жильных месторождений* объединяет месторождения, ассоциирующие с гранитоидами, располагающиеся обычно на удалении от плутонов, рудные тела здесь имеют преимущественно жильную форму. Полезные ископаемые жильных месторождений весьма разнообразны. Это руды золота, олова, вольфрама, молибдена, меди, свинца, цинка, кобальта, никеля, урана, висмута и др.

*Группа гидротермальных вулканогенных месторождений* подразделяются на два класса: *субвулканический* и *гидротермально-осадочный*.

*Субвулканический* класс включает месторождения, приуроченные к трещинам в апикальных частях экструзивно-субвулканических куполов и жерловин вулканов, по форме рудных тел близок к жильным месторождениям. Здесь фиксируются золоторудные и золотосеребряные месторождения, а также руды многих металлов (олово, вольфрам, уран, висмут).

Для класса *гидротермально-осадочных* месторождений характерен контроль вулканическими структурами депрессионного типа, пластовая, пластообразная форма рудных тел. Они представлены, прежде всего, колчеданными медно-цинковыми месторождениями на Урале, а также месторождениями железа, марганца, серы, бора, стронция, ртути и сурьмы.

Группа *амагматогенных* месторождений представлена стратиформным классом, включающим месторождения медистых песчаников и полиметаллов в карбонатных толщах и телетермальным, типичным для которого являются парагенезисы флюорита, киновари, антимонита и золота.

*Экзогенные* месторождения формировались вследствие механической, химической, биохимической дифференциации вещества земной коры под влия-

нием солнечной энергии. В зависимости от условий их образования выделяют две группы экзогенных месторождений: *выветривания* и *осадочные*.

Группа месторождений *выветривания* включает классы остаточных месторождений и инфильтрационных месторождений. *Остаточные* образуются при физическом и химическом выветривании, когда конечные продукты выветривания накапливаются в виде труднорастворимого остатка, образуя месторождения каолинов, бокситов, бурых железняков и силикатно-никелевых руд.

*Инфильтрационные* месторождения формируются за счет выноса легкорастворимых компонентов и их отложения в нижних частях коры выветривания или за её пределами. Они представлены месторождениями урана, ванадия и серы.

Группа *осадочных* месторождений непосредственно связана с процессами седиментации и дигенетического преобразования осадков и подразделяется на классы механических, химических и биохимических месторождений.

*Механические* месторождения включают месторождения обломочных пород, представленные продуктами разрушения горных пород и переноса в водной среде, и россыпные месторождения. Наиболее широко распространены аллювиальные россыпи, в которых сосредоточены золото, платина и ценные минералы (касситерит, алмаз, корунд, горный хрусталь и др.). С прибрежно-морскими (литоральными) россыпями связаны месторождения рутила, ильменита, циркона, монацита, янтаря.

Класс *химических* месторождений подразделяется на два подкласса: сформированные их истинных растворов и коллоидов. К первому относят месторождения солей и рассолов, представленные крупными соленосными бассейнами, ко второму – месторождения железных и марганцевых руд и бокситов.

*Биохимические* месторождения образуются при отмирании и накоплении остатков живых организмов и традиционно разделяются на негорючие и горючие биохимические полезные ископаемые. Негорючие включают известняки, кремнистые породы и фосфориты, горючие – ископаемые угли, горючие сланцы, нефть и газ.

*Метаморфогенные* месторождения возникают в глубинных зонах земной коры под действием высоких температур и давлений. В этой серии выделяют две группы: *метаморфизованную*, включающую преобразование в новой термодинамической обстановке ранее возникшие месторождения любого генезиса и *метаморфическую*, образовавшуюся впервые в результате метаморфогенного преобразования вещества и в какой-то мере обусловленную процессами гидротермально-метаморфогенного концентрирования рассеянных рудных элементов или их соединений. К *метаморфизованным* (классы здесь выделяются по типу метаморфизма – контактово-метаморфизованные и регионально-метаморфизованные) принадлежат месторождения графита, корунда и крупнейшие месторождения железистых кварцитов и золото-урановые). К *метаморфическим* - классы здесь выделены по фациям

метаморфизма – в основном нерудные полезные ископаемые: тальк, кварц, асбест, графит, гранит, а также рутил.

Методика лабораторной работы включает:

1. Знакомство с генетической классификацией полезных ископаемых.
2. Изучение важнейших особенностей вещественного состава по коллекциям руд главных генетических типов.
3. Изучение по литературным данным главных месторождений важнейших генетических типов с составлением характеристики в табличной форме.

## ТАБЛИЦЫ СВОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Таблицы свойств основных промышленных минералов составлены на основе «Полевого определителя минералов М.Ф Кузина и Н.И. Егорова (М.: Недра, 1983. - Изд.2-е перераб. и доп.) и предназначены для работы с коллекциями металлических и неметаллических полезных ископаемых, изучаемых на практических занятиях студентами горных специальностей»

В таблицах приведены основные физические свойства промышленных минералов (форма выделений, цвет и цвет черты, блеск, твердость, спайность и излом), необходимые для визуальной диагностики минералов. Поскольку в коллекции указаны рудные и нерудные минералы в составе образцов, для их сравнительной диагностики следует обращаться к графе «Диагностические признаки». В таблицах показаны содержания полезных компонентов (преимущественно для металлических полезных ископаемых) и типы месторождений, в которых встречаются эти минералы.

| Минерал и химическая формула                                           | Форма выделений                                                           | Цвет и цвет черты                                                  | Блеск                          | Твердость | Спайность, излом                      | Диагностические признаки                      | Тип месторождений                                           | Содержание полезного компонента |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1                                                                      | 2                                                                         | 3                                                                  | 4                              | 5         | 6                                     | 7                                             | 8                                                           | 9                               |
| <b>МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ</b>                               |                                                                           |                                                                    |                                |           |                                       |                                               |                                                             |                                 |
| <b>ЖЕЛЕЗО</b>                                                          |                                                                           |                                                                    |                                |           |                                       |                                               |                                                             |                                 |
| Магнетит $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (с несколькими % Ti титаномагнетит)   | Сплошные зернистые массы и вкрапленность зерен                            | Железно-черный, черта черная                                       | Полуметаллический              | 5,5-6     | Нет, но бывает отдельность            | Хрупкий, сильно магнитный                     | Магматические, скарновые, гидротермальные, мета-морфогенные | Fe -72,4%                       |
| Гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (псевдоморфозы по магнетиту –«мартит») | Плотные скрытокристаллические массы и пластинчатые агрегаты               | Железно-черный, красноватый, черта вишнево-красная                 | То же                          | 5,5-6     | Нет, но характерна отдельность        | Вишнево-красная черта, отсутствие магнитности | Гидротермальные, выветривание, метаморфогенные              | Fe -70%                         |
| Гётит $\text{HFeO}_2$                                                  | Почковидные натёчные агрегаты, сталактиты с радиальным строением в изломе | Темный красно-бурый до черного, черта бурая с красноватым оттенком | Алмазный до полуметаллического | 5 - 5,5   | Совершенная раковистый до занозистого | Твердость, блеск, черта                       | Выветривание                                                | $\text{Fe}_2\text{O}_3=89,9\%$  |
| Лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$              | Порошковатые и шлако-видные массы                                         | Бурый, желто-бурый, черта бурая с красноватым оттенком             | матовый                        | 1-4       | нет                                   | Форма выделений, цвет, черта                  | Выветривание                                                | $\text{Fe}_2\text{O}_3=86\%$    |
| <b>МАРГАНЕЦ</b>                                                        |                                                                           |                                                                    |                                |           |                                       |                                               |                                                             |                                 |
| Пирролюзит $\text{MnO}_2$                                              | Тонкозернистые и скрытокристаллические массы                              | Черный, черта черная                                               | Полуметаллический              | 2         | Совершенная                           | Спайность, хрупкость и низкая твердость       | Осадочные, выветривания (Чиатурское, Никопольское)          | Mn=55-63,2%                     |
|                                                                        |                                                                           |                                                                    |                                |           |                                       |                                               |                                                             |                                 |

|                                                                                             |                                                                                           |                                                                                                               |                                       |                               |                                                              |                                                                                                                                      |                                                                        |                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Псиломелан<br>$\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$                     | Натёчные формы<br>и тонко-<br>кристаллические<br>агрегаты                                 | Черный, чер-<br>та черная                                                                                     | Полуметал-<br>лический<br>и матовый   | 4-6<br>(в агрегатах<br>меньше | нет                                                          | Натёчная форма и<br>черная черта                                                                                                     | Осадочные, выветрива-<br>ния                                           | Mn=40-60%                                            |
| <b>Х Р О М</b>                                                                              |                                                                                           |                                                                                                               |                                       |                               |                                                              |                                                                                                                                      |                                                                        |                                                      |
| Хромшпинелиды<br>$(\text{Mg,Fe}) \cdot (\text{Cr,Al,Fe})_2$<br>$\text{O}_4$ (хромит)        | Мелкие кри-<br>сталлы, чаще<br>округленные<br>зерна и сплош-<br>ные зернистые<br>агрегаты | Черный, чер-<br>та черная                                                                                     | Металло-<br>видный                    | 5,5 – 7,5                     | нет                                                          | Черный цвет, бу-<br>рая черта, ассоци-<br>ация с минералами<br>основных пород                                                        | Магматические                                                          | $\text{Cr}_2\text{O}_3$<br>(Кимперсайское)<br>18-62% |
| <b>Н И К Е Л Ь   И   К О Б А Л Ь Т</b>                                                      |                                                                                           |                                                                                                               |                                       |                               |                                                              |                                                                                                                                      |                                                                        |                                                      |
| Пентландит<br>$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$                                                  | Вкрапленники с<br>округлыми очер-<br>таниями в пир-<br>ротиновых рудах                    | Черта зеле-<br>новато-<br>черная                                                                              | Металличе-<br>ский темно-<br>латунный | 3-4                           | Совершенная                                                  | Отличается от<br>пирротина более<br>светлой окраской,<br>спайкостью, не-<br>магнитностью, у<br>халькопирита бо-<br>лее яркая окраска | Магматические (Нориль-<br>ское, Талнахское, Печен-<br>га и Мончегорск) | Ni – 22-42%<br>$\text{C}_0$ – 0,4-2,5%               |
| Пирротин<br>$\text{Fe S}$<br>Обычны примеси<br>Ni, $\text{C}_0$                             | Сплошные мас-<br>сы и вкраплен-<br>ные зерна                                              | Темный<br>бронзово-<br>желтый с<br>красно-бурой побе-<br>жалостью,<br>черта серо-<br>вато-черная<br>до черной | Металличе-<br>ский                    | 3,5-4,5                       | Отдельность,<br>излом неров-<br>ный до полура-<br>ковис-того | Магнитный                                                                                                                            | Магматические                                                          | Ni – по 1%                                           |
| Гарниерит<br>$\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | Скрытокристал-<br>лические и зер-<br>нистые массы                                         | Яблочко зе-<br>леный, черта<br>зеленая                                                                        | Матовый,<br>восковой,<br>жирный       | 2,5-2                         | Нет, плоскора-<br>ковистый                                   | Цвет, внешний<br>облик и твер-<br>дость. У более бо-<br>гатых Ni разно-<br>стей цвет более<br>яркий зеленый                          | Выветривание                                                           | Ni – 40-45%                                          |
| Ревдинскит<br>(Ni,<br>Mg) $_6 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot [\text{OH}]_8$         | Землистые и<br>глинистые скоп-<br>ления, плотные<br>корочки и про-<br>жилки               | Ярко сине-<br>зеленый-<br>бирюзовый                                                                           | Матовый,<br>восковой,<br>жирный       | 2-2,5                         | Весьма совер-<br>шенная                                      | Цвет, внешний<br>облик и твер-<br>дость                                                                                              | Выветривание, вместе с<br>гарниеритом                                  | Ni – 40-45%                                          |
| Арсенопирит<br>$\text{Fe As S}$                                                             | Призматические<br>кристаллы,<br>зернистые и ше-<br>стоватые агрега-<br>ты                 | Оловянно<br>белый до<br>стального<br>серого, черта<br>серовато-<br>черная                                     | Металличе-<br>ский                    | 5,5-6                         | Несовершен-<br>ная, излом не-<br>ровный                      | Форма кристал-<br>лов, цвет                                                                                                          | Гидротермальные                                                        | As-34,3%                                             |
| Хлоантит<br>$\text{NiAs}_3$                                                                 | Кубические кри-<br>сталлы и сплош-<br>ные зернистые<br>массы <sup>1</sup>                 | Оловянно-<br>белый, ино-<br>гда с серой<br>или радуж-                                                         | Металли-<br>ческий                    | 5,5-6                         | Заметная                                                     | От шмальтина<br>отличается только<br>по химическому<br>анализу                                                                       | Гидротермальные                                                        | Ni 14,5-21,2%<br>As-3,6-6,3%                         |

|                                                                                                 |                                                                                                     |                                                                                    |                                             |         |                                        |                                                                                                                                                     |                                                                               |                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                                                                                 |                                                                                                     | ной побежалостью, черта серовато-черная                                            |                                             |         |                                        |                                                                                                                                                     |                                                                               |                                                                 |
| Смальтин<br>(шмальтин)<br>(Co,Ni,Fe)As <sub>3</sub>                                             | Кубические кристаллы и сплошные зернистые массы <sup>ii</sup>                                       | То же                                                                              | То же                                       | 5,5 - 6 | То же                                  |                                                                                                                                                     | Гидротермальные                                                               | Co-24,1-13,8%<br>Ni-1-15%                                       |
| <b>ВОЛЬФРАМ</b>                                                                                 |                                                                                                     |                                                                                    |                                             |         |                                        |                                                                                                                                                     |                                                                               |                                                                 |
| Вольфрамит<br>(Mn, Fe) [WO <sub>4</sub> ]<br>при 75% MnWO <sub>4</sub> носит название гюбнерита | Плотные массы, зернистые агрегаты, крупная или мелкая вкрапленность                                 | От коричневатого до черного и смоляного с бурой чертой                             | Жирный, полуметаллический до металлического | 4,5-5   | Совершенная излом неровный             | Форма выделений, блеск, ассоциация с кварцем, кальцитом и молибденитом                                                                              | Гидротермальные в грейзенах и пегматитах, реже россыпи                        | WO <sub>3</sub> -75%<br>W-59,4 %                                |
| Шеелит<br>CaWO <sub>4</sub>                                                                     | Зернистые и сливные массы, вкрапленность                                                            | Серовато-белый с темным оттенком, коричневым и красным оттенками, серый до черного | Жирный до алмазного                         | 4,5-5   | Средняя, излом неровный до раковистого | В сплошных массах узнается по высокой плотности, блеску, твердости, вкрапленность диагностируется по сильной люминисценции в ультрафиолетовых лучах | Скарновые, гидротермальные в грейзенах                                        | WO <sub>3</sub> - 80,6%<br>W - 63,9%                            |
| <b>МОЛИБДЕН</b>                                                                                 |                                                                                                     |                                                                                    |                                             |         |                                        |                                                                                                                                                     |                                                                               |                                                                 |
| Молибденит<br>MoS <sub>2</sub>                                                                  | Листоватые, чешуйчатые и землистые агрегаты                                                         | Голубовато-свинцово-серый, черта серая с зеленоватым оттенком                      | Металлический                               | 1-1,5   | Весьма совершенная                     | Отличается от графита более светлой чертой, более сильным блеском и большей плотностью                                                              | Гидротермальные (Харбейское, Полярный Урал, Кирдинское, Зауралье)             | Mo – 60%<br>Re - 5·10 <sup>-4</sup> –<br>- 2·10 <sup>-3</sup> % |
| <b>ОЛОВО</b>                                                                                    |                                                                                                     |                                                                                    |                                             |         |                                        |                                                                                                                                                     |                                                                               |                                                                 |
| Касситерит<br>SnO <sub>2</sub>                                                                  | Плотные зернистые агрегаты, призматические кристаллы, вкрапленность кристаллов и неправильных зерен | От бесцветного до бурого, черта бледно-желто-бурая                                 | Алмазный, в изломе смоляной и жирный        | 6-7     | Несовершенная, часто раковистый        | Твердость, характер выделений, жирный блеск в изломе                                                                                                | Гидротермальные (в грейзенах, скарнах) и в россыпях (Забайкалье, Приморье РФ) | Sn – 78,8%                                                      |
| <b>МЕДЬ</b>                                                                                     |                                                                                                     |                                                                                    |                                             |         |                                        |                                                                                                                                                     |                                                                               |                                                                 |
| Халькопирит<br>CuFeS <sub>2</sub>                                                               | Сплошные массы и зерна неправильной формы                                                           | Латунно-желтый, часто с синей побежалостью                                         | Сильный металлический                       | 3-4     | Несовершенная                          | Цвет, побежалость, твердость                                                                                                                        | Магматические, гидротермальные                                                | Cu – 34,57%                                                     |
| Борнит<br>Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>                                                      | Сплошные массы, вкрапленность, прожилки                                                             | Темно-медно-красный с яркой синей и пестрой побежалостью                           | Полуметаллический                           | 3       | Нет                                    | Цвет, побежалость, низкая твердость                                                                                                                 | Гидротермальные                                                               | Cu – 63,3%                                                      |

|                                                                                            |                                                                                                 |                                                                                    |                                 |       |                                 |                                                                                      |                                                      |                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                            |                                                                                                 | лостью                                                                             |                                 |       |                                 |                                                                                      |                                                      |                                               |
| Халькозин<br>$\text{Cu}_2\text{S}$                                                         | Сплошные плотные массы, вкрапленность, налеты, корки                                            | Свинцово-серый, черта - темно-серая                                                | Металлический                   | 2-3   | Несовершенная                   | Цвет, низкая твердость, слабо ковкий (остается след от ножа)                         | Встречается в зоне вторичного сульфидного обогащения | $\text{Cu} - 79,9\%$                          |
| Ковеллин<br>$\text{CuS}$                                                                   | Тонкие примазки, порошковые и сплошные массы                                                    | Индигово-синий, черта серая до черной                                              | Металлический                   | 1,5-2 | Совершенная                     | Цвет, твердость, ассоциация с другими сульфидами $\text{Cu}$                         | То же                                                | $\text{Cu} - 65,5\%$                          |
| Азурит<br>$2\text{CuCO}_3\text{Cu}[\text{OH}]_2$                                           | Мелкие кристаллы и землистые массы                                                              | Синий, черта синяя                                                                 | Стеклянный                      | 3,5-4 | Несовершенная                   | Цвет, твердость, ассоциация с другими медистыми минералами                           | Зона окисления медных м-ний                          | $\text{Cu} - 55,3\%$                          |
| Малахит<br>$\text{CuCO}_3\text{Cu}[\text{OH}]_2$                                           | Натечные и землистые массы, налеты, корки, примазки                                             | Зеленый, черта зеленая, белая                                                      | Стеклянный матовый, шелковистый | 3,5-4 | Несовершенная, излом раковистый | Цвет, твердость, характер агрегатов (особенно почки с концентрической полосчатостью) | То же                                                | Поделочный камень<br>$\text{Cu} - 57,4\%$     |
| Хризоколла<br>$\text{Cu}_2[\text{SiO}_3]_n\text{H}_2\text{O}$                              | Корочки и землистые массы                                                                       | Голубой, голубовато-зеленый, синий                                                 | Стеклянный Восковой, матовый    | 2-4   | Нет, неровный                   | Колломорфный облик, цвет, блеск, невысокая твердость                                 | То же                                                | $\text{Cu} - 36,1\%$                          |
| <b>СВИНЕЦ</b>                                                                              |                                                                                                 |                                                                                    |                                 |       |                                 |                                                                                      |                                                      |                                               |
| Галенит<br>$\text{PbS}$                                                                    | Сплошные крупно и мелкозернистые массы, кристаллически-зернистые с кристаллами кубич., габитуса | Свинцово-серый, черта серовато-черная                                              | Сильный металлический           | 2-3   | Совершенная по кубу             | Цвет, блеск, спайность, твердость                                                    | Гидротермальные (Сев.Кавквз, Приморье, Алтай)        | $\text{Pb} - 80,6\%$                          |
| <b>ЦИНК</b>                                                                                |                                                                                                 |                                                                                    |                                 |       |                                 |                                                                                      |                                                      |                                               |
| Сфалерит и вюрцит<br>$\text{ZnS}$                                                          | Кристаллы преимущ. кубические у сфалерита и пирамид. у вюрцита, обычно зернистые массы          | Бурий, черта белая                                                                 | Алмазный                        | 3-4   | Совершенная                     | Цвет, блеск, спайность,                                                              | Гидротермальные                                      | $\text{Zn} - 67,1\%$                          |
| Каламин<br>$\text{Zn}[\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot [\text{OH}]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | Кристаллические корки с радиально-лучистым строением, сталактитовые, массивные или зернистые    | Кристаллы б/цветные но в массе серый, желтый, бурий, зеленый, голубой, черта белая | Стеклянный                      | 4,5-5 | Средняя, излом раковистый       | Форма выделений, парагенезис со сфалеритом                                           | Зона окисления сульфидных м-ний                      | $\text{ZnO} - 67,5\%$<br>$\text{Zn} - 54,2\%$ |
| <b>ЗОЛОТО</b>                                                                              |                                                                                                 |                                                                                    |                                 |       |                                 |                                                                                      |                                                      |                                               |
| Самородное золото<br>Ац                                                                    | Неправильной формы зерна, дендриты и самородки                                                  | Металлический                                                                      | Золотисто-желтый, Черта желтая  | 2,5-3 | нет                             | Форма выделений, ковкость, неокисляемость на воздухе                                 | Гидротермальные, россыпи                             |                                               |

| П Л А Т И Н А                                 |                                                                                          |                                                                                                      |                                        |       |                  |                                                                                             |                        |                                         |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|
| Платина самородная<br>Pt                      | Мелкие зерна, листочки, чешуйки, пластинки                                               | Серебряно-белый                                                                                      | Металлический                          | 4-4,5 | Нет, крючковатый | Цвет, ковкость                                                                              | Магматические, россыпи |                                         |
| Р Т У Т Ь                                     |                                                                                          |                                                                                                      |                                        |       |                  |                                                                                             |                        |                                         |
| Киноварь<br>HgS                               | Вкрапленные, неправильные по форме зерна и порошковатые примазки и налеты                | Красный, черта красная                                                                               | Сильный полуметаллический              | 2-2,5 | Совершенная      | Цвет, твердость                                                                             | Гидротермальные        | Hg -86,2%                               |
| С У Р Ь М А                                   |                                                                                          |                                                                                                      |                                        |       |                  |                                                                                             |                        |                                         |
| Антимонит<br>Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   | Сплошные зернистые, рад. – лучистые или спутанно-волокнистые агрегаты и вкрапления зерен | Свинцово-серый                                                                                       | Металлический                          | 2     | Несовершенная    | Спайность вдоль вытянутости шестоватых агрегатов и поперечная штриховка на плоскостях скола | Гидротермальные        | Sb – 71,4%                              |
| М Ы Ш Ь Я К                                   |                                                                                          |                                                                                                      |                                        |       |                  |                                                                                             |                        |                                         |
| Реальгар<br>AsS                               | Призмат. кристаллы, сплошные зернистые агрегаты, налеты, корки и землистые рыхлые массы  | Оранжево-красный, черта светло-оранжевая                                                             | Алмазный, в изломе смоляной или жирный | 1,5-2 | Средняя          | Цвет, твердость, парагенезис с аурипигментом                                                | Гидротермальные        | As -72,8%                               |
| Аурипигмент<br>As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | Призмат. кристаллы и шестоватые массы с радиал. - лучистым строением                     | Лимонно-и золотисто-желтый                                                                           | Алмазный и полуметаллический           | 1-2   | Несовершенная    | Цвет, твердость, блеск                                                                      | То же                  | As -61,0%                               |
| А Л Ю М И Н И Й                               |                                                                                          |                                                                                                      |                                        |       |                  |                                                                                             |                        |                                         |
| Бёмит<br>AlO (OH)                             | Скрытокристал. массы и коллоидные образования                                            | Бесцветный или белый с желт. оттенком, но обычно окрашен гидроокислами в бурый цв., черта бесцветная | Матовый                                | 3,5   | Несовершенная    | По ассоциации с др. минералами бокситов. Важный компонент бокситов                          | Экзогенные             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 84,97% |
| Диаспор<br>HAlO <sub>2</sub>                  | Листоватые и тонкочешуйчатые                                                             | Желтовато-бурый, се-                                                                                 | Стекланный                             | 6,5-7 | Несовершенная,   | Листоватые агрегаты и высокая                                                               | Экзогенные             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 84,9%  |



|                                                                                                        |                                                               |                                                                                 |                            |       |                                                   |                                                           |                                                       |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                        | тые агрегаты                                                  | рый, зеленый, бурый                                                             |                            |       | раковистый                                        | твердость                                                 |                                                       |                                                                     |
| Гидраргиллит<br>$\text{Al}(\text{OH})_3$                                                               | Тонкозернистые, землистые и волокнистые массы                 | Бесцветный, белый, окрашен гидроокислами в бурый цвет                           | То же                      | 3,5-5 | Весьма совершенная                                | Весьма совершенная спайность, блеск                       | Выветривания                                          | $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 65,4%                                     |
| Нефелин<br>$\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$                                                                 | Вкрапленные зерна и сплошные крупнозерн. агрегаты             | Мутновато-серый, белый, реже желтоватый, красноватый, коричневатый, черта белая | Стекланный в изломе жирный | 5,5-6 | Несовершенная, Раковистый, неровный               | Жирный блеск, встречается в щелочных бескварцевых породах | Магматический (Хибины)                                | $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 31,7%                                     |
| <b>РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ</b>                                                                                  |                                                               |                                                                                 |                            |       |                                                   |                                                           |                                                       |                                                                     |
| <b>Л И Т И И</b>                                                                                       |                                                               |                                                                                 |                            |       |                                                   |                                                           |                                                       |                                                                     |
| Сподумен<br>$\text{Li}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$                                                       | Призмат. реже игольчатые и таблитчатой формы кристаллы        | Белый, розовый, фиолетовый светло-серый, зеленый, черта белая                   | Стекланный в изломе жирный | 6,5-7 | Несовершенная                                     | Цвет кристаллов, форма выделений                          | В пегматитах                                          | $\text{Li}_2\text{O}$ -5,9-7,62%                                    |
| Лепидолит<br>$\text{K}(\text{Al,Li})_2[(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}](\text{F, OH})_2$                  | Чешуйчатые агрегаты                                           | Сиреневый, розовый, розовато-фиолетовый, красновато-серый, белый                | Перламутровый              | 2,5-4 | Весьма совершенная                                | Цвет, характер агрегатов                                  | В гранитных пегматитах, реже грейзенах и кварц. жилах | $\text{Li}_2\text{O}$ -3,2-5,7%                                     |
| <b>БЕРИЛЛИИ</b>                                                                                        |                                                               |                                                                                 |                            |       |                                                   |                                                           |                                                       |                                                                     |
| Берилл<br>$\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$                                           | Столбчатые и призмат. кристаллы и их сростки                  | Светло-зеленый, желтовато-зеленый, иногда розовый, белый, бесцветный            | Стекланный                 | 7,5-8 | Средняя                                           | Цвет, форма кристаллов                                    | Гидротермальные                                       | $\text{BeO}$ -10,5-14,3%                                            |
| <b>ЦИРКОНИИ</b>                                                                                        |                                                               |                                                                                 |                            |       |                                                   |                                                           |                                                       |                                                                     |
| Циркон<br>$\text{Zr}[\text{SiO}_4]$                                                                    | Короткостолбчатые кристаллы                                   | Желтый, оранжевый, бурый                                                        | Алмазный                   | 7-8   | Несовершенная, излом неровный                     | форма выделений                                           | Магматические, в пегматитах, россыпи                  | $\text{ZrO}_2$ - 61,7%                                              |
| <b>ТАНТАЛ И НИОБИИ</b>                                                                                 |                                                               |                                                                                 |                            |       |                                                   |                                                           |                                                       |                                                                     |
| Колумбит<br>$(\text{FeMn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ ,<br>Танталит<br>$(\text{FeMn})\text{Ta}_2\text{O}_6$ | Пластинчатые и таблитчатые иногда короткостолбчатые кристаллы | Черный или буровато-черный, черта красная, красновато-бурная                    | Полуметаллический          | 6-6,5 | Несовершенная, излом неровный, до полураковистого | Цвет, цвет черты, облик кристаллов                        | В пегматитах и россыпях                               | $\text{Nb}_2\text{O}_6$ -0,2-78%<br>$\text{Ta}_2\text{O}_6$ - 0,86% |
| Пироклор                                                                                               | Октаэдрические                                                | Красновато-                                                                     | Жирный                     | 5,5   | Нет,                                              | Цвет, блеск, слабая                                       | Магматические,                                        | $\text{Nb}_2\text{O}_5$ - 52-71%                                    |

|                                                                                                                                              |                                                                                         |                                                                              |                             |         |                              |                                                                                                   |                                                                     |                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (NaCa) <sub>2</sub><br>(Nb, Ti,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>                                                                               | кристаллы, их<br>сростки, вкрап-<br>ленность в поро-<br>дах                             | бурый до<br>темно-<br>вишневого,<br>часто светло-<br>бурая                   | или стек-<br>лянный         |         | раковистый                   | магнитность                                                                                       | гидротермальные                                                     | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 0,2 -5,5%                                                     |
| <b>РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ</b>                                                                                                                |                                                                                         |                                                                              |                             |         |                              |                                                                                                   |                                                                     |                                                                                                |
| Монацит<br>(Ce,La,Nb,Th)<br>[PO <sub>4</sub> ]                                                                                               | Вкрапленность<br>единичных зерен                                                        | От желтого<br>до темно-<br>коричневого                                       | Жирный до<br>алмазного      | 5 – 5,5 | Средняя, излом<br>раковистый | Цвет, блеск, форма<br>выделений                                                                   | Магматические<br>россыпи                                            |                                                                                                |
| Лопарит<br>(Ce, Na,Ca)<br>(Ti,Nb)O <sub>3</sub>                                                                                              | Кристаллы ку-<br>бической и окта-<br>эдрической фор-<br>мы, неправиль-<br>ные выделения | Черный, чер-<br>та коричнева-<br>то-бурая                                    | Полуметал-<br>лический      | 5,5-6   | Несовершен-<br>ный, неровный | Спайность,<br>формы выделений                                                                     | Магматические                                                       | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -7,09-20,2%<br><br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 0,46- 0,75% |
| <b>НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ</b>                                                                                                   |                                                                                         |                                                                              |                             |         |                              |                                                                                                   |                                                                     |                                                                                                |
| Графит<br>C                                                                                                                                  | Тонкочешуйчатые<br>реже шестоватые<br>тонковолокнистые<br>массы                         | Черный, серовато-<br>черный, черта<br>черная блестящая                       | Полуметал-<br>лический      | 1       | Весьма совер-<br>шенная      | Жирный на ощупь,<br>мажет бумагу и<br>пальцы                                                      | Магматические<br>и метаморфогенные                                  | C-90%                                                                                          |
| Мусковит<br>KA <sub>2</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]<br>[OH] <sub>2</sub>                                                        | Листоватые и че-<br>шуйчатые массы                                                      | Бесцветный с раз-<br>личными оттенка-<br>ми                                  | Стеклянный<br>перламутровый | 2-3     | То же                        | Отличается от био-<br>тита более светлой<br>окраской                                              | То же                                                               | Электроизолятор                                                                                |
| Флогопит<br>KMg <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]<br>[F ,OH] <sub>2</sub>                                                    | Листовато-<br>плитчатые, че-<br>шуйчатые агрега-<br>ты                                  | Светлый, желто-<br>вато-бурый,<br>в толстых пла-<br>стинах темно-<br>бурый   | Стеклянный                  | 2,5     | То же                        | От мусковита отли-<br>чается только опти-<br>ческими свойствами                                   | Гидротермальные<br>(грейзены, пегмати-<br>ты), метаморфоген-<br>ные | То же                                                                                          |
| Вермикулит<br>(Mg, Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> )<br>[(Si Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]<br>[OH] <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O | Чешуйчатые агре-<br>гаты, плотные<br>массы                                              | Белый, желтова-<br>тый, коричнева-<br>тый                                    | Стеклянный<br>перламутровый | 1,5     | То же                        | При прокаливании<br>увеличивает объем<br>(до 25 раз) с образо-<br>ванием червеобраз-<br>ных нитей | Выветривания                                                        | Тепло- и звукоизо-<br>лятор, для очистки<br>хим. продуктов                                     |
| Хризотил -<br>асбест<br>(Mg <sub>6</sub> [(OH) <sub>8</sub> /Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]                                               | Спутанно-<br>волокнистые и<br>волокнистые агре-<br>гаты                                 | Золотисто-<br>желтый, серо-<br>голубой, синева-<br>тый или голубова-<br>тый  | Шелковистый                 | 3-4     | То же                        | Характер агрегатов,<br>твердость, волокна<br>гибкие                                               | Гидротермальные<br>(Баженовское, Урал;<br>Акдовурак, Тува)          | Кислотно- и щелоч-<br>но-упорные, жаро-<br>стойкие материалы                                   |
| Антофиллит – ас-<br>бест<br>(Mg, Fe) <sub>7</sub><br>[OH / Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sub>2</sub>                                    | Волокнистые аг-<br>регаты                                                               | Белый, серый, зе-<br>леноватый                                               | Шелковистый                 | 5-6     | Весьма совер-<br>шенная      | Волокна гибкие, но<br>не упругие, ассоци-<br>ация с тальком и<br>серпентинами                     | Гидротермальные                                                     |                                                                                                |
| Тальк<br>Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ][OH] <sub>2</sub>                                                                 | Листоватые, че-<br>шуйчатые агрега-<br>ты, иногда плот-<br>ные массы                    | Бледно-зеленый<br>до белого, реже<br>желтоватый, буро-<br>ватый, черта белая | Жирный стек-<br>лянный      | 1       | То же                        | Жирный на ощупь,<br>листочки гибки, но<br>не упруги                                               | Гидротермальные                                                     | Наполнитель, аб-<br>сорбент и пр.                                                              |
| Магнезит<br>MgCO <sub>3</sub>                                                                                                                | От крупно- до<br>скрыто-<br>кристаллических<br>агрегатов                                | Сероватый до чи-<br>сто белого, реже<br>бесцветный                           | Стеклянный                  | 4-4,5   | Совершенная                  | Облик агрегатов ,<br>вскипает с HCl при<br>нагревании                                             | Осадочные мета-<br>морфизованные<br>(Саткинское, Се-<br>мибратское, | MgO – 47,6%<br>Производство огне-<br>упоров                                                    |

|                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                                                             |                                 |       |                               |                                                                          |                                                                                          |                                                         |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                                                             |                                 |       |                               |                                                                          | Юж.Урал), выветривания (Халиловское в Оренбург.обл.)                                     |                                                         |
| Кварц<br>$\text{SiO}_2$                                      | Призматич. кристаллы, зернистые агрегаты, реже скрыто-кристал. массы                                        | Бесцветный, белый, окрашен, разновидности: 1) черный- морион 2)дымчатый раухтопаз 3)желтый-цетрин 4)фиолет-аметист 5)водянисто- прозрачный- горный хрусталь | Стекланный                      | 7     | Нет, раковистый               | Форма кристаллов, в агрегатах-по твердости, излому, отсутствию спайности | Гидротермальные (Урал, Памир), метаморфогенные (Урал), экзогенные (россыпи, кварц.пески) | Пьезоэлектрики, оптические приборы, кварц. стекло и пр. |
| Флюорит<br>$\text{CaF}_2$                                    | Кристаллы куб. формы, вкрапленность, зернистые и землистые массы                                            | Желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, редко бесцветный                                                                                                      | Стекланный                      | 4     | Совершенная                   | Твердость, цвет, термоллюминисценция                                     | Гидротермальные экзогенные                                                               | Оптика, металлургия                                     |
| Барит<br>$\text{BaSO}_4$                                     | Уплотненные кристаллы, плотные, различной степени зернистости агрегаты, вкрапленность, реже землистые массы | Белый, желтоватый, серый, розовый, черта белая                                                                                                              | От стекланный до перламутрового | 3-3,5 | Средняя                       | Высокая плотность (4,3-4,7) и спайность                                  | Гидротермальные, выветривания                                                            | Рентгенокопия, утяжелитель глинистых растворов          |
| Апатит<br>$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 (\text{F}, \text{Cl})$ | Призматические кристаллы, средне- и тонкозернистые сахаровидные массы                                       | Белый, голубой, сине-зеленый, серый                                                                                                                         | Стекланный                      | 5     | Несовершенная, излом неровный | Облик кристаллов, цвет, блеск, твердость                                 | Магматические, экзогенные                                                                | Удобрение                                               |
| Сера<br>$\text{S}$                                           | Зернистые и землистые агрегаты, массы и кристаллы пирамид. формы                                            | Желтый, различных оттенков                                                                                                                                  | Алмазный, жирный                | 2-1   | Несовершенная                 | Цвет, твердость, хрупкость, блеск, легкоплавкость (от огня спички)       | Гидротермальные                                                                          | S – 95-100%                                             |
| Галит<br>$\text{NaCl}$                                       | Кристаллы, кристаллические зерна, агрегаты                                                                  | Бесцветный, белый, буровато-розовый, серый                                                                                                                  | Стекланный                      | 2     | Совершенная                   | Твердость и соленый вкус                                                 | Осадочные                                                                                | Химическая и пищевая промышленность                     |
| Сильвин<br>$\text{KCl}$                                      | Зернистые массы                                                                                             | Молочный, реже бесцветный, белый и серый, красноватый                                                                                                       | Стекланный                      | 1,5-2 | Совершенная                   | Горько-соленый вкус, твердость                                           | Осадочные, рапа соленых озер                                                             | Удобрения и различные хим.продукты                      |
| Гипс<br>$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$            | Кристаллы, волокнистые и рыхлые массы                                                                       | Белый, бесцветный, серый                                                                                                                                    | Стекланный                      | 2     | Средняя                       | Твердость, спайность                                                     | Осадочные                                                                                | Строительная и металлургическая промышленность          |

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Раздел 1

1. *Вертушков Г.Н., Авдонин В.Н.* Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1992. 489с.
2. *Годовиков А.А.* Минералогия. М.: Недра, 1975. 520с.
3. Общая геология: учебник. Том 1,2/Под ред. *А.К. Соколовского*. М.: КДУ, 2006. 448с.
4. Пособие к лабораторным работам по общей геологии: учебное пособие для вузов/ *В.Н. Павлинов, А.Е. Михайлов, Д.С. Кизевальтер* и др. М.: Недра, 1983, 160с.
5. *Поленов Ю.А.* Основы геологии: учебник. 4-е изд. испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 338с.
6. *Поленов Ю.А., Огородников В.Н.* Минералы. Часть 1; методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу «Геология». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 25с.

### Раздел 2

7. *Петрографический кодекс*. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. 3-е. С-Пб: ВСЕГЕИ, 2009. 200с.
8. *Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б.* Основы геологии М: Недра, 1986
9. *Рыка В, Малишевская А.* Петрографический словарь. М: Недра, 1989. 590с.

### Раздел 3

10. *Михайлов А.Е.* Структурная геология и геологическое картирование. М.: Недра, 1973. 432с.

### Раздел 4

11. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: Учеб. для вузов/ Под ред. *В.В. Ершова*. М.: Недра, 1989. 399с.
12. *Рудницкий В.Ф.* Основы учения о полезных ископаемых: учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015, 245с.
13. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых: учебник. М.: Недра, 1989. 326с.
14. *Авдонин В.В., Старостин В.И.* Геология полезных ископаемых: учебник для вузов. М.: Издат. центр «Академия». 2010. 374с.
15. *Макаров А.Б., Григорьев В.В.* Исследование состава и структурно-текстурных особенностей руд: Метод. указ. к лабораторным занятиям по дисциплине «Геология». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 1996. 40с.
16. *Старостин В.И., Игнатов П.А.* Геология полезных ископаемых: учебник для высшей школы. М.: Академический проект, 2004. 512с.

17. Текстуры и структуры руд/ *Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н.* М: ИГЕМ, 1958. 435с.
18. *Исаенко М.П.* Определитель текстур и структур руд. Изд. 3-е, перераб. И доп. М: Недра, 1983. 260с.

---

МИОБРНАУКИ РФ

Уральская государственная горно-геологическая академия

Л. П. Парфенова, И. А. Антонова

## **ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

*Учебно-методическое пособие по лабораторным занятиям  
по дисциплине «Общая гидрогеология» для студентов  
специальности 21.05.02 «Прикладная геология»  
специализации «Поиски и разведка подземных вод  
и инженерно-геологические изыскания (ГИГ)»*

Екатеринбург

2017

## Содержание

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение</b>                                                                                          | <b>3</b>  |
| <b>1. Основы гидрогеологической стратификации</b>                                                        | <b>4</b>  |
| <b>2. Изучение режима подземных вод</b>                                                                  | <b>11</b> |
| <b>3. Водные свойства горных пород</b>                                                                   | <b>14</b> |
| <b>3.1. Определение влагоемкости, капиллярных свойств и водоотдачи<br/>песчаных пород</b>                | <b>14</b> |
| 3.1.1. Определение максимальной молекулярной и капиллярной<br>влагоемкости песков методом высоких колонн | 16        |
| 3.1.2. Определение полной влагоемкости песков                                                            | 18        |
| 3.1.3. Определение капиллярных свойств пород                                                             | 18        |
| <b>3.2. Определение коэффициента фильтрации глинистых и песчаных<br/>горных пород</b>                    | <b>19</b> |
| 3.2.1. Водопроницаемость горных пород                                                                    | 19        |
| 3.2.2. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов                                              | 21        |
| 3.2.3. Определение коэффициента фильтрации глинистых пород                                               | 24        |
| <b>4. Химический состав подземных вод</b>                                                                | <b>28</b> |
| 4.1. Обработка результатов химического анализа подземных вод                                             | 29        |
| 4.2. Графическое изображение результатов химических анализов                                             | 32        |
| 4.3. Оценка качества питьевых вод                                                                        | 37        |
| 4.4. Определение агрессивности природных вод                                                             | 41        |
| 4.5. Обобщенные показатели качества подземных вод                                                        | 46        |
| 4.5.1. Цветность                                                                                         | 46        |
| 4.5.2. Прозрачность                                                                                      | 47        |
| 4.5.3. Плотность                                                                                         | 48        |
| 4.5.4. Водородный показатель                                                                             | 50        |
| 4.5.5. Окислительно-восстановительный потенциал                                                          | 54        |
| <b>5. Построение и анализ карт гидроизогипс</b>                                                          | <b>59</b> |
| <b>6. Построение и анализ карт гидроизопьез</b>                                                          | <b>65</b> |
| <b>7. Построение и анализ гидрогеологических разрезов</b>                                                | <b>68</b> |
| <b>Список литературы</b>                                                                                 | <b>77</b> |



## **Введение**

В курсе «Общая гидрогеология» (СД.04), в соответствии с Госстандартом (650100 «Прикладная геология» для специальности 21.05.02 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания») предусмотрено 150 часов учебной нагрузки, из них 34 часа практических и лабораторных работ. Для методического обеспечения этой части курса составлено данное Методическое руководство. В его состав включено 7 тем.

В теме №1 изложены основы гидрогеологической стратификации с учетом требований к построению гидрогеологических карт и разрезов.

Тема №2 посвящена характеристике режима подземных вод и режимообразующих факторов, а также варианты использования данных режимных наблюдений для решения практических задач.

Тема №3 включает в себя описание лабораторных методов определения основных водных свойств горных пород: полная, максимальная молекулярная и капиллярная влагоемкости, максимальная высота капиллярного поднятия, гравитационная водоотдача, коэффициент фильтрации.

Тема №4 посвящена обработке результатов химического состава подземных вод различными способами и дальнейшей оценке пригодности вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения и строительства.

Темы № 5, 6, 7 ставят своей задачей объяснить студентам основные приемы построения специальных гидрогеологических карт – гидроизогипс и гидроизопьез, а также гидрогеологических разрезов к ним. Для анализа построенных карт предложен перечень вопросов, отвечая на которые студенты могут закрепить полученные практические навыки и сопоставить их с теоретическими знаниями, полученными на лекциях.

## 1. Основы гидрогеологической стратификации

Гидрогеологическая стратификация – это расчленение геологического разреза на элементы, существенно отличающиеся в гидрогеологическом отношении.

По Г. Н. Каменскому «гидрогеологический элемент – это некоторый объем геологической среды, выделенный на основе гидрогеологических признаков и не подвергающийся дальнейшему членению».

Главный принцип гидрогеологической стратификации основан на учете стратиграфических и гидрогеологических признаков системы «вода-порода». При этом основное расчленение геологического разреза выполняется с учетом геолого-структурных особенностей территории, а литолого-фациальный анализ рассматривается как база для определения исходных гидрогеологических свойств. По этим признакам в разрезе выделяют водонасыщенные и неводонасыщенные, водопроницаемые и водонепроницаемые слои и пласты и пр.

**Гидрогеологический слой (тело)** – это разновозрастные породы, характеризующиеся выдержанностью по мощности и распространению, и обладающие относительно одинаковыми фильтрационными и емкостными свойствами. Выделяют следующие типы слоев: водоносный, водоупорный, относительно водоупорный, неводонасыщенный проницаемый, слабопроницаемый, непроницаемый.

**Водоносный горизонт (зона)** – проницаемое гидрогеологическое тело, постоянно содержащее подземные воды и отличающееся преимущественно однородным составом пород, характером питания, транзита и разгрузки подземных вод. Водоносная зона отличается от водоносного горизонта пространственной локализацией повышенной трещиноватости (тектонической или экзогенной) и проницаемости пород.

**Относительно водоносный горизонт (зона)** – слабопроницаемое гидрогеологическое тело, содержащее подземные воды.

**Относительно водоупорный горизонт (зона)** – весьма слабопроницаемое гидрогеологическое тело, содержащее подземные воды преимущественно в связанном виде и характеризующееся замедленной, вертикальной фильтрацией при возникновении градиента напора между смежными водоносными подразделениями.

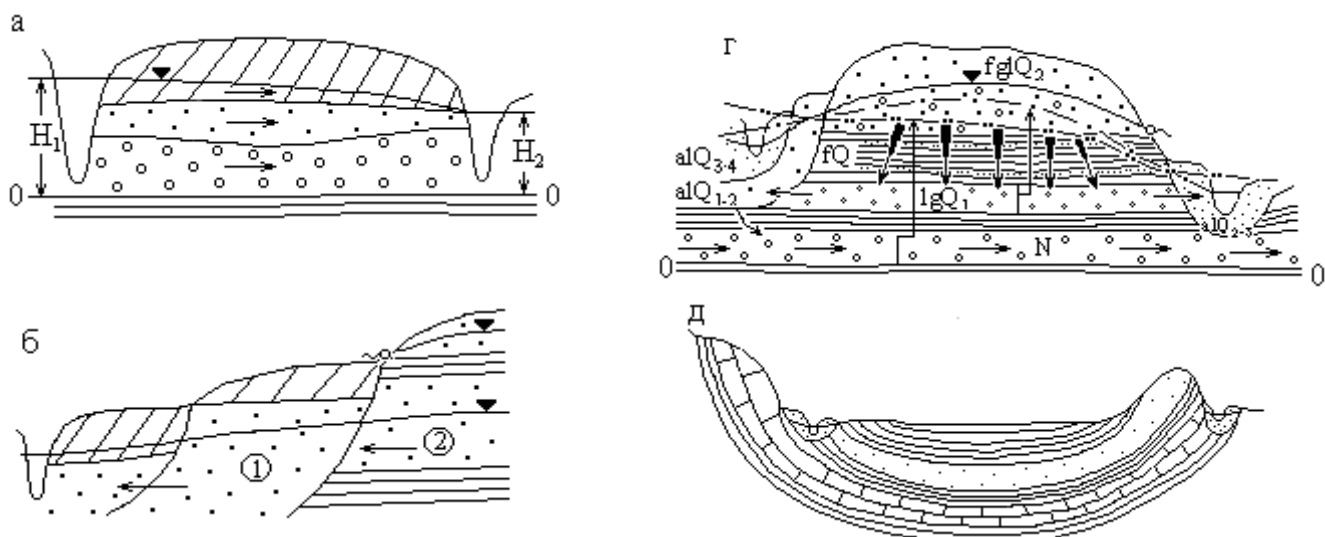
**Водоупорный горизонт (зона)** – практически водонепроницаемое гидрогеологическое тело.

**Водоносный (относительно водоносный) комплекс** – гидрогеологическое тело, состоящее из нескольких гидравлически взаимосвязанных водоносных (относительно водоносных) горизонтов или зон и разделяющих их локально или относительно водоупорных горизонтов (зон).

**Водоносный этаж** - система водоносных горизонтов (зон) и комплексов, характеризующаяся общими условиями водообмена и формирования подземных вод. Водоносный этаж подстилается входящим в его состав региональным водоупорным горизонтом, повсеместно развитым в границах гидрогеологической структуры.

**Гидрогеологический бассейн** – совокупность нескольких водоносных, водоупорных и относительно водоупорных горизонтов и (или) комплексов, характеризующихся в целом, общностью геологического развития и формирования гидродинамических, гидрохимических и гидрогеотермических процессов.

**Гидрогеологическая система** – совокупность нескольких гидрогеологических бассейнов, характеризующихся в целом общностью формирования ресурсов подземных вод.



Типы исходных элементов гидрогеологической стратификации (ИЭГГС) с геологической средой, представленной осадочными породами: а) водоносный горизонт неоднородного строения с грунтовыми водами; б) водоносные горизонты ①, ② с межпластовыми грунтовыми водами; в) водоносный комплекс с грунтовыми ① и напорными ② водами в четвертичных отложениях; г) междуречный бассейн с межпластовыми напорными водами в неогеновых, четвертичных отложениях и грунтовыми водами в аллювиальных и флювиогляциальных отложениях; д) артезианский бассейн с напорными водами.

Рис. 1.1. Элементы гидрогеологической стратификации

### Выделение гидрогеологических элементов по условиям залегания.

Факторы, определяющие условия залегания подземных вод:

- Геологические (структурно-тектонические, литолого-фациальные и генетические типы отложений);
- Геоморфологические (тип, форма рельефа, характер и степень его эрозионной расчлененности, влияющие на условия питания и разгрузки подземных вод);
- Физико-географические или ландшафтные (определяют характер связи подземных вод с атмосферой, реками и т. п., величину питания и режим подземных вод, их запасы и ресурсы, качество).

По условиям залегания выделяют два вида подземных вод: грунтовые (безнапорные ①) и артезианские (напорные ②), рис. 1.2.

По степени и характеру водонасыщенности выделены в разрезе 3 зоны: А – неполного (аэрации); Б – полного насыщения капельножидкой водой пор и трещин водовмещающих пород; и В – диссипации (где вода может находиться в диссоциированном состоянии). Для каждой зоны характерны преобладающие виды подземных вод по условиям нахождения и движения в горных породах. В зоне А – инфильтрационная и физически связанная вода, основная форма ее движения – инфильтрация (или влагоперенос). В зоне Б – свободная гравитационная вода, основная форма движения – фильтрация (или миграция подземных вод); в зоне В – физически- и химически связанная вода.

В таблице 1.1 приведена систематизация основных факторов, при анализе которых выделяются гидрогеологические системы по условиям залегания, а в таблице 1.2 приведены основные виды гидрогеологических систем с грунтовыми и напорными водами.

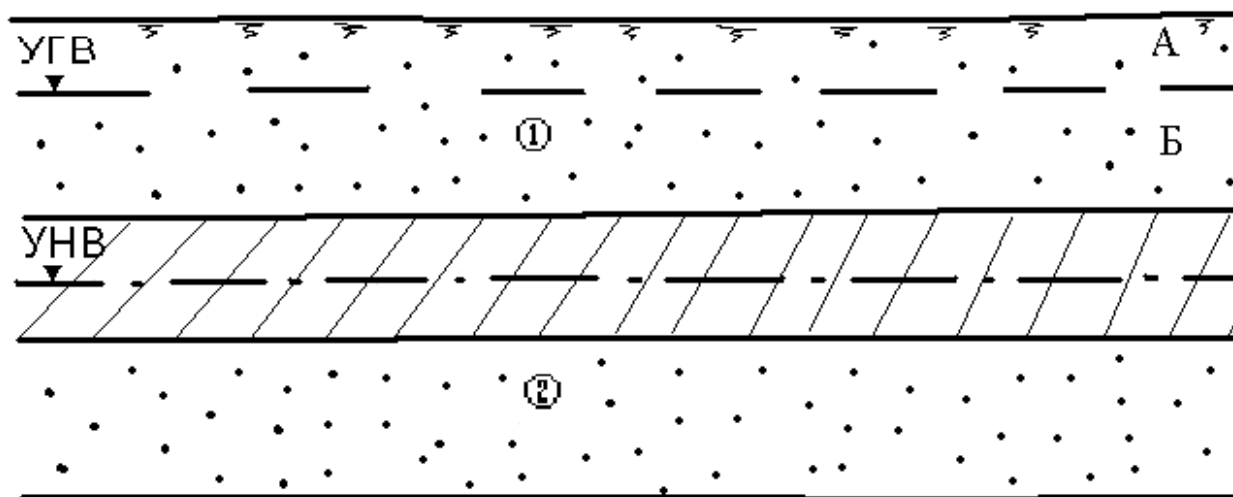


Рис. 1.2. Виды подземных вод по условиям залегания

**Таблица 1.1**

**Факторы, определяющие выделение гидрогеологических систем в гидролитосфере по условиям залегания**

| Зона       | Вид подземный воды                                     | Признак                  |                                                                                                        |                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                      |
|------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |                                                        | гидрогеологический       | структурный                                                                                            | морфологический                                                                        | литолого-генетический                                                                                                                                  | гидротермодинамический                                                                                               |
| Аэрации    | Инфильтрационная, физически связанная                  | Локальные зоны, потоки   | -                                                                                                      | -                                                                                      | -                                                                                                                                                      | Влагоперенос                                                                                                         |
| Насыщения  | Грунтовая (гравитационная)                             | Бассейны, потоки         | Платформы, геосинклинали<br>Впадины, прогибы, щиты, синклинали, антиклинали, разрывные структуры и др. | Речные долины, междуречья, конусы выноса, предгорные равнины, мелкосопочник, озы, камы | Осадочные породы, метаморфические и изверженные породы<br>Недислоцированные, дислоцированные<br>Терригенные, карбонатные<br>Аллювий, пролювий, делювия | Фильтрация<br>Миграция<br>а) конвекция,<br>б) гидродисперсия,<br>в) диффузия,<br>г) сорбция,<br>д) растворение и др. |
|            | Напорная (гравитационная)                              | Бассейны, склоны, потоки | Платформы, геосинклинали<br>Впадины, прогибы, щиты, синклинали, антиклинали, разрывные структуры и др. | Виды складчатых структур<br>Виды разрывных нарушений                                   | Осадочные породы, метаморфические и изверженные породы<br>Недислоцированные, дислоцированные<br>Терригенные, карбонатные<br>Аллювий, пролювий, делювия | Фильтрация<br>Миграция<br>а) конвекция,<br>б) гидродисперсия,<br>в) диффузия,<br>г) сорбция,<br>д) растворение и др. |
|            | Глубинная (физически и химически связанная, свободная) | Потоки                   | Крупные разломы<br>линеamentы и др.                                                                    | -                                                                                      | Осадочные породы, метаморфические и изверженные породы                                                                                                 | Миграция                                                                                                             |
| Диссипации | мономолекулярная                                       | - » -                    | Системы глобальных разломов                                                                            | -                                                                                      | -                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |

Таблица 1.2

## Систематизация гидрогеологических систем по условиям залегания

| Зоны гидролитосферы | Виды подземных вод                             | Виды гидрогеологических систем по условиям залегания                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                         |                                                                                      |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                       |
|---------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Неполного насыщения | Инфильтрационная, капиллярная и гравитационная | Инфильтрующаяся вода (локальные потоки)<br>Зона с капиллярно-подвешенной водой<br>Верховодка (локальный бассейн)           |                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                         |                                                                                      |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                       |
| Полного насыщения   | Грунтовые (гравитационные)                     | А. Грунтовые потоки и бассейны вне криолитозоны и молодой вулканической деятельности                                       |                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                         |                                                                                      |                                                                                                                         | Б. Грунтовые бассейны и потоки криолитозоны                                                                                                                    | В. грунтовые бассейны и потоки зон молодой вулканической деятельности                                                                 |
|                     |                                                | I. Потоки речных долин:<br>1) потоки в аллювии равнинных рек;<br>2) подрусловые потоки;<br>3) потоки в погребенных долинах | II. Бассейны и потоки междуречных пространств:<br>1) в осадочных отложениях, недислоцированных;<br>2) то же, дислоцированных;<br>3) в изверженных и метаморфических породах;<br>4) то же, с зонами разломов;<br>5) в вулканических лавах. | III. Потоки конусов выноса, предгорных равнин:<br>1) поток грунтовых вод головной части конуса выноса;<br>2) поток грунтово-напорных вод слоистых толщ. | IV. Бассейны синклинальных структур:<br>1) горных сооружений;<br>2) мелко-сопочника. | V. Бассейны и потоки с линзами пресных вод:<br>1) под-песчаными;<br>2) под-такырными;<br>3) при-канальными, приречными. | С наличием зон высокотемпературных полей, гейзеров, фумарол и др. в отложениях речных долин, междуречных пространств синклинальных структур, горных сооружений | С наличием зон многолетних мерзлых пород в отложениях речных долин, междуречных пространств, синклинальных структур горных сооружений |

Продолжение таблицы 1.2.

| Зоны гидролитосферы | Виды подземных вод                                          | Виды гидрогеологических систем по условиям залегания                                                                                                                                          |                                                                                                |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |  |  |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|                     | Напорные (гравитационные)                                   | I. Артезианские бассейны:<br>1) платформ;<br>2) межгорных впадин, краевых прогибов;<br>3) наложенные бассейны;<br>4) бассейны горных сооружений в осадочных отложениях, лагунах, вулканогенах | II. Артезианские склоны:<br>1) моноклиналей;<br>2) асимметричных структур;<br>3) выклинивания. | III. Субартезианские бассейны:<br>1) в осадочных отложениях на щитах;<br>2) в осадочных породах на платформах;<br>3) в дислоцированных породах горных сооружений. | IV. Бассейны междуречных пространств с межпластовыми напорными водами:<br>1) в четвертичных ледниковых отложениях;<br>2) в горизонтально залегающих четвертичных и более древнего возраста осадочных отложениях. | V. Потоки напорных вод крупных разломов:<br>1) вне криолитозоны и молодой вулканической деятельности;<br>2) в криолитозоне;<br>3) в зоне молодой вулканической деятельности. |  |  |
| Диссипации          | Глубинные (химически и физически связанные, гравитационные) | Сосредоточенные потоки напорных вод систем глобальных нарушений                                                                                                                               |                                                                                                |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |  |  |



## 2. Изучение режима подземных вод

Режим подземных вод – процесс изменения во времени основных показателей подземных вод под влиянием различных факторов в данной естественноисторической обстановке.

Основными характеристиками режима называют числовые значения, характеризующие главные морфологические особенности хронологических графиков изменения показателей режима. Хронологическими называют графики изменения уровня, расхода, минерализации, температуры подземных вод во времени. К основным характерным параметрам режима относят (рис. 2.1): амплитуде  $A$  и период  $T$  колебаний, экстремальные точки (минимумы, максимумы), средние, минимальные, максимальные и другие значения уровня, расхода, минерализации и т. п. С помощью этих характеристик можно более компактно в числовом виде представить хронологические графики показателей режима и тем самым уменьшить объем исходной информации.

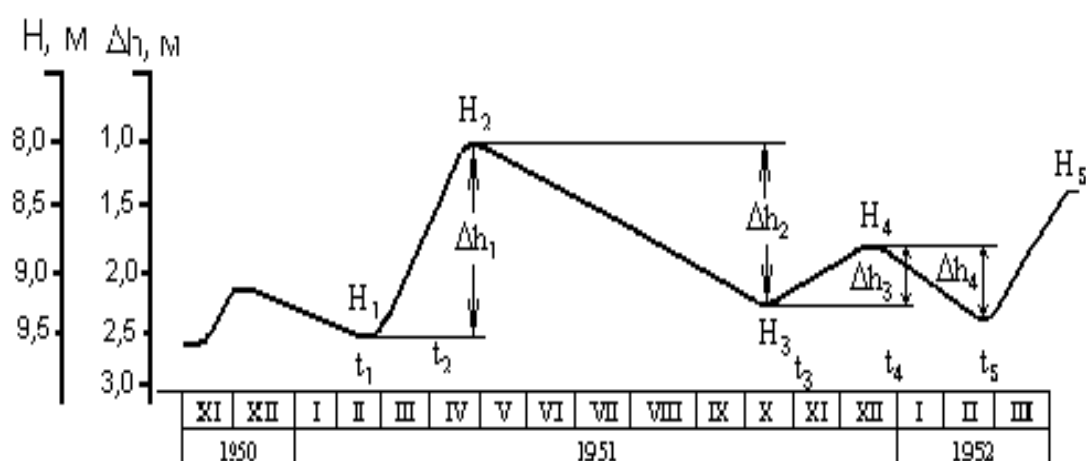


Рис. 2.1. Основные показатели сезонного изменения уровня подземных вод (по М. А. Шинкаревскому)

Определяют минимальные и максимальные значения суточных, декадных, месячных, весенних, летних, зимних, годовых, многолетних амплитуд, подъемов, спадов (для уровней), температур, минерализации воды и других показателей режима. За эти интервалы времени вычисляют средние значения показателей:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n},$$

где  $P_i$  – значение показателя;  $n$  – число имеющихся показателей за рассматриваемый интервал времени.

К экстремальным точкам графиков относят максимум и минимум уровня, температуры, минерализации и соответственно дату его наступления (см. рис. 2.1). Амплитуды характеризуют разность между максимальным  $P_{\max}$  и минимальным  $P_{\min}$  значениям каждого из этих показателей за выделенный период времени

$$A = P_{\max} - P_{\min}$$

При нарушенном режиме вычисляют характерные показатели от действия техногенных факторов, например, амплитуду многолетнего подъема уровня воды под влиянием орошения или амплитуду снижения уровня воды под влиянием откачки и т. п.

Период колебаний  $T$  характеризует интервал времени между двумя значениями какого-либо показателя режима

$$T = t_2 - t_1$$

Чаще всего это интервал между временем наступления максимального и минимального значений показателя.

Задача. В предгорной части долины реки в толще аллювиальных песчано-глинистых отложений оборудованы створ наблюдательных скважин и гидрометрический пост на реке (рис.2.2). Провести первичную обработку

наблюдений, пользуясь фактическими данными (таблица 2.1). Для этого выполнить следующее:

- 1) построить хронологические графики колебаний уровня воды в реке и скважинах; предварительно вычислить отметки уровня воды, зная, что отметки устьев скважины равны: скв.1 – 211,7 м, скв.2 – 211,65 м, скв.3. – 211,63 м, отметка “0” на гидропосте равна 209,5 м;
- 2) по графикам определить основные параметры режима подземных вод;
- 3) установить наличие и характер связи с рекой, для этого нанести на геологический разрез (рис. 2.2) положение уровня грунтовых вод на минимальные и максимальные даты.

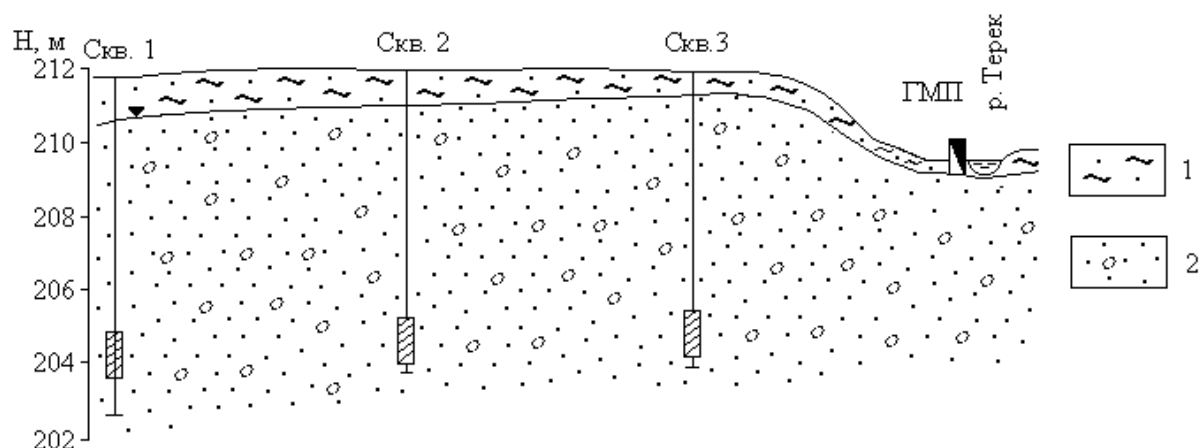


Рис. 2.2. Гидрогеологический створ в предгорной части долины р. Терека (alQ<sub>4</sub>): 1 – супесчаный почвенный слой; 2 – гравийно-галечниковые отложения; ГМП – гидрометрический створ

**Таблица 2.1**

Данные наблюдений за уровнями грунтовых вод и реки

| Дата наблюдений | Глубина залегания уровня от поверхности земли, м |       |       |       |
|-----------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | Скв.1                                            | Скв.2 | Скв.3 | Река  |
| I/I 2002 г.     | 6,05                                             | 6.55  | 7.05  | 0.50  |
| 15/I            | 6,02                                             | 6.52  | 7.02  | 0.50  |
| I/II            | 6,06                                             | 6.56  | 7.16  | 0.50  |
| 15/II           | 6,10                                             | 6.60  | 7.10  | 0.50  |
| I/III           | 6,10                                             | 6.60  | 7.10  | 0.50  |
| 15/III          | 6,10                                             | 6.60  | 7.10  | 0.50  |
| I/IV            | 6,10                                             | 6.60  | 7.10  | 0.60  |
| 15/IV           | 6,10                                             | 6.60  | 7.10  | 0.60  |
| I/V             | 6,10                                             | 6.60  | 7.10  | 1.00  |
| 15/V            | 6,00                                             | 6.50  | 7.05  | 0.70  |
| I/VI            | 5,90                                             | 6.40  | 6.90  | 1.00  |
| 15/VI           | 5,80                                             | 6.30  | 6.80  | 0.80  |
| I/VII           | 5,80                                             | 6.30  | 6.80  | 1.00  |
| 15/VII          | 5,30                                             | 5.90  | 6.50  | 1.00  |
| I/IX            | 4,50                                             | 5.00  | 5.90  | 1.00  |
| 15/IX           | 4,40                                             | 4.90  | 5.90  | 0.60  |
| I/X             | 4,40                                             | 4.90  | 5.90  | 10.45 |
| I/XI            | 4,40                                             | 4.90  | 6.0   | 0.50  |
| 15/XI           | 4,85                                             | 5.35  | 6.10  | 0.45  |
| I/XII           | 4,90                                             | 5.40  | 6.13  | 0.50  |
| I/I 2003 г.     | 5.00                                             | 5.30  | 6.15  | 0.50  |
| 15/I            | 5.90                                             | 6.40  | 6.90  | 0.45  |

### 3. Водные свойства горных пород

#### 3.1. Определение влагоемкости, капиллярных свойств и водоотдачи песчаных пород

Влагоемкость – способность пород вмещать в порах и удерживать в себе то или иное количество воды. В зависимости от вида воды различают влагоемкость: полную  $W_t$ , капиллярную  $W_k$  и максимально молекулярную  $W_m$ . Два первых вида определяют количество свободной воды, последний – физически связанной. Породы разделяются на весьма влагоемкие (торф, глины, суглинки), слабо влагоемкие (мел, рыхлые песчаники) и невлагоемкие

(скальные породы, пески, галечники).

Полной влагоемкостью  $W_t$  называется максимальное количество воды, заключенное в породе при полном насыщении ее водой. Для песков она обычно равна пористости, если в них нет заземленного воздуха. Полная влагоемкость песков определяется методом насыщения. Величина  $W_t$  зависит от механического состава породы и ее структуры.

Капиллярной влагоемкостью  $W_k$  называется максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах в результате капиллярных сил.

Максимальной молекулярной влагоемкостью породы  $W_m$  называют максимальное количество воды (гигроскопической и пленочной), удерживаемой частицами грунта силами молекулярного притяжения. Величина  $W_m$  зависит от состава породы и ее удельной поверхности и для каждой (данной) породы является постоянной. Величина  $W_m$  характеризует влажность границы перехода связанной воды в свободную и используется для вычисления величины водоотдачи.

Максимальной гигроскопической влагоемкостью  $W_g$  называется предельное количество парообразной воды, которое может быть поглощено породой из воздуха при относительной его влажности 94 %. Для данной породы эта величина является постоянной. Чем больше суммарная поверхность частиц, тем больше гигроскопичность породы.

Водоотдачей породы ( $\mu$ ) называют количество воды, которое отдает единица объема породы при стоке из нее гравитационной воды. Водоотдачу вычисляют по разности полной влагоемкости и максимальной молекулярной влагоемкости:

$$\mu = W_t - W_m$$

Величина водоотдачи зависит от величины пор и трещин в породе, их структуры и т. п. Породы с крупными порами обладают хорошей водоотдачей, супеси, суглинки, тонкотрещиноватые породы плохо отдают воду и

характеризуются весьма малой величиной  $\mu$ .

Приближенно водоотдачу песков определяют как разность между пористостью и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Разность между полной влагоемкостью и данной естественной влажностью  $W$ , выраженную в процентах, именуют недостатком насыщения  $\mu_n$

$$\mu_n = W_t - W.$$

### 3.1.1. Определение максимальной молекулярной и капиллярной влагоемкости песков методом высоких колонн

Метод заключается в определении величины влажности в колонне породы над капиллярной зоной после полного стекания гравитационной воды.

В работе применяется прибор (рис. 3.1), состоящий из металлического цилиндра диаметром 4-5 см и высотой 90 – 100 см. Сбоку он должен иметь отверстия диаметром 2 см. В дно цилиндра впаяна трубка с сеткой.

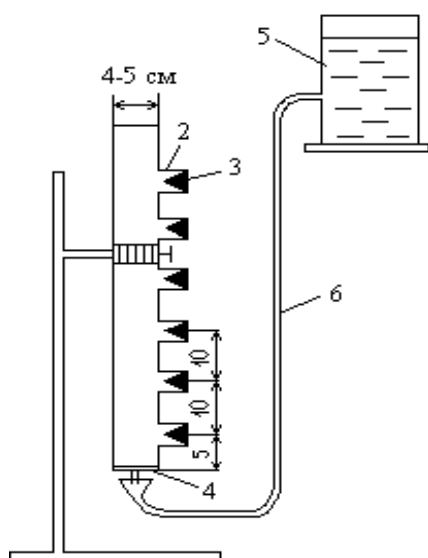


Рис. 3.1. Схема прибора для определения влагоемкости методом высоких колонн: 1 – металлический цилиндр; 2 – боковые отверстия; 3 – резиновые пробки; 4 – сетка; 5 – напорный бак; 6 – резиновая трубка

Ход работы:

1. Закрывать резиновыми пробками боковые отверстия, заполнить цилиндр песком, песок слегка утрамбовать.

2. Насытить песок водой, подаваемой в цилиндр снизу по резиновой трубке из напорного бака, до появления пленки воды на поверхности песка за счет сил капиллярного всасывания.
3. Снять резиновую трубку со дна прибора и дать гравитационной воде свободно стечь.
4. По прекращении стока взять шпателем по 10-15 г песка из каждого бокового отверстия и определить влажность проб.

По полученным данным составить таблицу 3.1. и выделить 3 зоны влажности. Верхняя графа – зона постоянной минимальной влажности, в той зоне влажность наименьшая, т. е. эта влажность и есть максимальная молекулярная влажность грунта  $W_m$ .

Ниже располагается переходная зона с неустановившимися значениями влажности.

Ниже переходной зоны выделяется зона с наибольшими значениями влажности грунта, которая и соответствует капиллярной влагоемкости  $W_k$ .

**Таблица 3.1**

**Журнал определения капиллярной и максимальной молекулярной  
влагоемкости**

| №<br>отверстия,<br>с которого<br>взята проба | Высота<br>отбора<br>образца<br>(снизу), см | Влажность,<br>% | Зона влажности                 | Влагоемкость,<br>% |       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|-------|
|                                              |                                            |                 |                                | $W_m$              | $W_k$ |
| 1                                            | 90                                         | 1,6             | Зона постоянной влажности      | 1,7                |       |
| 2                                            | 80                                         | 1,7             |                                |                    |       |
| 3                                            | 70                                         | 1,6             |                                |                    |       |
| 4                                            | 60                                         | 1,8             |                                |                    |       |
| 5                                            | 50                                         | 1,7             |                                |                    |       |
| 6                                            | 40                                         | 1,9             |                                |                    |       |
| 7                                            | 30                                         | 6,2             | Переходная зона                |                    |       |
| 8                                            | 20                                         | 14,9            | Зона максимальной<br>влажности |                    | 15,2  |
| 9                                            | 10                                         | 15,1            |                                |                    |       |
| 10                                           | 0                                          | 15,6            |                                |                    |       |

### 3.1.2. Определение полной влагоемкости песков

Производится методом насыщения.

Ход работы:

1. Сухой стаканчик фиксированного объема  $V$  наполнить песком с легкой трамбовкой. После наполнения подравнять поверхность песка линейкой вровень с краями стаканчика.
2. При помощи бюретки насытить песок в стаканчике водой до появления тонкой пленки воды на поверхности песка. Количество воды, израсходованной на насыщении песка, будет соответствовать объему его пор  $V_{\text{п}}$ .

$$i = \frac{V_{\text{п}}}{V} \cdot 100\%$$

3. Рассчитать пористость по формуле:

Эта пористость численно равна величине полной влагоемкости песка  $W_t$ .

### 3.1.3. Определение капиллярных свойств пород

Под капиллярными свойствами пород понимают высоту и скорость капиллярного поднятия в них воды.

Скорость капиллярного поднятия зависит от размеров пор, т. е. гранулометрического состава пород, и имеет максимальные значения для крупнозернистых песков и минимальные – для суглинистых и глинистых пород. В песках быстро достигается предельная высота подъема. Для супесей и суглинков этот процесс растягивается во времени на год и более.

Высота капиллярного поднятия также зависит от гранулометрического состава пород: чем меньше поры породы, тем выше величина капиллярного поднятия.

Для песчаных пород капиллярные свойства определяются непосредственным наблюдением в трубках (рис. 3.2).



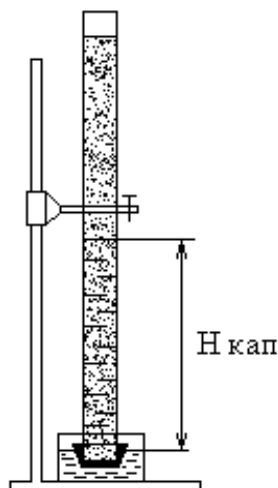


Рис. 3.2. Схема прибора для визуального изучения капиллярных свойств пород

Ход работы:

1. В стеклянную трубку диаметром 3-4 см, обвязанную с одного конца марлей, насыпать сухой песок, слегка утрамбовать его.
2. Конец трубки, укрепленной на штативе, погрузить в сосуд с водой на глубину 1-2 см и заметить время. Уровень воды в сосуде с водой должен быть постоянным.
3. Наблюдать за скоростью и высотой подъема по окраске песка.
4. Построить график изменения высоты во времени. Определить предельную высоту капиллярного поднятия.

### **3.2. Определение коэффициента фильтрации глинистых и песчаных горных пород**

#### **3.2.1. Водопроницаемость горных пород**

Процесс фильтрации – это механическое движение свободной воды под действием градиента напора в порах и трещинах горных пород в условиях их полного заполнения этой водой. Водопроницаемость горных пород – это способность их пропускать через себя воду.

Водопроницаемость зависит от размера сообщающихся между собой пор и трещин в горных породах и характеризуется коэффициентом фильтрации,

имеющим размерность скорости (см/с, м/с, м/сут).

Такая размерность получается из закона линейной фильтрации – закона Дарси, согласно которому количество фильтрующей воды в единицу времени прямо пропорционально коэффициенту фильтрации  $K_f$ , площади фильтрации  $F$  и гидравлическому градиенту  $J$ :

$$Q = K \cdot F \cdot J \quad (1)$$

Разделив правую и левую части этого уравнения на  $F$ , получим

$$\frac{Q}{F} = K \cdot J, \text{ где } \frac{Q}{F} = V \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что коэффициент фильтрации есть скорость фильтрации при градиенте, равном единице.

$$V = K \text{ при } J = 1 \quad (3)$$

Формулой (3) определяется скоростная размерность коэффициента фильтрации горных пород.

Следует отметить, что расчетная скорость фильтрации отличается от истинной скорости движения воды в породах, так как жидкость движется не через всю площадь, а через площадь поровых и трещинных пространств.

Величина коэффициента фильтрации зависит от физических свойств горных пород (гранулометрический состав, плотность сложения и др.).

Средние значения  $K_f$  для различных горных пород приведены в таблице 3.2.

**Таблица 3.2**

Классификация пород по водопроницаемости

| Группа             | $K_f$ , м/сут | Примеры пород                                                                                   |
|--------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Весьма проницаемые | >100          | Крупный гравий, закарстованные сильнотрещиноватые известняки, галечник с песчаным заполнителем. |
| Хорошо проницаемые | 100 – 10      | Гравийно-галечниковые отложения, крупнозернистые пески, сильнотрещиноватые породы.              |

| Группа                   | К <sub>ф</sub> , м/сут              | Примеры пород                                                               |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Проницаемые              | 10 – 1                              | Пески разной зернистости, трещиноватые породы.                              |
| Слабопроницаемые         | 1 – 10 <sup>-1</sup>                | Мелко- и тонкозернистые пылеватые пески, супеси, слабо трещиноватые породы. |
| Весьма слабопроницаемые  | 10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-3</sup> | Мелкие и средние суглинки, песчаные породы.                                 |
| Относительно водоупорные | 10 <sup>-3</sup>                    | Средние глины, плотные суглинки.                                            |

В лабораторных условиях коэффициент фильтрации определяется с помощью специальных приборов на образцах естественного и нарушенного сложения.

### 3.2.2. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов

Определение коэффициент фильтрации песчаных пород с помощью прибора, называющегося трубкой СпецГео, в основе работы которого лежит принцип трубки Дарси, и который дает возможность вести испытания пород при постоянном гидравлическом градиенте.

В состав трубки Спецгео входит:

- 1) фильтрационная трубка, состоящая из прямого цилиндра с площадью поперечного сечения 25 см<sup>2</sup> и высотой 100 мм с заостренными краями, перфорированного дна с отверстиями размером 2х2 мм и муфты с латунными сетками;
- 2) мерный стеклянный баллон со шкалой объемом 100 см<sup>3</sup>;
- 3) приспособление для насыщения грунта водой и регулирования градиента напора, состоящее из подставки, подъемного винта, планки со шкалой градиентов напора от 0,1 до 1.

#### Последовательность определения.

1. Заполняют цилиндр испытуемым грунтом.

При испытании пород естественного сложения заостренным концом рабочего цилиндра вырезают образец грунта.

При испытании пород нарушенного сложения с высушенным до воздушно-сухого состояния грунтом проводят 2 опыта: в предельно рыхлом и предельно плотном сложении. В 1-ом случае наполнение цилиндра производится насыпанием грунта до необходимой высоты без уплотнения, во 2-ом – цилиндр наполняется слоями грунта толщиной 1-2 см с уплотнением каждого слоя трамбованием.

## 2. Насыщение грунта водой.

В корпус наливают воду и вращением подъемного винта поднимают подставку до упора. Устанавливают цилиндр с грунтом на подставку, медленно погружают в воду до отметки градиента напора 0,8 и оставляют его в таком положении до тех пор, пока грунт увлажнится. В процессе водонасыщения грунта поддерживают постоянный уровень воды у верхнего края корпуса. Породу водонасыщают снизу, чтобы не произошло защемление воздуха. На полное водонасыщение укажет появившаяся на поверхности грунта пленка воды.

3. После водонасыщения грунта на образец помещают латунную сетку, на цилиндр одевают муфту. Вращением винта устанавливают цилиндр с грунтом до совмещения отметки необходимого градиента напора на пленке с верхним краем крышки корпуса и доливают воду в корпус до верхнего его края.

Замеряют температуру воды, заполняют его мерный стеклянный баллон и, закрывая пальцем его отверстие, быстро опрокидывают отверстием вниз и укрепляют в муфте фильтрационной трубки так, чтоб его горлышко соприкасалось с латунной сеткой.

После установки мерного баллона в него начинают равномерно подниматься мелкие пузырьки воздуха, что указывает на начало фильтрации. Если в баллон прорываются крупные пузырьки воздуха, то его необходимо

опустить глубже, добившись появления мелких пузырьков.

Отметив уровень воды в стеклянном баллоне, заметить соответствующее этому уровню время по секундомеру. Следить за скоростью фильтрации воды.

Замеры расхода воды произвести несколько раз (не менее четырех) и вычислить среднее значение.

4. Обработка результатов. Данные опыта занести в таблицу 3.3.

**Таблица 3.3**

Журнал для определения Кф в трубке СпецГео

| № опыта | Описание породы | Площадь поперечного сечения трубки | Градиент напора | Температура воды | Объем профильтрованной воды | Время фильтрации | Кф по отдельным замерам | Средний коэффициент фильтрации |
|---------|-----------------|------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|
|         |                 |                                    |                 |                  |                             |                  |                         |                                |

Коэффициент фильтрации  $K_{10}$ , м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре воды  $10^{\circ}\text{C}$ , вычисляют по формуле:

$$K_{10} = \frac{864 \cdot V}{t \cdot A \cdot T \cdot J},$$

где  $V$  – объем профильтровавшейся воды при одном замере,  $\text{см}^3$ ;

$t$  - время фильтрации;

$A$  – площадь поперечного сечения цилиндра с грунтом,  $\text{см}^2$ ;

$J$  - градиент напора;

$T=0,7+0,03T_{\text{ф}}$  – температурная поправка,

где  $T_{\text{ф}}$  - фактическая температура воды при опыте;

864 – переводной коэффициент (из  $\text{см}/\text{сек}$  в  $\text{м}/\text{сут}$ ).

### 3.2.3. Определение коэффициента фильтрации глинистых пород

Определение коэффициента фильтрации глинистых грунтов в лабораторных условиях производится на приборе ПФ – 1, в состав которого входят:

- 1) одомер, представляющий собой герметичную камеру, состоящую из перфорированного диска на дне, обоймы для заполнения испытуемым грунтом, уплотнительных колец, перфорированного штампа и крышки. В зависимости от фильтрационных свойств образцов грунта применяются обоймы 3-х типоразмеров;
- 2) пьезометр, представляющий собой панель, на которой смонтированы пьезотрубки разных сечений, которые соединяются с одомером посредством резиновых трубок;
- 3) одомер и пьезометр располагаются на единой плите, составляющей основание прибора.

Конструкции прибора должна обеспечивать герметичность всех стыков прибора, отсутствие заземленных пузырьков воздуха, подачу воды к образцу грунта сверху вниз или снизу вверх и отвод ее.

Последовательность определения.

1. Заполняют обойму выбранного размера испытуемым грунтом.

При испытании глинистых грунтов нарушенного сложения обойму заполняют грунтом до величины заданной плотности.

При испытании грунтов естественного сложения из монолита вырезают обоймой образец грунта, исключая возможные зазоры между грунтом и обоймой.

На торцы обоймы с грунтом положить смоченные водой кружки фильтрационной бумаги.

2. Надеть на обойму уплотнительные кольца, установить ее в основании

одометра на перфорированное дно, на верхний торец обоймы положить штамп, установить крышку и затянуть гайки для создания герметичности одометра.

### 3. Насыщение грунта водой.

Насыщение образца грунта водой производится снизу. Для этого нижний кран одометра соединяют с помощью резинового шланга с сосудом, наполняют сосуд водой и измеряют ее температуру. Сосуд с водой устанавливают выше верхнего торца пьезометра, Водонасыщение образца грунта наступает при полном заполнении части одометра водой, пузырьки воздуха через верхний кран одометра.

4. Сущность опыта состоит в установлении скорости фильтрации воды через породу по понижению уровня воды в пьезометрической трубке.

Левый пьезометр соединяют резиновым шлангом с верхним краном одометра, правый пьезометр – с нижним. Затем открывают эти краны и доводят уровень воды в правом пьезометре до отметки 0, а в левый заливают воду до отметки 35, создавая тем самым напор, под действием которого происходит фильтрация воды из пьезометрической трубки в прибор и в приборе сверху вниз через слой исследуемой породы (условия нисходящей фильтрации). Измеряют температуру воды. При достижении уровней в пьезометрах указанных отметок, записывают время начала фильтрации.

Если в пьезометре уровень воды понижается на одно деление за время более 50 с, следует переключить пьезометр на трубку меньшего сечения.

Наблюдая за изменением уровня воды в трубках, последовательно отмечают время понижения уровня в левом пьезометре по рискам шкалы, обозначенным цифрами.

Количество ступеней отметок и интервалы между ними берутся произвольно (но не менее 6 замеров).

При последнем отсчете проверяют уровни в трубках. Число делений, на которое опустился уровень в левом пьезометре, должно равняться числу

делений, на которое поднялся уровень в правом пьезометре. Это будет свидетельствовать о том, что грунт полностью насыщен, прибор герметичен и фильтрация велась правильно.

#### 5. Обработка результатов.

Данные опыта заносятся в таблицу 3.4.

**Таблица 3.4**

Журнал для определения Кф в приборе ПФ-1

| № опыта | Описание породы | Площадь поперечного сечения пьезометра, Ак | Площадь поперечного сечения обоймы, Ак | Высота слоя грунта, h | Температура воды, Тф | Начальная отметка уровня воды в | Замеренный уровень воды в пьезометре, | Понижение уровня в трубке, S=H0-Sзам | Время понижения уровня воды, t | $\frac{S}{H_0}$ | $\left( \frac{S}{H_0} \right)^\phi$ | Коэффициент фильтрации по данным отдельных замеров | Среднее значение коэффициента фильтрации |
|---------|-----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
|         |                 |                                            |                                        |                       |                      |                                 |                                       |                                      |                                |                 |                                     |                                                    |                                          |

Коэффициент фильтрации  $K_{10}$ , м/сут, приведенный к температуре  $10^0\text{C}$ , рассчитывается по формуле:

$$K_{10} = \left[ \frac{\phi \left( \frac{S}{H_0} \right)}{t} \right] \cdot \frac{A_{\Pi}}{A_K} \cdot \frac{h}{T} \cdot 864$$

где  $A_{\Pi}$  - площадь поперечного сечения пьезометра,  $\text{см}^2$ ;

$A_K$  - площадь поперечного сечения обоймы с грунтом (по внутреннему диаметру),  $\text{см}^2$ ;

$h$  - высота обоймы с грунтом, см;

$T=0,7+0,03T_{\phi}$  - температурная поправка, где  $T_{\phi}$  – фактическая температура воды при опыте;



- $\varphi (S/H_0)$  - функция, зависящая от наблюдаемого падения уровня и первоначальной высоты уровня  $H_0$ , определяется по таблице Каменского, табл. 3.5;
- $t$  - время понижения уровня воды, с;
- 864 переводной коэффициент (из см/сек в м/сут).

**Таблица 3.5**

Значения  $S/H_0$  и  $\varphi (S/H_0)$

| $S/H_0$ | $\varphi (S/H_0)$ | $S/H_0$ | $\varphi (S/H_0)$ | $S/H_0$ | $\varphi (S/H_0)$ |
|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|
| 0,01    | 0,010             | 0,34    | 0,416             | 0,67    | 1,109             |
| 0,02    | 0,020             | 0,35    | 0,431             | 0,68    | 1,139             |
| 0,03    | 0,030             | 0,36    | 0,446             | 0,69    | 1,172             |
| 0,04    | 0,040             | 0,37    | 0,462             | 0,70    | 1,204             |
| 0,05    | 0,051             | 0,38    | 0,478             | 0,71    | 1,238             |
| 0,06    | 0,062             | 0,39    | 0,494             | 0,72    | 1,273             |
| 0,07    | 0,073             | 0,40    | 0,510             | 0,73    | 1,309             |
| 0,08    | 0,083             | 0,41    | 0,527             | 0,74    | 1,347             |
| 0,09    | 0,094             | 0,42    | 0,545             | 0,75    | 1,386             |
| 0,10    | 0,105             | 0,43    | 0,562             | 0,76    | 1,427             |
| 0,11    | 0,117             | 0,44    | 0,580             | 0,77    | 1,470             |
| 0,12    | 0,128             | 0,45    | 0,598             | 0,78    | 1,514             |
| 0,13    | 0,139             | 0,46    | 0,616             | 0,79    | 1,561             |
| 0,14    | 0,151             | 0,47    | 0,635             | 0,80    | 1,609             |
| 0,15    | 0,163             | 0,48    | 0,654             | 0,81    | 1,661             |
| 0,16    | 0,174             | 0,49    | 0,673             | 0,82    | 1,715             |
| 0,17    | 0,186             | 0,50    | 0,693             | 0,83    | 1,771             |
| 0,18    | 0,196             | 0,51    | 0,713             | 0,84    | 1,833             |
| 0,19    | 0,210             | 0,52    | 0,734             | 0,85    | 1,897             |
| 0,20    | 0,223             | 0,53    | 0,755             | 0,86    | 1,966             |
| 0,21    | 0,236             | 0,54    | 0,777             | 0,87    | 2,040             |
| 0,22    | 0,248             | 0,55    | 0,799             | 0,88    | 2,120             |
| 0,23    | 0,261             | 0,56    | 0,821             | 0,89    | 2,207             |
| 0,24    | 0,274             | 0,57    | 0,844             | 0,90    | 2,303             |
| 0,25    | 0,288             | 0,58    | 0,868             | 0,91    | 2,408             |
| 0,26    | 0,301             | 0,59    | 0,892             | 0,92    | 2,526             |
| 0,27    | 0,315             | 0,60    | 0,916             | 0,93    | 2,659             |
| 0,28    | 0,329             | 0,61    | 0,941             | 0,94    | 2,813             |
| 0,29    | 0,346             | 0,62    | 0,967             | 0,95    | 2,996             |
| 0,30    | 0,357             | 0,63    | 0,994             | 0,96    | 3,219             |
| 0,31    | 0,371             | 0,64    | 1,022             | 0,97    | 3,507             |
| 0,32    | 0,385             | 0,65    | 1,050             | 0,98    | 3,912             |
| 0,33    | 0,400             | 0,66    | 1,079             | 0,99    | 4,605             |

#### **4. Химический состав подземных вод**

Природные воды являются растворами сложного состава и разнообразной минерализации, колеблющейся в пределах от единиц миллиграммов до сотен граммов в литре.

Формирование химического состава природных вод происходит в результате выщелачивания, испарения, конденсации, ионного обмена, поглощения и выделения газов, органической жизни и продуктов ее деятельности и других физико-химических процессов взаимодействия вод с породами, почвами и газами. Растворяющая способность воды делает ее важнейшим агентом в геохимических процессах перераспределения элементов в земной коре.

В практике гидрогеологических работ исследование химического состава природных вод решает следующие задачи:

1. Изучение закономерностей формирования и распространения природных вод различного состава.
2. Исследование природных вод как поискового критерия на месторождения полезных ископаемых.
3. Оценка природных вод как химического сырья для получения йода, брома, бора, меди и др. веществ.
4. Оценка состава и свойств природных вод для питьевого, технического, сельскохозяйственного, лечебного и других видов использования.
5. Оценка загрязненности природных вод под воздействием антропогенных факторов.

С целью определения химического состава растворенных в воде веществ производят химический анализ воды.

В зависимости от задач и целей исследований полнота и характер анализа могут быть различными. В практике применяются общие, сокращенные и

специальные анализы воды, производимые в полевых и стационарных условиях.

#### **4.1. Обработка результатов химического анализа подземных вод**

Ионно-солевой состав воды принято выражать в виде содержания в воде отдельных ее компонентов ионов.

Результаты химического анализа вод могут быть представлены в различных формах. Различают ионно-весовую, эквивалентную и процент-эквивалентную формы выражения химических анализов.

Ионно-весовая форма – основная форма выражения результатов анализа, представляет собой выражение ионно-солевого состава подземных вод в виде весовых количеств отдельных ионов в миллиграммах или граммах на 1 л воды, а для минерализованных вод и рассолов – на 1 кг воды.

Однако, для полной характеристики свойств воды ионная форма выражения анализа недостаточна. Поэтому наряду с ионной формой пользуются мг/экв формой выражения анализа, наиболее полно отражающей внутреннюю химическую природу входящих в состав воды веществ и ее важнейшие свойства.

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. Эквивалентным весом иона называется частное от деления его ионной массы на валентность, например: эквивалент  $\text{Na}^+$  равен  $23/1$ ;  $\text{Cl}^-$  -  $35,5/1$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  -  $40/2$ . Следовательно, при реакции реагируют на 1 г Na с 1 граммом  $\text{Cl}^-$ , а 1 эквивалент  $\text{Na}^+$  с 1 эквивалентом  $\text{Cl}^-$ .

Для перехода от ионно-весовой формы к мг/экв-форме необходимо число миллиграммов каждого иона разделить на его эквивалентный вес, или умножить на коэффициент, представляющий величину, обратную

эквивалентному весу. В таблице 4.1. представлены пересчетные коэффициенты для наиболее распространенных в подземных водах ионов.

**Таблица 4.1**

Таблица эквивалентных масс и пересчетных коэффициентов

| Анионы<br>А                   | Эквивалент-<br>ная масса | Пересчетный<br>коэффициент | Катионы<br>К                 | Эквивалент-<br>ная масса | Пересчетный<br>коэффициент |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Cl <sup>-</sup>               | 35,457                   | 0,02820                    | Na <sup>+</sup>              | 22,997                   | 0,04348                    |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 48,033                   | 0,02082                    | K <sup>+</sup>               | 39,098                   | 0,02558                    |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 61,018                   | 0,01639                    | Mg <sup>2+</sup>             | 12,160                   | 0,08224                    |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | 30,005                   | 0,03333                    | Ca <sup>2+</sup>             | 20,040                   | 0,04990                    |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | 46,008                   | 0,02174                    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 18,040                   | 0,05543                    |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 62,008                   | 0,01613                    | Fe <sup>2+</sup>             | 27,925                   | 0,03581                    |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 31,658                   | 0,03159                    | Fe <sup>3+</sup>             | 18,617                   | 0,05371                    |

Если содержание какого-либо иона выражают в эквивалентной форме, то перед символом ставят знак “r” (реагирующая величина).

Согласно правилу Фрезениуса, все химические соединения, растворенные в водном растворе, реагируют между собой в эквивалентных количествах, т. е.

$$\Sigma rK = \Sigma rA$$

Практически в полном анализе, когда все ионы определены аналитически, точного совпадения цифр ввиду погрешностей анализа не бывает.

Для сопоставления химического состава природных вод различной минерализации и более ясного представления о соотношениях между ионами одной и той же воды проводится пересчет результатов анализа воды в % - эквивалентную форму.

Для вычисления %-экв принимают сумму мг·экв анионов ( $\Sigma rA$ ), содержащихся в 1л воды за 100% и вычисляют процент содержания каждого аниона в мг·экв по отношению к этой сумме. Аналогично поступают и с катионами:

$$\% - эквA_{(илиK)} = \frac{100 \cdot rA(илиK)}{\sum rA(илиK)}$$

Результат анализа ионов, выраженный в различных формах, представляют в виде таблицы 4.2:

**Таблица 4.2**

Пример выражения результатов химического анализа воды

| Катионы          | Содержание |          |         | Анионы                        | Содержание |          |         |
|------------------|------------|----------|---------|-------------------------------|------------|----------|---------|
|                  | мг/л       | мг-экв/л | %-экв/л |                               | мг/л       | мг-экв/л | %-экв/л |
| Na <sup>+</sup>  | 78         | 3,39     | 34      | Cl <sup>-</sup>               | 125        | 3,53     | 36      |
| K <sup>+</sup>   | 9          | 0,23     | 2       | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 83         | 1,73     | 17      |
| Ca <sup>2+</sup> | 89         | 4,44     | 44      | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 5          | 0,08     | 1       |
| Mg <sup>2+</sup> | 24         | 1,97     | 20      | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 282        | 4,62     | 46      |
| Итого<br>pH=7,6  | 200        | 10,03    | 100     | Итого                         | 495        | 9,96     | 100     |

Определение общей минерализации. Для определения общей минерализации находят сумму миллиграммов всех ионов, молекул и других соединений, содержащихся в воде согласно выполненному анализу. О величине общей минерализации можно судит по сухому, или плотному остатку, полученному после выпаривания воды. Растворенные газы, летучие соединения, в том числе органические вещества, при выпаривании и высушивании улетучиваются, но могут идти процессы гидролиза и образования кристаллогидратов. Все это может приводить к значительным погрешностям в определении сухого остатка. Расхождение между экспериментальным определением сухого остатка и расчетной величиной общей минерализации не должно превышать 3 %.

Определение видов жесткости воды. Общая жесткость определяется как сумма миллиграмм-эквивалент в 1 л ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, карбонатная – как величина иона HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, связанного с Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>. В случае, когда количество иона HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> превышает суммарное содержание ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, вся жесткость считается карбонатной. Постоянную жесткость воды определяют как разницу между общей и карбонатной.

## 4.2. Графическое изображение результатов химических анализов

Формула Курлова (или формула состава воды) - прием наглядного изображения химического состава природной воды. Эта формула представляет собой псевдодробь, в числителе которой в убывающем порядке записывают процент-эквивалентное содержание анионов, в знаменателе катионов.

Перед дробью сокращенно указывают величину минерализации (М) в г/л с точностью до одного десятичного знака, и компоненты (в том числе и газы), придающие воде специфические свойства (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Br, Y, радиоактивность и др.). Справа от дроби указывают показатели, характеризующие Eh, pH, T (°C), при наличии данных – дебит Q скважины или источника в м<sup>3</sup>/сут.

Ионы, присутствующие в количествах менее 10 %-экв/л в форму не вносят.

В наименование состава воды включаются анионы и катионы, содержание которых превышает 25 %-экв/л. Наименование состава воды дается в следующем порядке: по минерализации, по анионному, затем по катионному составу (в порядке уменьшения их величин), по специфическим компонентам, по величине pH, по температуре.

В качестве примера рассмотрим формулу состава воды для приведенного выше результата химического анализа подземных вод.

$$M_{0,7} \frac{HCO_3 46 Cl 36 SO_4 17}{Ca 44 Na 34 Mg 20} pH_{7,6}$$

Т. е. вода хлоридно-гидрокарбонатная натриево-кальциевая пресная, слабощелочная.

Существуют графические способы выражения химического состава природных вод, которые позволяют на небольшой по размерам схеме показать результаты сотен анализов. Рассмотрим 2 из них: метод треугольных координат и график-квадрат Толстихина.

*Метод треугольных координат (графики-треугольники Фере).*

Применение равносторонних треугольников для отображения химического состава природных вод основано на общеизвестном их свойстве: общая длина перпендикуляров, восстановленная из любой точки равностороннего треугольника на его стороны, является величиной постоянной, т. е. перпендикуляры из каждой точки треугольника могут служить координатами (рис. 4.1).

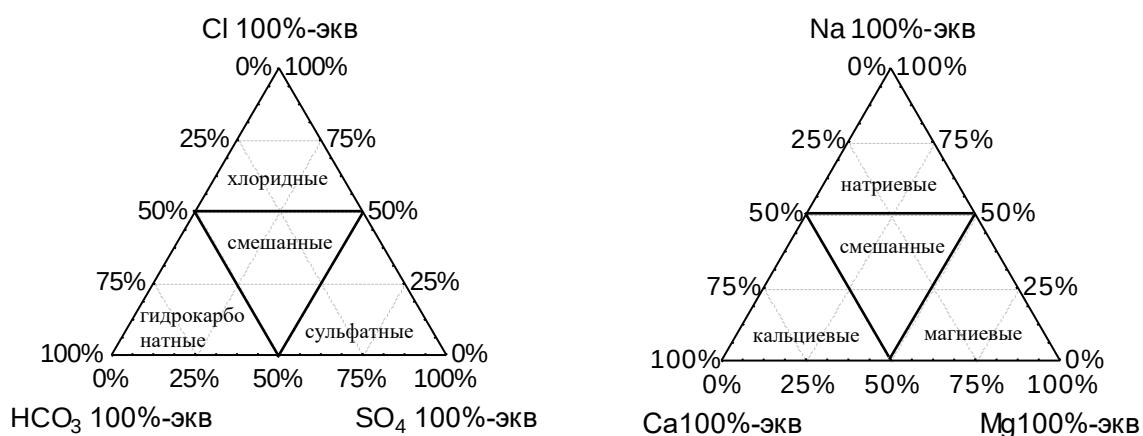


Рис. 4.1. Графическая систематизация химических анализов подземных вод по треугольникам Фере

Графики-треугольники Фере составляются отдельно для катионов и анионов, содержание которых дается в %-экв/л. В вершинах треугольников содержание ионов составляет 100 %-экв/л. Каждая сторона треугольника делится на 10 равных частей по 10 %-экв. Положение анализов определяется пересечением 3-х линий, параллельных основаниям треугольника.

Группировка анализов в вершинах треугольников указывает на преобладание в водах соответствующих ионов; в средней части располагаются смешанные по составу воды. Графики-треугольники дают возможность определения соотношений каждого иона, но сопоставление анализов затрудняется разобщи́нным изображением анионов и катионов.

*График-квадрат Н. И. Толстихина.* График-квадрат представляет собой квадрат, каждая сторона которого разделена на 10 равных частей – по 10 %-экв.

По горизонтальным сторонам квадрата наносят количество катионов (%-экв), по вертикальным – количество анионов. На левой стороне квадрата сверху вниз откладывается эквивалентное содержание суммы ионов  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ ; на правой - соответственно, снизу вверх  $\text{HCO}_3^-$ ; на верхней стороне слева направо -  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  и тяжелые металлы (Me), внизу -  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Положение анализа на квадрате отмечается точкой и определяется пересечением 2-х осей координат (рис. 4.2).

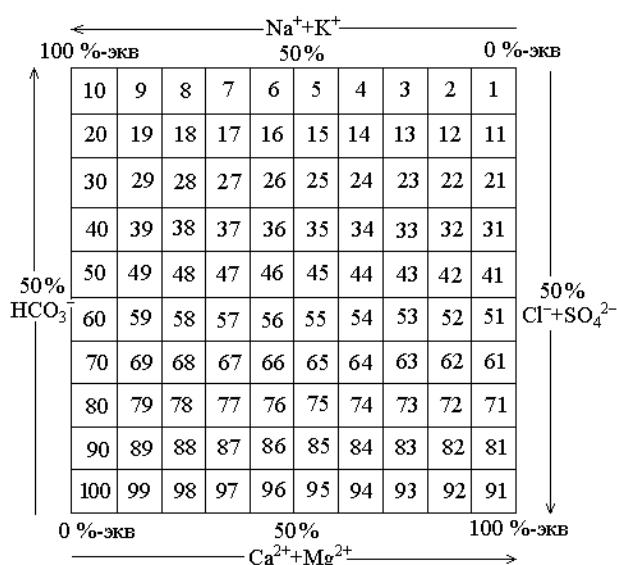


Рис. 4.2. Графическая систематизация химических анализов  
подземных вод по квадрату Н. И. Толстихина

Группировка анализов в вершинах квадрата указывает на преобладание химического состава воды: если точка находится в верхнем правом углу квадрата, вода, как правило, имеет гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав; если в левом верхнем углу – гидрокарбонатный натриевый. В левом нижнем углу сосредоточены преимущественно хлоридные и сульфатные натриевые воды, а в правом нижнем – хлоридно-сульфатные магниевый-кальциевые, в центре – смешанные по составу воды.

Недостатком использования графиков-квадратов является суммарное изображение ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ .

Задание. Обработать химический анализ подземный воды, приведенный в таблице 4.3.



Таблица 4.3

## Результаты химических анализов воды

| № п.п. | Водопункт         | Температура воды, °С | pH  | Своб. CO <sub>2</sub> , мг/л | Сухой ост., мг/л | Анионы, мг/л                  |                               |                               |                 | Катионы, мг/л                   |                  |                  | Примечание                                                 |
|--------|-------------------|----------------------|-----|------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------------------------------|
|        |                   |                      |     |                              |                  | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> |                                                            |
| 1.     | Скважина 1        | 8                    | 7,2 | 0,8                          | 298              | -                             | 115,9                         | 107,4                         | 8,9             | 12,9                            | 52,1             | 15,2             | NO <sub>3</sub> – 1,4 мг/л                                 |
| 2.     | Скважина 2        | 7                    | 7,7 | 15,0                         | 328              | -                             | 158,6                         | 118,8                         | 5,3             | 16,0                            | 66,1             | 14,6             |                                                            |
| 3.     | Скважина 3        | 6                    | 7,1 | 49,5                         | 278              | -                             | 134,2                         | 71,1                          | 7,1             | 8,5                             | 50,1             | 12,1             | Fe <sub>общ</sub> - 0,2 мг/л                               |
| 4.     | Шахтный водоотлив | 15                   | 7,8 | 21,0                         | 3394             | 348,1                         | 2041,0                        | 4,1                           | 585,0           | 1364,0                          | 9,0              | 23,1             | NO <sub>3</sub> - 3,3 мг/л<br>Fe <sub>общ</sub> – 0,2 мг/л |
| 5.     | Скважина 4        | 5                    | 8,5 | 57,0                         | 468              | 3,0                           | 94,6                          | 258,4                         | 5,3             | 19,1                            | 73,2             | 32,8             | NO <sub>2</sub> – 0,02 мг/л<br>NO <sub>3</sub> – 0,2 мг/л  |
| 6.     | Скважина 5        | 7                    | 7,3 | 1,6                          | 798              | -                             | 405,7                         | 261,2                         | 24,8            | 170,1                           | 50,1             | 36,4             | NO <sub>3</sub> – 7,0 мг/л                                 |
| 7.     | Шахтный водоотлив | 10                   | 7,6 | 33,3                         | 1062             | 42,0                          | 610,2                         | 174,4                         | 120,6           | 300,7                           | 23,1             | 52,3             | NO <sub>3</sub> – 7,5 мг/л                                 |
| 8.     | Скважина 6        | 8                    | 7,7 | 88,0                         | 211              | -                             | 58,0                          | 93,4                          | 10,6            | 9,4                             | 30,1             | 15,8             | NO <sub>3</sub> – 0,9 мг/л                                 |
| 9.     | Шахтный водоотлив | 13                   | 7,3 | 12,4                         | 3184             | 9,0                           | 485,1                         | 1564,7                        | 280,1           | 465,3                           | 244,5            | 198,2            | NO <sub>3</sub> – 1,8 мг/л<br>NO <sub>2</sub> – 1,2 мг/л   |
| 10.    | Скважина 7        | 10                   | 7,7 | 43,7                         | 688              | 12,0                          | 201,3                         | 179,7                         | 152,4           | 104,8                           | 70,1             | 44,9             | NO <sub>3</sub> – 0,9 мг/л                                 |
| 11.    | Шахтный водоотлив | 12                   | 7,6 | 31,5                         | 3164             | 24,0                          | 521,7                         | 811,8                         | 921,8           | 826,5                           | 86,2             | 149,6            | NO <sub>3</sub> – 0,5 мг/л                                 |
| 12.    | Скважина 8        | 9                    | 7,1 | 8,8                          | 390              | -                             | 67,1                          | 206,1                         | 7,1             | 14,9                            | 62,1             | 21,8             | NO <sub>3</sub> – 1,2 мг/л<br>NH <sub>4</sub> – 1,2 мг/л   |
| 13.    | Скважина 9        | 9                    | 7,1 | 19,2                         | 332              | -                             | 259,3                         | 68,8                          | 7,5             | 16,3                            | 70,1             | 20,6             | NO <sub>3</sub> – 1,8 мг/л<br>Fe – 0,9 мг/л                |

Продолжение табл. 4.3

| № п.п. | Водопункт   | Температура воды, °С | pH  | Своб. CO <sub>2</sub> , мг/л | Сухой ост., мг/л | Анионы, мг/л                  |                               |                               |                 | Катионы, мг/л                   |                  |                  | Примечание                                                                |
|--------|-------------|----------------------|-----|------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|        |             |                      |     |                              |                  | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> |                                                                           |
| 14.    | Шахта       | 14                   | 7,7 | 10,5                         | 2078             | 66,0                          | 744,4                         | 161,7                         | 657,8           | 703,0                           | 28,1             | 53,5             | NO <sub>3</sub> – 4,0 мг/л                                                |
| 15.    | Скважина 10 | 10                   | 8,3 | 22,4                         | 328              | 6,0                           | 137,3                         | 115,6                         | 7,1             | 11,3                            | 66,1             | 15,2             |                                                                           |
| 16.    | Скважина 11 | 8                    | 7,9 | 38,9                         | 447              | -                             | 94,6                          | 245,7                         | 7,1             | 9,4                             | 75,2             | 31,6             | NO <sub>3</sub> – 1,2 мг/л<br>NH <sub>4</sub> – 2,0 мг/л                  |
| 17.    | Скважина 12 | 7                    | 8,1 | 71,8                         | 489              | -                             | 85,4                          | 256,0                         | 12,4            | 27,1                            | 80,2             | 27,3             | NO <sub>3</sub> – 22,5 мг/л<br>Fe – 5,7 мг/л                              |
| 18.    | Скважина 13 | 8                    | 8,0 | 13,3                         | 304              | -                             | 125,1                         | 104,1                         | 14,2            | 29,9                            | 56,1             | 7,9              | NO <sub>3</sub> – 8,0 мг/л                                                |
| 19.    | Шахта       | 13                   | 7,3 | 46,0                         | 1056             | -                             | 317,2                         | 385,4                         | 145,3           | 159,3                           | 116,2            | 55,3             | NO <sub>3</sub> – 1,2 мг/л                                                |
| 20.    | Шахта       | 14                   | 7,4 | 11,0                         | 1250             | -                             | 283,7                         | 503,6                         | 138,2           | 143,4                           | 134,2            | 74,1             | NO <sub>3</sub> – 0,5 мг/л                                                |
| 21.    | Скважина 14 | 9                    | 7,5 | 78,5                         | 438              | -                             | 140,3                         | 216,3                         | 10,6            | 18,6                            | 86,1             | 24,3             |                                                                           |
| 22.    | Шахта       | 13                   | 7,9 | 28,0                         | 1842             | -                             |                               | 291,8                         | 850,9           | 537,3                           | 58,1             | 45,0             | NH <sub>4</sub> – 0,7 мг/л<br>Fe – 2,0 мг/л                               |
| 23.    | Скважина 15 | 10                   | 6,4 | 21,1                         | 617              | -                             | 30,5                          | 393,4                         | 7,1             | 19,8                            | 78,2             | 49,8             | NO <sub>3</sub> – 1,5 мг/л<br>NH <sub>4</sub> – 1,0 мг/л<br>Fe – 1,7 мг/л |
| 24.    | Скважина 16 | 8                    | 7,1 | 36,5                         | 295              | -                             | 36,6                          | 141,1                         | 26,6            | 18,8                            | 47,1             | 15,2             | NO <sub>3</sub> – 8,0 мг/л                                                |
| 25.    | Скважина 17 | 9                    | 7,6 | 15,4                         | 367              | -                             | 244,0                         | 1,0                           | 9,0             | 46,3                            | 35,3             | 6,0              |                                                                           |

### 4.3. Оценка качества питьевых вод

При оценке подземных вод для питьевого водоснабжения пользуются следующими нормативными документами: ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая», СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Согласно этим документам, питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Безопасность воды в эпидемическом отношении определяют ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 4.4.

**Таблица 4.4**

Микробиологические и паразитологические показатели качества воды

| Показатели                                   | Единицы измерения                            | Нормативы   |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------|
| Термотолерантные колиформные бактерии (ТТКБ) | число бактерий в 100 мл                      | отсутствие  |
| Общие колиформные бактерии (ОКБ)             | число бактерий в 100 мл                      | “-”-        |
| Общее микробное число (ОМЧ)                  | число образующих колоний бактерий в 1 мл     | не более 50 |
| Колифаги                                     | число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл | отсутствие  |
| Споры сульфитредуцирующих клостридий         | число спор в 20 мл                           | отсутствие  |
| Цисты лямблий                                | число цист в 50 л                            | отсутствие  |

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по:

- обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение (таблица 4.5);

- содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения (таблица 4.6);
- содержанию вредных химических веществ, поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека (приложение 2 СанПиНа 2.1.1074-01).

**Таблица 4.5**

Обобщенные показатели и содержания вредных химических веществ в  
природных водах

| Показатели                                           | Ед. изм. | Нормативы (предельно-допустимые концентрации (ПДК), не более | Показатель вредности* | Класс опасности |
|------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Обобщенные показатели                                |          |                                                              |                       |                 |
| Водородный показатель                                | Ед. рН   | в пределах 6-9                                               |                       |                 |
| Общая минерализация (сухой остаток)                  | мг/л     | 1000 (1500)**                                                |                       |                 |
| Жесткость общая                                      | мг-экв/л | 7,0 (10)**                                                   |                       |                 |
| Окисляемость перманганатная                          | мг/л     | 5,0                                                          |                       |                 |
| Нефтепродукты, суммарно                              | мг/л     | 0,1                                                          |                       |                 |
| Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные | мг/л     | 0,5                                                          |                       |                 |
| Фенольный индекс                                     | мг/л     | 0,25                                                         |                       |                 |
| Неорганические вещества                              |          |                                                              |                       |                 |
| Алюминий ( $Al^{3+}$ )                               | мг/л     | 0,5                                                          | с.-т.                 | 2               |
| Барий ( $Ba^{2+}$ )                                  | -“-      | 0,1                                                          | -“-                   | 2               |
| Бериллий ( $Be^{2+}$ )                               | -“-      | 0,0002                                                       | -“-                   | 1               |
| Бор (В, суммарно)                                    | -“-      | 0,5                                                          | -“-                   | 2               |
| Железо (Fe, суммарно)                                | -“-      | 0,3 (1,0)**                                                  | орг.                  | 3               |
| Кадмий (Cd суммарно)                                 | -“-      | 0,001                                                        | с.-т.                 | 2               |
| Марганец (Mn, суммарно)                              | -“-      | 0,1 (0,5)**                                                  | орг.                  | 3               |
| Медь (Cu, суммарно)                                  | -“-      | 1,0                                                          | -“-                   | 3               |
| Молибден (Mo, суммарно)                              | -“-      | 0,25                                                         | с.-т.                 | 2               |
| Мышьяк (As, суммарно)                                | -“-      | 0,05                                                         | -“-                   | 2               |
| Никель (Ni, суммарно)                                | -“-      | 0,1                                                          | -“-                   | 3               |
| Нитраты (по $NO_3^-$ )                               | -“-      | 45,0                                                         | -“-                   | 3               |
| Ртуть (Hg, суммарно)                                 | -“-      | 0,0005                                                       | -“-                   | 1               |
| Свинец (Pb, суммарно)                                | -“-      | 0,03                                                         | -“-                   | 2               |
| Селен (Se, суммарно)                                 | -“-      | 0,01                                                         | -“-                   | 2               |

Продолжение табл. 4.5.

| Показатели                      | Ед. изм. | Нормативы (предельно-допустимые концентрации (ПДК), не более | Показатель вредности* | Класс опасности |
|---------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Стронций ( $\text{Sr}^{2+}$ )   | -“-      | 7,0                                                          | -“-                   | 2               |
| Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) | -“-      | 500                                                          | орг.                  | 4               |
| для климатических районов       |          |                                                              |                       |                 |
| - I и II                        | -“-      | 1,5                                                          | с.-т.                 | 2               |
| - III                           | -“-      | 1,2                                                          | -“-                   | 2               |
| Хлориды ( $\text{Cl}^-$ )       | -“-      | 350                                                          | орг.                  | 4               |
| Хром ( $\text{Cr}^{6+}$ )       | -“-      | 0,05                                                         | с.-т.                 | 3               |
| Цианиды ( $\text{CN}^-$ )       | -“-      | 0,035                                                        | -“-                   | 2               |
| Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ )       | -“-      | 5,0                                                          | орг.                  | 3               |
| Органические вещества***        |          |                                                              |                       |                 |
| $\gamma$ -ГХЦГ (линдан)         | -“-      | 0,002                                                        | с.-т.                 | 1               |
| ДДТ (сумма изомеров)            | -“-      | 0,002                                                        | -“-                   | 2               |
| 2,4-Д                           | -“-      | 0,03                                                         | -“-                   | 2               |

Примечание: \* - лимитирующий признак вредности вещества, по которому установлен норматив: «с.-т.» - санитарно-токсикологический, «орг.» - органолептический; \*\* - величина, указанная в скобках, может быть установлено по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки; \*\*\* - нормативы приняты в соответствии с рекомендациями ВОЗ.

Таблица 4.6

Содержание вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения

| Показатели                                                     | Ед. изм. | Нормативы (предельно-допустимые концентрации (ПДК), не более | Показатель вредности | Класс опасности |
|----------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| Хлор                                                           |          |                                                              |                      |                 |
| - остаточный свободный                                         | мг/л     | в пределах 0,3-0,5                                           | орг.                 | 3               |
| - остаточный связанный                                         | -“-      | в пределах 0,8-1,2                                           | -“-                  | 3               |
| Хлороформ (при хлорировании воды)                              | -“-      | 0,2                                                          | с.-т.                | 2               |
| Озон остаточный                                                | -“-      | 0,3                                                          | орг.                 |                 |
| Формальдегид (при озонировании воды)                           | -“-      | 0,05                                                         | с.-т.                | 2               |
| Полиакриламид                                                  | -“-      | 2,0                                                          | -“-                  | 2               |
| Активированная кремнекислота (по Si)                           | -“-      | 10                                                           | -“-                  | 2               |
| Полифосфаты (по $\text{PO}_4^{3-}$ )                           | -“-      | 3,5                                                          | орг.                 | 3               |
| Остаточные количества алюминий- и железосодержащих коагулянтов | -“-      | см. показатели «Алюминий» и «Железо» таблицы 4.5             |                      |                 |

При обнаружении в питьевой воде нескольких химических веществ, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его ПДК не должна быть больше 1. Расчет ведется по формуле:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

Благоприятные органолептические свойства воды определяются ее соответствием нормативам, указанным в таблице 4.7, а также нормативам содержания веществ, оказывающих влияние на органолептические свойства воды, приведенным в табл. 4.5 и 4.6 и в Приложении 2 СанПиН 2.1.4.1074-01.

**Таблица 4.7**

Нормируемые значения показателей органолептических свойств воды

| Показатели | Единицы измерения                                         | Норматив, не более       |
|------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|
| Запах      | баллы                                                     | 2                        |
| Привкус    | -“-                                                       | 2                        |
| Цветность  | градусы                                                   | 20 (35)*                 |
| мутность   | ЕМФ (единицы мутности по формазину) или мг/л (по каолину) | 2,6 (3,5)*<br>1,5 (2,0)* |

Примечание: \* - величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной систему водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.

Не допускается присутствие в питьевой воде различных невооруженным глазом водных организмов и поверхностной пленки.

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей  $\alpha$  и  $\beta$ -активности, представленным в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Нормируемые показатели общей  $\alpha$  и  $\beta$ -активности питьевой воды

| Показатели                 | Единицы измерения | Нормативы | Показатель вредности |
|----------------------------|-------------------|-----------|----------------------|
| Общая $\alpha$ -активность | Бк/л              | 0,1       | радиац.              |
| Общая $\beta$ -активность  | Бк/л              | 1,0       | - « -                |

#### 4.4. Определение агрессивности природных вод

Подземные воды определенного состава могут оказывать разрушительное воздействие на различные строительные материалы, в том числе на бетонные сооружения и железные конструкции. Эта разрушительная способность воды получила название агрессивности. Различают следующие виды агрессивности воды: 1) углекислотная; 2) выщелачивающая; 3) общекислотная; 4) сульфатная; 5) магниальная; 6) кислородная.

1. **Углекислотная агрессивность** – состоит в разрушении бетона в результате растворения  $\text{CaCO}_3$  под действием агрессивность углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) и может быть выражена уравнением:



Этот процесс обратим и до конца не доходит, т. к. часть угольной кислоты остается после реакции в свободном состоянии. Это количество кислоты называется *равновесной углекислотой*. Та часть свободной углекислоты, которая вступает в реакцию с  $\text{CaCO}_3$  и переводит его в раствор, называется *агрессивной углекислотой*.

Если содержание свободной углекислоты в воде окажется меньше, чем необходимо для равновесия, то из воды будет выделяться  $\text{CaCO}_3$ , который тонкой коркой будет покрывать поверхность бетонной конструкции, защищая его от разрушения.

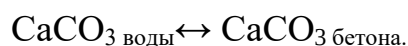
Если же содержание свободной углекислоты будет больше, чем необходимо для равновесия, то при соприкосновении такой воды с  $\text{CaCO}_3$

бетона будет происходить его растворение до тех пор, пока не наступит равновесие.

Таким образом, вода будет проявлять углекислотную агрессивность тогда, когда содержание в ней свободной углекислоты будет больше, чем необходимо для равновесия с твердым углекислым кальцием.

**2. Выщелачивающая агрессивность** – происходит за счет выщелачивания (растворения) карбоната кальция, вымывания из бетона гидрата окиси кальция.

Если вода, соприкасающаяся с карбонатом кальция, который тонкой коркой покрывает бетонные конструкции, имеет незначительную жесткость, тогда  $\text{CaCO}_3$  начинает переходить в раствор и защитная корка разрушается, причем этот процесс можно представить в виде равновесия:



Если концентрация карбоната кальция в воде будет незначительная, то часть карбоната кальция бетона переходит в раствор через гидрокарбонатную стадию –  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Поэтому выщелачивающая агрессивность воды оценивается гидрокарбонатной щелочностью, выражаемой количеством иона  $\text{HCO}_3$ .

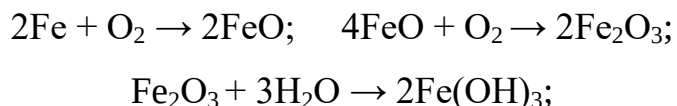
**3. Общекислотная агрессивность** воды объясняется повышенной концентрацией ионов водорода, выражаемой величиной pH.

**4. Сульфатная агрессивность** имеет место при большом содержании ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , в результате чего, в случае проникновения воды в тело бетона, при кристаллизации образуются соли, образование которых сопровождается резким увеличением объема ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , соль Деваля и др.), производящие вспучивание и разрушение бетона.

**5. Магнезиальная агрессивность** возникает при высоких содержаниях иона  $\text{Mg}^{2-}$ , предельно допустимое количество которого колеблется в зависимости от содержания  $\text{SO}_4$ .



**6. Кислородная агрессивность** вызывается содержащимся в воде растворенным кислородом и проявляется преимущественно по отношению к металлическим конструкциям, и в частности, к водопроводным трубам, в которых кислород образует ржавчину. Процесс окисления происходит по следующей схеме:



При совместном присутствии кислорода с углекислотой агрессивное действие первого повышается.

Степень агрессивности воздействия жидких неорганических сред на конструкции из бетона и железобетона приведены в табл. 4.9, 4.10 и 4.11.

Оценка степени агрессивного воздействия сред, указанных в таблице 4.9, дана по отношению к бетону на любом из цементов, отвечающих требованиям ГОСТ 10178-76 и ГОСТ 22266-76.

Степень агрессивного воздействия сред, указанных в таблицах 4.9 и 4.10, следует снижать на одну ступень для бетона массивных малоармированных конструкций (толщина свыше 0,5 м, процент армирования до 0,5).

Степень агрессивного воздействия сред, указанных в таблицах 4.9, 4.10 и 4.11, приведена для сооружений при величине напора жидкости до 0,1 МПа (1 атм).

Таблица 4.9

Степень агрессивности воздействия жидких неорганических сред по отношению к различным маркам бетона

| Показатель агрессивности                                                                                  | Показатель агрессивности жидкой среды (1) для сооружений, расположенных в грунтах с Кф свыше 0,1 м/сут, в открытом водоеме и для напорных сооружений при марке бетона по водопроницаемости: |                     |                      | Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на бетон |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                           | W4                                                                                                                                                                                          | W6                  | W8                   |                                                                       |
| Бикарбонатная щелочность, мг-экв/л *                                                                      | Св. 0 до 1,05                                                                                                                                                                               | -                   | -                    | Слабоагрессивная                                                      |
| Водородный показатель рН **                                                                               | Св. 5,0 до 6,5                                                                                                                                                                              | Св. 4,0 до 5,0      | Св. 3,5 до 4,0       | Слабоагрессивная                                                      |
|                                                                                                           | Св. 4,0 до 5,0                                                                                                                                                                              | Св. 3,5 до 4,0      | Св. 3,0 до 3,5       | Среднеагрессивная                                                     |
|                                                                                                           | Св. 0,0 до 4,0                                                                                                                                                                              | Св. 0,0 до 3,5      | Св. 0,0 до 3,0       | Сильноагрессивная                                                     |
| Содержание агрессивной углекислоты, мг/л                                                                  | Св. 10 до 40                                                                                                                                                                                | Св. 40 ***          | -                    | Слабоагрессивная                                                      |
|                                                                                                           | Св. 40 ***                                                                                                                                                                                  | -                   | -                    | Среднеагрессивная                                                     |
| Содержание магниевых солей, мг/л, в пересчете на ион Mg                                                   | Св. 1000 до 2000                                                                                                                                                                            | Св. 2000 до 3000    | Св. 3000 до 4000     | Слабоагрессивная                                                      |
|                                                                                                           | Св. 2000 до 3000                                                                                                                                                                            | Св. 3000 до 4000    | Св. 4000 до 5000     | Среднеагрессивная                                                     |
|                                                                                                           | Св. 3000                                                                                                                                                                                    | Св. 4000            | Св. 5000             | Сильноагрессивная                                                     |
| Содержание аммонийных солей, мг/л, в пересчете на ион NH <sub>4</sub>                                     | Св. 100 до 500                                                                                                                                                                              | Св. 500 до 800      | Св. 800 до 1000      | Слабоагрессивная                                                      |
|                                                                                                           | Св. 500 до 800                                                                                                                                                                              | Св. 800 до 1000     | Св. 1000 до 1500     | Среднеагрессивная                                                     |
|                                                                                                           | Св. 800                                                                                                                                                                                     | Св. 1000            | Св. 1500             | Сильноагрессивная                                                     |
| Содержание едких щелочей, мг/л, в пересчете на ионы Na и K                                                | Св. 50000 до 60000                                                                                                                                                                          | Св. 60000 до 80000  | Св. 80000 до 100000  | Слабоагрессивная                                                      |
|                                                                                                           | Св. 60000 до 80000                                                                                                                                                                          | Св. 80000 до 100000 | Св. 100000 до 150000 | Среднеагрессивная                                                     |
|                                                                                                           | Св. 80000                                                                                                                                                                                   | Св. 100000          | Св. 150000           | Сильноагрессивная                                                     |
| Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей, мг/л, при наличии испаряющих поверхностей | Св. 10000 до 20000                                                                                                                                                                          | Св. 20000 до 50000  | Св. 50000 до 60000   | Слабоагрессивная                                                      |
|                                                                                                           | Св. 20000 до 50000                                                                                                                                                                          | Св. 50000 до 60000  | Св. 60000 до 70000   | Среднеагрессивная                                                     |
|                                                                                                           | Св. 50000                                                                                                                                                                                   | Св. 60000           | Св. 70000            | Сильноагрессивная                                                     |

Примечание: при оценке степени агрессивного воздействия среды в условиях эксплуатации сооружений, расположенных в слабофильтрующих грунтах с Кф менее 0,1 м/сут, значения показателей данной таблицы должны быть умножены на 1,3.

\* При любом значении бикарбонатной щелочности среда не агрессивна по отношению к бетону с маркой по водонепроницаемости W6 и более, а также W 4 при коэффициенте фильтрации грунта ниже 0,1 м/сут. \*\* Оценка агрессивности воздействия среды по водородному показателю рН не распространяется на растворы органических кислот высоких концентраций и углекислоту. \*\*\* При превышении значений показателя агрессивности, указанных в таблице 5, степень агрессивного воздействия среды по данному показателю не возрастает.

Таблица 4.10

Степень агрессивности воздействия жидких неорганических сред по отношению к бетону на любом типе цемента

| Цемент                                                                                                                                     | Показатель агрессивности жидкой среды (1) с содержанием сульфатов в пересчете на ионы $\text{SO}_4$ , мг/л, для сооружений, расположенных в грунтах с $K_f$ выше 0,1 м/сут, в открытом водоеме и для напорных сооружений при содержании ионов $\text{HCO}_3$ , мг/экв/л |                                                  |                                                  | Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на бетон марки по водонепроницаемости W4 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                            | Св. 0 до 0,3                                                                                                                                                                                                                                                            | Св. 3,0 до 6,0                                   | Св. 6,0                                          |                                                                                                       |
| Портландцемент по ГОСТ 10178-76                                                                                                            | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000                                                                                                                                                                                                                        | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000 | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000 | Слабоагрессивная<br>Среднеагрессивная<br>Сильноагрессивная                                            |
| Портландцемент по ГОСТ 10178-76 с содержанием в клинкере C3S не более 65 %, C3A не более 7 %, C3A+C4AF не более 22 % и шлакопортландцемент | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000                                                                                                                                                                                                                        | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000 | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000 | Слабоагрессивная<br>Среднеагрессивная<br>Сильноагрессивная                                            |
| Сульфатостойкие цементы по ГОСТ 22266-76                                                                                                   | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000                                                                                                                                                                                                                        | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000 | Св. 1000 до 2000<br>Св. 2000 до 3000<br>Св. 3000 | Слабоагрессивная<br>Среднеагрессивная<br>Сильноагрессивная                                            |

Примечание При оценке степени агрессивного воздействия среды в условиях эксплуатации сооружений, расположенных в слабо фильтрующих грунтах с  $K_f$  менее 0,1 м/сут, значения показателей данной таблицы должны быть умножены на 1,3.\* При оценке степени агрессивного воздействия на бетон марки по водонепроницаемости W6 показатели следует умножать на 1,3, для бетона марки по водонепроницаемости W8 – на 1,7.

Таблица 4.11

Степень агрессивности воздействия жидких неорганических сред на железобетонные конструкции

| Содержание хлоридов в пересчете на Cl, мг/л | Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на арматуру железобетонных конструкций |                                                            |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                                             | при постоянном погружении                                                                           | при периодическом смачивании                               |
| До 500<br>Св. 500 до 5000<br>Св. 5000       | Неагрессивная<br>“<br>Слабоагрессивная                                                              | Слабоагрессивная<br>Среднеагрессивная<br>Сильноагрессивная |

Примечание: 1. Понятие периодического смачивания охватывает зоны переменного горизонта жидкой среды и капиллярного подсоса. 2. При одновременном содержании в жидкой среде хлоридов и сульфатов количество сульфатов пересчитывается на содержание хлоридов умножением на 0,25 и суммируется с содержанием хлоридов. 3. Коррозионная стойкость конструкций, подвергающихся действию морской воды средней и сильной степени агрессивности, должна обеспечиваться первичной защитой.

## **4.5. Обобщенные показатели качества подземных вод**

### **4.5.1. Цветность**

Подземные воды обычно бесцветны. Окраску от слабо-желтой до бурой придают гуминовые и фульвокислоты, а также их растворимые соли, в первую очередь, гуматы и фульваты окисного железа. Зеленоватую или красноватую окраску имеют воды, обогащенные соответствующими микроорганизмами, например, водорослями, зеленовато-голубую – закисным железом или сероводородом. Цветность незагрязненных природных вод обусловлена, главным образом, присутствием гумусовых веществ и комплексных соединений трехвалентного железа. Различают «истинный» цвет, обусловленный только растворимыми веществами и «кажущийся» цвет, вызванный присутствием в воде не только растворенных, но и взвешенных частиц. В связи с этим цвет обычно определяют в фильтрованной пробе воды. Определение цветности производится через 2-3 часа после отбора пробы, поскольку при длительном стоянии окраска воды изменяется в результате микробиологических процессов.

Цветность воды обычно определяют визуально или сравнением с искусственными стандартными растворами хлоритината калия и хлорида кобальта или заменяющим его стандартным раствором бихромита калия и сульфата кобальта.

Количественное определение цветности воды основано на сравнении (при просмотре на белом фоне) цвета анализируемой воды со стандартной окраской, создаваемой в растворе. Результаты выражают в градусах цветности. Градус цветности соответствует окраске раствора, содержащего 0,1 мг Pt в 1 мл. Определение производят с помощью шкалы стандартов и колориметрическим титрованием.

При совпадении окрасок цветность воды определяется градусом данного стандартного раствора шкалы. При промежуточной окраске воды (между 2-мя

стандартными растворами шкалы) находят величину цветности воды интерполяцией. Следует избегать переливания стандартного раствора шкалы из одной пробирки в другую.

Определение цветности производят в прозрачной воде. Если вода непрозрачна, ее фильтруют. Для этого берут стеклянную воронку, устанавливают ее в стакан с помощью стеклянного держателя, в воронку кладут фильтр из фильтровальной бумаги, который перед тем, как наливать фильтруемый раствор, слегка смачивают дистиллированной водой. Фильтр следует укладывать в воронку таким образом, чтобы край его не доходил до края воронки на 3-5 мм. После этого осторожно, не взмучивая осадок, сливают на фильтр отстоявшуюся жидкость. Удобнее всего это делать при помощи стеклянной палочки. Прозрачный раствор наливают в пробирку до метки, ставят на белую бумагу и, глядя сверху, определяют цветность воды. Цветность воды характеризуется следующим образом: бесцветная, зеленоватая, желтая, бурая и т. п. Количественное определение цветности воды производят путем сравнения (при просмотре на белом фоне) исследуемой воды, налитой в пробирку из бесцветного стекла со стандартным раствором, налитым в такую же по форме и размерам пробирку. На пробирке указаны градусы цветности, соответствующие различной концентрации стандартного раствора.

#### Задание:

1. Визуально определить цветность: бесцветная, зеленоватая, желтая и т. п.
2. Количественно определить цветность воды в градусах.

### **4.5.2. Прозрачность**

Прозрачность или светопропускание воды обусловлена ее цветом и мутностью, т. е. содержанием в ней различных окрашенных и взвешенных органических и минеральных веществ. Мерой прозрачности служит высота столба воды, при котором можно наблюдать опускаемую в водоем белую

пластину определенных размеров или различать на белой бумаге шрифт определенного размера и типа. Измерение прозрачности с помощью шрифта проводят в лабораторных условиях. Результаты указывают в сантиметрах, отмечая способ измерений.

Ориентировочное определение прозрачности производят в пробирке или стеклянном цилиндре, в котором налито 10 мл исследуемой воды.

В зависимости от степени прозрачности условно различают воды: прозрачные, слабоопалесцирующие, опалесцирующие, слегка мутные, мутные, сильно мутные.

Исследуемую воду перед определением хорошо взбалтывают и наливают в цилиндр. Затем ставят цилиндр неподвижно. Добавляя или отливая воду из цилиндра, находят предельную высоту столба воды, при которой возможно чтение шрифта. Определение производят в хорошо освещенном помещении на расстоянии 1 м от окна, не на прямом свете. Прозрачность воды выражают в сантиметрах высоты столба с точностью до 0,5 см.

#### Задание:

1. Определить степень прозрачности воды.
2. Количественно определить прозрачность воды.

### **4.5.3. Плотность**

Учет плотности воды необходим при расчетах загрязнения подземных вод. При миграции в водоносном горизонте растворов, плотность которых заметно отличается от плотности пластовой воды (например, минерализованные стоки), происходит гравитационная дифференциация. Чаще всего загрязненные воды имеют повышенную плотность. Плотность воды определяется ее минерализацией. Плотность дистиллированной воды равна единице.

Пикнометр, хорошо вымытый дистиллированной водой, а затем

сполоснутый спиртом, высушивают в термостате, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на точных аналитических весах. Затем пикнометр наполняют дистиллированной водой несколько выше метки и выдерживают 20-25 мин. в стакане с водой, температура которой должна быть постоянной. Образовавшиеся на стенках пикнометра пузырьки воздуха удаляют осторожным встряхиванием, после чего, не вынимая пикнометра из стакана с водой, доводят воду в пикнометре до метки. Отбирая избыток ее жгутиками из фильтровальной бумаги.

Пикнометр вынимают из стакана, закрывают пробкой, тщательно обтирают снаружи фильтровальной бумагой, помещают в футляр весов и через 20 мин. взвешивают. Этот же пикнометр после удаления из него дистиллированной воды спаласкивают несколько раз испытуемой водой и наполняют ею при той же температуре, при которой его наполняли дистиллированной водой. Затем выполняют все описанные выше операции для установления веса исследуемой воды.

Расчет удельного веса исследуемой воды производится по формуле

$$\frac{(P_1 - P) + A \cdot \gamma}{(P_2 - P) + A \cdot \gamma}$$

где  $P_1$  – исследуемая вода;

$P_2$  – дистиллированная вода;

$P$  - вес пустого пикнометра;

$A$  - объем пикнометра;

$\gamma$  - 0,0012.

Удельный вес дает возможность судить о примерной минерализации воды по справочной таблице 4.12.

**Таблица 4.12**

Зависимость между предельным весом воды и ее примерной минерализацией

| Уд. вес<br>при<br>15°C | Примерная<br>минерализация,<br>г/100 г | Уд. вес при<br>15°C | Примерная<br>минерализация,<br>г/100 г | Уд. вес<br>при 15°C | Примерная<br>минерализация,<br>г/100 г |
|------------------------|----------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|
| 1,001                  | 0,2                                    | 1,037               | 5,2                                    | 1,091               | 12,0                                   |
| 1,002                  | 0,4                                    | 1,040               | 5,5                                    | 1,095               | 12,5                                   |
| 1,003                  | 0,6                                    | 1,042               | 5,7                                    | 1,099               | 13,0                                   |
| 1,005                  | 0,8                                    | 1,043               | 6,0                                    | 1,107               | 14,0                                   |
| 1,007                  | 1,0                                    | 1,046               | 6,2                                    | 1,116               | 15,0                                   |
| 1,008                  | 1,2                                    | 1,048               | 6,4                                    | 1,125               | 16,0                                   |
| 1,010                  | 1,5                                    | 1,049               | 6,6                                    | 1,134               | 17,0                                   |
| 1,012                  | 1,7                                    | 1,051               | 7,0                                    | 1,143               | 18,0                                   |
| 1,014                  | 2,0                                    | 1,053               | 7,2                                    | 1,152               | 19,0                                   |
| 1,016                  | 2,2                                    | 1,055               | 7,4                                    | 1,161               | 20,0                                   |
| 1,018                  | 2,5                                    | 1,056               | 7,6                                    | 1,170               | 21,0                                   |
| 1,020                  | 2,7                                    | 1,058               | 7,8                                    | 1,180               | 22,0                                   |
| 1,021                  | 3,0                                    | 1,059               | 8,0                                    | 1,190               | 23,0                                   |
| 1,023                  | 3,2                                    | 1,063               | 8,5                                    | 1,200               | 24,0                                   |
| 1,025                  | 3,5                                    | 1,067               | 9,0                                    | 1,210               | 25,0                                   |
| 1,027                  | 3,7                                    | 1,071               | 9,5                                    | 1,220               | 26,0                                   |
| 1,029                  | 4,0                                    | 1,074               | 10,0                                   | 1,230               | 27,0                                   |
| 1,030                  | 4,2                                    | 1,079               | 10,5                                   | 1,241               | 28,0                                   |
| 1,032                  | 4,5                                    | 1,083               | 11,0                                   | 1,252               | 29,0                                   |
| 1,033                  | 4,7                                    | 1,087               | 11,5                                   | 1,262               | 30,0                                   |
| 1,036                  | 5,0                                    |                     |                                        |                     |                                        |

Задание:

1. Определить плотность растворов воды.
2. Определить минерализацию воды по плотности.

#### 4.5.4. Водородный показатель

Водный показатель (рН) дает представление об общем щелочно-кислотном состоянии воды и является одной из ее важнейших интегральных характеристик и значение этого явления для химии природных вод трудно переоценить. От щелочно-кислотного состояния воды зависят многие гидрогеологические процессы: осаждение, растворение, миграционная способность, характер микрофлоры и т. д.

Водный показатель представляет собой десятичный логарифм



концентрации водородных ионов, взятый с обратным знаком:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+].$$

Эта величина позволяет судить о формах нахождения в природных водах слабых кислот: угольной, кремневой, сероводородной, а также дает возможность судить о насыщенности воды слабыми основаниями и служит для контроля аналитических определений.

Вода диссоциирует по уравнению:



На основании закона действия масс состояние равновесия реакции диссоциации воды может быть выражено уравнением:

$$K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]},$$

где  $K$  - константа диссоциации воды, зависящая от температуры;

$[\text{H}^+]$  - концентрация ионов водорода;

$[\text{OH}^-]$  – концентрация ионов гидроксила;

$[\text{H}_2\text{O}]$  – концентрация ионов недиссоциированных ионов воды.

Под концентрацией водородных и гидроксильных ионов понимается содержание грамм-молей  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$  в одном литре раствора. Если реакция водного раствора нейтральна, то концентрация водородных и гидроксильных ионов одинакова и равна  $10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup>, т. е. для нейтральной среды  $\text{pH} = 7,0$ .

При большей концентрации водородных ионов, т. е. при  $\text{pH} < 7$ , вода будет иметь кислую реакцию и соответственно при меньшей – щелочную ( $\text{pH} > 7$ ).

Обычные величины  $\text{pH}$  составляют: для грунтовых вод – 6,4 - 7,5; для артезианских – 7,3 - 8,5. Питьевая вода должна иметь  $\text{pH}$  в пределах 6,0 - 9,0.

Более низкое значение  $\text{pH}$  5,0 - 5,5 могут иметь ультрапресные подземные воды, высокоминерализованные и некоторые углекислые минеральные воды. Еще более низкое значение  $\text{pH}$  4,0 - 4,5 наблюдается иногда у болотных

вод. Сильно кислыми свойствами рН 1 - 4 обладают только шахтные (рудничные) воды, кислотность которых обусловлена наличием свободной серной кислоты, образующейся в результате окисления сульфидных рудных месторождений и природной серы.

Щелочной характер (рН до 9) могут иметь воды открытых пресных водоемов в летний период (в результате потребления  $\text{CO}_2$  водной растительностью при фотосинтезе), еще более высокое значение рН 9 - 10 встречается в содовых озерах и в водах некоторых термальных источников.

На величину рН природной воды также оказывает влияние различные кислоты и щелочи, которые могут попасть в водоем вместе с промышленными сточными водами.

Определение рН производится либо колориметрическим, либо электрометрическим методами. Каждый из методов имеет свои достоинства. Электрометрический более точен. Он позволяет производить измерение с погрешностью 0,05-0,02 единицы рН. При использовании стеклянного электрода в качестве индикаторного на определение не оказывает существенного влияния присутствие в исследуемой воде измеренных количеств окрашенных и взвешенных веществ. Колориметрические методы менее точны, погрешность их составляет 0,1 единицы рН, но они более просты и не требуют специальной аппаратуры.

Электрометрический метод основан на измерении разности потенциалов, возникающих на границах между внешней поверхностью стеклянной мембраны электрода иономера ЭН-12 и исследуемым раствором, с одной стороны, и внутренней поверхностью мембраны и стандартным раствором кислоты – с другой. Так как внутренний стандартный раствор стеклянного электрода имеет постоянную активность ионов водорода, потенциал на внутренней поверхности мембраны не изменяется и измеряется разность потенциалов, определяемая потенциалом, возникающим на границе внешней поверхности электрода и

исследуемого раствора.

Измерения производят относительно потенциала другого электрода, называемого электродом сравнения. В качестве последнего выбирают такой электрод, потенциал которого практически не зависит от активности ионов водорода, например, в нашем случае, хлорсеребряный электрод. Если стеклянный электрод загрязнен и потенциал его поэтому устанавливается медленно, его необходимо вымыть раствором моющего средства с помощью мягкого ватного тампона и затем несколько раз ополоснуть дистиллированной водой.

На результаты измерений, особенно при анализе загрязненных вод могут оказывать влияние такие вещества, как жиры, минеральные масла, смолы и другие, которые, оседая на поверхности электрода, загрязняют ее. При работе с такими водами электроды необходимо промывать диэтиловым эфиром, раствором какого-либо моющего средства и после этого несколько раз дистиллированной водой.

Методика эксперимента.

Включают рН-метр и после прогрева и установки «электрического нуля» проверяют и корректируют его шкалу по 2-3-м буферным растворам.

После проверки и коррекции шкалы прибора, исследуемую воду наливают в стакан и измеряют рН следующим образом: в стакан с исследуемой водой помещают стеклянный электрод (так, чтобы раствор покрывал шарик стеклянного электрода) и хлорсеребряный. Последний устанавливают так, чтобы нижний его конец был ниже шарика стеклянного электрода и предохранял его от механических повреждений. В стакан также помещают термокомпенсатор. К измерению рН приступают убедившись, что на поверхности шарика стеклянного электрода нет пузырьков воздуха. Измерив величину рН исследуемого раствора, записывают его значение и, спустя 2-3 мин, повторяют измерение. Если оба значения рН совпадают, то потенциал

электрода считают установившимся. Затем аналогичные операции проводят со 2-м, 3-м и т. д. растворами, предварительно 2-3 раза ополоснув электроды и термометр дистиллированной водой и сняв капли ее кусочками чистой фильтровальной бумаги. стакан обычно используют другой (чистый) или тот же, тщательно вымыв его дистиллированной водой и ополоснув небольшим количеством нового раствора. Измерения повторяют 2-3 раза с интервалами 2-3 мин.

Задание:

Определить рН талой и питьевой воды, а также сточных вод электрометрическим методом. Результаты занести в таблицу.

#### **4.5.5. Окислительно-восстановительный потенциал**

В процессах разрушения оруденений, переноса природными водами отдельных элементов и солей, осаждения их с образованием вторичных скоплений существенную, а иногда и решающую роль играют физико-химические условия природной среды. Оценка этих условий очень важна для познания миграционных процессов как при геохимических исследованиях, так и при поисковых и разведочных работах.

Одним из важных факторов, определяющих физико-химические условия среды, является ее окислительно-восстановительное состояние, которое обусловлено наличием в природных водах соединений с переменной валентностью. Источником этих соединений служат минеральные соли, газы и некоторые органические вещества. Совокупность разновалентных ионов и нейтральных молекул одного и того же элемента является отдельной окислительно-восстановительной системой. Совместное существование таких систем в природных водах приводит к установлению некоторого подвижного равновесного состояния, которое и обуславливает окислительно-восстановительное состояние воды. Количественно оно измеряется в вольтах

или милливольтмах и носит название окислительно-восстановительного потенциала (Eh).

Величина окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) позволяет судить о состоянии каждой окислительно-восстановительной системы в природной воде.

Сведения о состоянии среды важны потому, что вещества, находящиеся в разных формах валентности, обладают разными физико-химическими свойствами, а следовательно, миграционными способностями.

При гидрохимических исследованиях очень важно уметь определять ОВП и оценить условия, благоприятствующие проявлению высшей и низшей валентности отдельных систем.

ОВП каждой системы зависит от свойства составляющего эту систему элемента, от соотношения концентрации ионов этого элемента, находящихся в окислительной и восстановительной форме, от температуры раствора и от значения pH.

ОВП определяется по уравнению Нернста:

$$Eh = Eh^0 + \frac{0.0001983 \cdot T}{n} \cdot \lg \frac{a_{\text{окис.}}}{a_{\text{восст.}}}$$

где  $Eh^0$  – нормальный окислительно-восстановительный потенциал;

$n$  - число электронов, участвующих в реакции;

$T$  - абсолютная температура системы;

$a_{\text{окис.}}$  и  $a_{\text{восст.}}$  – термодинамические активности окисленной и восстановленной форм.

Для  $t = 25^\circ\text{C}$  уравнение Нернста имеет следующий вид:

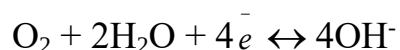
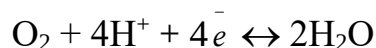
$$Eh = Eh^0 + \frac{0,059}{n} \cdot \lg \frac{a_{\text{окис.}}}{a_{\text{восст.}}}$$

Например, для системы  $\text{Fe}^{3+} + e^- \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ ,  $Eh^0 = +0,771$  (справочное значение):

$$Eh = 0,771 + 0,059 \cdot \lg \frac{a_{\text{Fe}^{3+}}}{a_{\text{Fe}^{2+}}}$$

Основными потенциалзадающими системами подземных вод являются системы кислорода, серы, в меньшей степени железа, азота, органических веществ.

Например, кислород, входя в состав воды, образует окислительно-восстановительную систему, которая в зависимости от pH может быть выражена уравнениями:



Значение Eh при содержаниях  $\text{O}_2$  выше 7 мг/л находятся в пределах от +350 до +700 мВ. При меньших содержаниях  $\text{O}_2$  Eh быстро снижается, оставаясь все же положительным.

Сера занимает особое положение в геохимических процессах и обладает способностью менять валентность от  $\text{S}^{2-}$  до  $\text{S}^{6+}$  образуют ряд промежуточных форм. В природных условиях сера устойчива; в восстановительной форме –  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ; в молекулярной форме –  $\text{S}_2$ ; в окисленной форме –  $\text{SO}_4^{2-}$ .

В природных водах обратимой потенциалзадающей системой часто является  $\text{S}_{\text{mb}} + 2e^- \leftrightarrow \text{S}^{2-}$  (в зависимости от значения pH среды ионы  $\text{S}^{2-}$  подвергаются гидролизу с образованием  $\text{HS}^-$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ).

Наличие сероводорода выше 5-10 мг/л указывает на низкий (ниже – 100 мВ) ОВП.

Железо является наиболее распространенным элементом в породах и природных водах. Поэтому система  $\text{Fe}^{3+} + e^- \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$  является важной потенциалзадающей системой и ОВП зависит от значения pH среды, резко

снижаясь при повышении рН. Железо (десятки мг/л) при  $pH > 5$  находится в водах в виде двухвалентного иона, что свидетельствует о восстановительных условиях.

Органические вещества – их роль как потенциалзадающих веществ очень велика. Многие из органических веществ в природных водах обладают восстановительными свойствами.

Значение ОВП подземных вод изменяется в широком диапазоне от +0,7 до –0,3 В. Поверхностные и грунтовые воды – от +0,15 до +0,7 В. Подземные воды глубоких частей артезианских бассейнов – от 0 до –0,5 В; от –0,6 до –0,7 в сильнощелочных рассолах в гипсах. Величины ОВП обычно уменьшаются с глубиной, но в некоторых условиях (участки разгрузки, болота) отрицательные значения ОВП наблюдаются и на дневной поверхности.

Большое распространение получили Eh – pH диаграммы, которые позволяют судить о возможных равновесиях и миграционных формах (рис. 4.3).

Экспериментальное определение абсолютного потенциала системы представляет пока невыполнимую задачу, но поскольку всякой химической реакции соответствует всегда разность потенциалов 2-х систем, то значение абсолютных значений потенциалов не требуется. Условно принимают потенциал одной системы равным нулю и используют эту систему в качестве стандартной для выражения потенциалов отдельных систем. Поэтому всегда измеряют разность потенциалов. Стандартом служит реакция  $H_2 = 2H^+ + 2e^-$ . Окислительный потенциал этой реакции при  $a_{H^+}$  и  $p_{H_2}$ , равный единице, условно принимают равным нулю. Соответственно, электродом сравнения, потенциал которого принимают равным нулю, является электродный водород (платина в растворе кислоты, насыщенном водородом при активности ионов  $H^+$ , равной единице и давлении водорода 0,1 МПа). Но для удобства работы в качестве электрода сравнения может быть использован любой другой электрод, потенциал которого по отношению к водородному электроду известен.

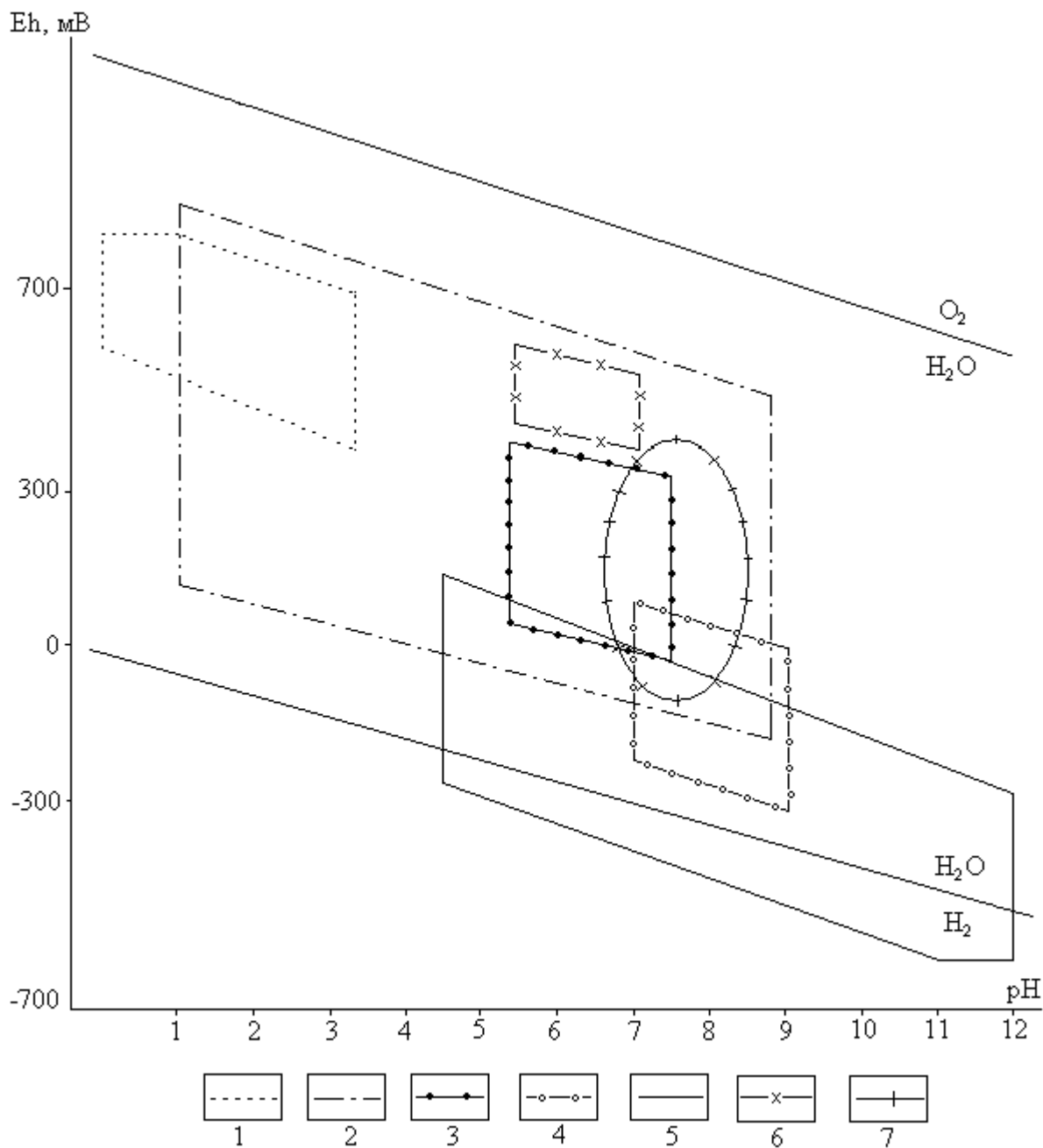


Рис. 4.3. Положение различных типов природных вод на Eh – pH диаграмме  
 Подземные воды: 1 – кислые термальные, районов современного магнетизма; 2 – грунтовые, в том числе воды зон окисления ( $pH < 4$ ) и цементации ( $pH > 6$ ) сульфидных месторождений; 3, 4 – минеральные (3 – углекислые, 4 – азотные термальные); 5 – рассолы артезианских бассейнов, атмосферные; 6 – дождевые. Поверхностные воды: 7 – морские, океанические.



В практике гидрохимических исследований обычно применяют хлорсеребряный электрод. При использовании этого электрода к разности потенциалов добавляют потенциал при 20°C, равный +200 мВ. Поэтому  $E_h$  реальных подземных вод равен эдс, возникающей в системе (показания индикаторного электрода), плюс 200 мВ.

В качестве индикаторных электродов употребляют платиновые или платинированные электроды, представляющие собой тонкий слой платины на какой-либо инертной поверхности (стекло, кварц, фарфор).

Воспроизводимые результаты определения  $E_h$  подземных вод при наличии в этих водах обратимых систем веществ с переменной валентностью при их содержании более  $1 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

Техника измерения окислительно-восстановительного потенциала на приборе ЭН-12 не отличается от измерения рН среды.

Задание:

Измерить окислительно-восстановительный потенциал растворов. По графику (рис. 4.3) определить тип исследуемой воды.

## **5. Построение и анализ карт гидроизогипс**

Грунтовые воды - подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, залегающего на первом выдержанном водоупорном пласте.

Форма поверхности грунтовых вод определяется водопроницаемостью пород, условиями питания водоносного горизонта, конфигурацией берегов рек, к которым стекают грунтовые воды, понижением водоупора, мощностью водоносного пласта и т. д.

О форме их поверхности можно судить по карте изогипс.

**Гидроизогипсами** называют линии, соединяющие точки одинаковой абсолютной высоты поверхности грунтовых вод, или иначе - это линии - горизонтали зеркала грунтовых вод.

Для построения карты изогипс пользуются данными замеров глубин залегания уровней грунтовых вод в скважинах, шурфах, колодцах, горных выработках, отметками источников, сведениями водомерных постов на поверхностных водоемах.

Так как уровень грунтовых вод постоянно изменяется под влиянием различных природных и искусственных факторов, все данные, используемые при построении карт изогипс, должны быть взяты на одну дату, т. е. получены по одновременным замерам всех точек наблюдения, поэтому карты изогипс всегда датируются.

Карты изогипс составляют в масштабах от 1:10000 до 1:200000 в зависимости от характера и стадии гидрогеологических исследований. Сечение гидроизогипс выбирают в зависимости от принятого масштаба карты, пустоты пунктов наблюдений за уровнем грунтовых вод, уклона их поверхности. Обычно берут сечения 0,5, 1, 2, 5 и более м.

Глубина залегания грунтовых вод в каждой точке замера пересчитывается на абсолютные или относительные отметки:

$$H_B = H_3 - h,$$

где  $H_B$  - абсолютная отметка уровня грунтовых вод;

$H_3$  - абсолютная отметка поверхности земли;

$h$  - глубина залегания подземных вод.

Вычисленные отметки уровня грунтовых вод наносятся на топографическую основу и методом интерполяции строят изогипсы.

Наиболее удобно интерполировать отметки по способу треугольников: все точки, по которым производятся замеры, соединяют линиями, образующими треугольники. При интерполяции этим методом должны

соблюдаться следующие правила:

Линии, образующие треугольники, необходимо проводить так, чтобы длинная сторона была перпендикулярна к направлению падения потока.

Нельзя интерполировать точки, расположенные по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов. При наличии таких водотоков определять отметки урезов рек по водомерным постам и использовать их при интерполяции как точки выхода грунтовых вод на урезе реки (предварительно должен быть проанализирован характер дренирования грунтовых вод).

Не следует проводить интерполяцию между грунтами скважин, расположенных далеко друг от друга. Лучше проводить интерполяцию для каждой группы скважин отдельно, иначе можно исказить действительную форму поверхности грунтового потока.

При интерполяции удобно пользоваться палеткой на кальке в виде масштабной сетки, состоящей из системы параллельных линий, проведенных на расстоянии 2 - 5 мм. С помощью масштабной сетки пропорционально делят отрезки, соединяющие точки, отметки уровня которых подлежат интерполяции. После интерполяции соединяют точки с одинаковыми отметками; эти кривые и будут гидроизогипсами.

Необходимо отметить, что грунтовый поток обычно разбивается реками и поверхностными водоемами на отдельные, более мелкие потоки. Поэтому не следует интерполировать точки, расположенные по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов. При наличии таких водотоков необходимо определять отметки урезов рек по водомерным постам и использовать их при интерполяции как точки выхода грунтовых вод на урезе реки.

Кроме карт гидроизогипс для целей проектирования и строительства могут составляться карты глубин залегания поверхности грунтовых вод, или карты гидроизобат. **Гидроизобатами** называют линии, соединяющие точки с

одинаковыми глубинами залегания грунтовых вод. Карты гидроизобат, так же как и гидроизогипс, строят методом интерполяции глубин залегания уровня грунтовых вод.

Чаще всего для решения различных практических задач, карты гидроизогипс и гидроизобат составляют на одной и той же топографической основе.

Анализ карт гидроизогипс позволяют составить краткую гидрогеохимическую характеристику участка. По карте гидроизогипс можно определить:

- Направление движения грунтовых вод на заданном участке.
- Глубину залегания грунтовых вод в любой точке или на любом участке.
- Уклон грунтового потока.
- Характер взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными.
- Условия питания и разгрузки подземных вод.

Направление движения грунтовых вод определяется по нормам к 2-м смежным гидроизогипсам. Движение воды направлено от более высоких отметок уровня к более низким.

Глубину залегания грунтовых вод в любом заданном пункте определяют по разности отметок горизонтами рельефа и гидроизогипсы.

Уклон потока подземных вод ( $J$ ) определяется для любого заданного участка карты делением сечения карты гидроизогипс на кратчайшие расстояния между двумя гидроизогипсами, взятые в масштабе карты:

$$J = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – отметки уровня грунтовых вод в двух точках;

$L$  – расстояние между этими точками в масштабе карты.

Для определения уклона грунтового потока выбирается участка с

наиболее равномерным и прямолинейным распределением гидроизогипс.

Связь грунтовых вод с поверхностными определяется по характеру сопряжения гидроизогипс с водоемами; если грунтовый поток направлен к реке, то он дренируется ею, если потоку грунтовых вод направлен от реки – река дренируется грунтовыми водами.

По соотношению и характеру изменения гидроизогипс могут быть выделены водоразделы подземных вод, участки их питания и разгрузки.

Участки замкнутых гидроизогипс с высокими отметками указывают на положение водоразделов грунтовых вод, где условия питания наиболее благоприятны.

Зоны с нулевой глубиной до воды указывают на участки выхода подземных вод на поверхность земли.

Задание. Построить карту гидроизогипс на топографической основе заданного масштаба, используя данные таблицы 5.1.

Абсолютная отметка горизонта реки (по водомерному посту) = 22,0 м.  
Уклон реки на всем участке равномерный  $J=0,0004$  (0,4 м на 1 км).

Необходимо:

1. Пользуясь приведенными данными по буровым скважинам, шурфам, колодцам, источникам и водомерному посту на реке – провести на карте гидроизогипсы через 1 м.
2. Определить направление движения подземных вод, показать его стрелками на карте, на характерных участках определить гидравлический уклон потока.
3. Определить по карте, на какой глубине можно встретить подземные воды, выделить зоны с различной глубиной (до 1 м, 1-3 м, 3-6 м, 6 м).
4. Охарактеризовать условия питания и разгрузки подземных вод.
5. Определить характер взаимосвязи реки и подземных вод, выявить влияние оврагов на поверхность подземных вод.

Таблица 5.1

## Данные для построения карты гидроизогипс

| № на карте | Пункт замера           | Абсолютная отметка земли в метрах | Глубина от поверхности земли, м |
|------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1          | Буровая скважина       | 35,0                              | 5,2                             |
| 2          | -“-                    | 27,5                              | 1,5                             |
| 3          | Шурф                   | 23,9                              | 1,0                             |
| 4          | Буровая скважина       | 27,0                              | 2,2                             |
| 5          | Шурф                   | 25,2                              | 1,2                             |
| 6          | Буровая скважина       | 31,1                              | 4,8                             |
| 7          | -“-                    | 32,3                              | 4,7                             |
| 8          | -“-                    | 34,9                              | 5,5                             |
| 9          | -“-                    | 32,5                              | 6,2                             |
| 10         | -“-                    | 26,0                              | 2,0                             |
| 11         | Колодец                | 23,5                              | 1,0                             |
| 12         | Буровая скважина       | 34,0                              | 5,0                             |
| 13         | -“-                    | 37,0                              | 6,5                             |
| 14         | -“-                    | 35,1                              | 6,3                             |
| 15         | -“-                    | 31,2                              | 5,0                             |
| 16         | Шурф                   | 21,8                              | 0,8                             |
| 17         | -“-                    | 21,7                              | 0,8                             |
| 18         | Буровая скважина       | 34,7                              | 6,5                             |
| 19         | -“-                    | 31,8                              | 5,4                             |
| 20         | -“-                    | 28,0                              | 3,2                             |
| 21         | Шурф                   | 20,1                              | 1,0                             |
| 22         | Буровая скважина       | 29,5                              | 3,5                             |
| 23         | -“-                    | 25,4                              | 1,4                             |
| 24         | Колодец                | 21,9                              | 0,4                             |
| 25         | -“-                    | 21,2                              | 1,1                             |
| 26         | Шурф                   | 18,9                              | 0,2                             |
| 27         | Колодец                | 21,2                              | 0,7                             |
| 28         | Шурф                   | 23,8                              | 1,6                             |
| 29         | -“-                    | 26,4                              | 2,2                             |
| 30         | Буровая скважина       | 33,0                              | 5,2                             |
| 31         | -“-                    | 34,9                              | 6,2                             |
| 32         | Источник               | 24,0                              | -                               |
| 33         | Источник в обрыве реки | 25,5                              | -                               |
| 34         | Источник               | 26,0                              | -                               |
| 35         | Буровая скважина       | 25,8                              | 0,9                             |
| 36         | -“-                    | 24,0                              | 0,3                             |

## 6. Построение и анализ карт гидроизопьез

Подземные воды, залегающие между двумя водоупорами и обладающие напором, называют *артезианскими*. Они заполняют водоносный пласт на всю его мощность. При вскрытии таких водоносных пластов буровыми скважинами уровень воды в них поднимается выше кровли водоносного пласта. Этот уровень называется *напорным* или *пьезометрическим*. Иногда уровень воды в скважинах, вскрывших водоносный пласт, поднимается выше поверхности земли, и вода из них изливается на поверхность.

Распределение пьезометрических уровней на площади распространения артезианских вод определяется соотношением их отметок в области питания и разгрузки. Пьезометрическая поверхность не является реальной поверхностью воды, пьезометрический уровень устанавливается только в скважинах, вскрывших артезианский водоносный пласт. На тех участках, где отсутствуют скважины, пьезометрический уровень можно установить по картам гидроизопьез.

**Гидроизопьезами** (пьезоизогипсами) называются линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками пьезометрического уровня. Совокупность таких линий образует *карту гидроизопьез*. Изопьезы являются линиями напоров, а линии, проведенные перпендикулярно к ним, показывают направление движения потока и называются *линиями токов*. *Избыточный напор  $\Delta H_{изб}$*  – это высота столба воды над кровлей пласта, характеризующая дополнительный (по отношению к атмосферным условиям) напор, под которым находятся подземные воды в данном водоносном горизонте. Определяется он как разность отметок кровли и пьезометрической поверхности. Аналогичное содержание имеет понятие избыточное пластовое давление.

Для построения карт гидроизопьез необходимо располагать данными о глубине залегания пьезометрического уровня в скважинах, колодцах и других

горных выработках, необходимо иметь абсолютные отметки их устьев. Кроме водопунктов, расположенных в зоне напора артезианских вод, необходимо использовать отметки источников, урезов рек, расположенных в областях питания и разгрузки артезианских вод и имеющих гидравлическую связь с подземными водами. По имеющимся водопунктам вычисляются абсолютные отметки пьезометрического уровня, и методом интерполяции строят карты гидроизопъез.

Карты гидроизопъез строят в масштабах от 1:25000 до 1:200000 в зависимости от характера и стадии гидрогеологических исследований. Сечение гидроизопъез выбирают в зависимости от принятого масштаба карты, густоты пунктов наблюдений за уровнем подземных вод, уклона их поверхности. Обычно берут сечения 0,5, 1, 2, 5 и более м. Карты гидроизопъез могут совмещаться с картами изолиний кровли и подошвы водоносного пласта.

При построении карт гидроизопъез необходимо учитывать некоторые особенности, связанные с условиями залегания артезианских вод. Водоносные горизонты артезианских вод изолированы сверху от влияния метеорологических факторов толщей водоупорных пород, поэтому пьезометрические уровни не испытывают заметных колебаний во времени. Следовательно, при построении карт гидроизопъез можно использовать разновременные замеры уровней воды по водопунктам. Артезианские воды не имеют обычно прямой гидравлической связи с водами поверхностных водотоков и водоемов, поэтому возможно интерполировать между собой точки, расположенные на разных склонах речных долин и оврагов.

Карта гидроизопъез отражает форму пьезометрической поверхности артезианских вод, поэтому по такой карте можно определить важные гидрогеологические показатели водоносного пласта и охарактеризовать основные особенности его строения.

Форма пьезометрической поверхности во многом определяется



водопроницаемостью пород и мощностью водоносного пласта.

Теоретически в однородных по водопроницаемости пластах постоянной мощности пьезометрическая поверхность должна иметь вид плоскости (в сечении – прямая линия), а гидроизопъезы – вид прямых, расположенных друг от друга на одинаковом расстоянии. В действительности, вследствие фильтрации воды через кровлю и подошву пласта и проявления упругих сил в воде и в водоносной породе, пьезометрическая поверхность имеет изогнутый вид. По сгущению и разряжению гидроизопъез судят об изменении мощности водоносного горизонта или водопроницаемости пород. Если водопроницаемость пород увеличивается вниз по потоку, пьезометрическая поверхность выполаживается – гидроизопъезы разреживаются. При уменьшении водопроницаемости пьезометрическая поверхность становится круче, а гидроизопъезы сгущаются. Если мощность водоносного пласта увеличивается по потоку, пьезометрическая кривая выполаживается, а при уменьшении мощности она становится круче.

По карте гидроизогипс можно судить о связи напорных вод поверхностными водоемами и водотоками. Если русло реки врезано в водоносный горизонт, связь осуществляется непосредственно: напорные воды стекают в реку. Гидроизопъезы вблизи реки изменяют свою форму, «упираясь» в реку, в пьезометрической поверхности образуется понижение – депрессия. При затрудненной гидравлической связи напорного водоносного пласта пьезометрическая поверхность вблизи реки имеет слабо изогнутый вид. Отметки гидроизопъез значительно выше отметок уровня воды в реке и пересекают ее.

По карте гидроизопъез можно также решить и другие вопросы:

- 1) определить направление движения подземных вод на заданном участке, вычислить уклон пьезометрической поверхности;
- 2) выяснить глубину до воды или отметку уровня воды в любой

заданной точке; определить для любой точки высоту напора воды над кровлей водоносного пласта;

- 3) выделить участки, где отметки пьезометрического уровня превышают отметки поверхности земли, где возможен самоизлив;
- 4) определить области питания, напора и разгрузки горизонта напорных вод.

Задание. Построить карту гидроизопъез окского и каширского водоносных горизонтов на топографической основе, используя данные таблиц 7.4 и 7.5.

Карты гидроизопъез должны сопровождаться гидрогеологическими разрезами, построенными по данным бурения скважин. На разрезах показывают стратиграфические границы, литологический состав пород, отметки пьезометрического уровня, высоту напора и другие данные.

## **7. Построение и анализ гидрогеологических разрезов**

Гидрогеологические разрезы – широко применяемая форма графической обработки и обобщения информации, разрезы характеризуют гидрогеологические условия территории в вертикальном разрезе.

Гидрогеологические разрезы характеризуют условия залегания и приуроченность подземных вод к различным горным породам, их связь с поверхностными водами, положение уровня подземных вод.

Построение разрезов выполняется в следующей последовательности:

- 1) выбирается наиболее информативный участок, где линия разреза пересекает различные геоморфологические элементы, зоны разломов, долины рек;
- 2) выбирается горизонтальный и вертикальный масштабы разреза. Горизонтальный масштаб должен соответствовать масштабу карты,

вертикальный масштаб должен обеспечить четкое изображение условий залегания и взаимосвязи водоносных горизонтов и комплексов, рек и т. п.;

- 3) строится гипсометрический профиль, на котором вертикальными линиями показывается местоположение скважин, отметки их устья и забоя, показывается рельеф поверхности земли. По данным бурения строят геолого-литологические колонки, проводят геологические и литологические границы пород, зоны разломов. Наносят положение уровня подземных вод по замерам в скважинах, колодцах, шурфах, источниках и др. На основании гидрогеологических данных выделяют водоносные горизонты и комплексы, разделяющие их водоупоры, указывают интервалы опробования, количественные показатели изученных свойств.

Для построения разреза необходимы топографическая карта, геологический и геоморфологический профили по выбранному направлению, геолого-литологические колонки скважин, шурфов и других выработок, находящихся на линии разреза или вблизи него, результаты наблюдений за уровнем подземных вод в скважинах, колодцах и др. выработках, результаты наблюдений на гидрометрических постах, специализированные исследования в скважинах и т. п.

Гидрогеологические разрезы анализируют в следующем порядке:

1. Устанавливают водоносные горизонты, условия их залегания, состав пород и данные об уровнях подземных и поверхностных вод.
2. Определяют мощность водоносного пласта как разность отметок его кровли и подошвы, величину напора над кровлей как разность отметок между пьезометрическим уровнем и кровлей пласта. Зоны, где поверхность земли располагается ниже пьезометрической кривой, выделяют как участки возможного самоизлива. Глубина

безнапорных подземных вод определяется как разность отметок поверхности земли и уровня подземных вод, мощность - разностью отметок зеркала подземных вод и водоупорной подошвой водоносного пласта; определяют мощность и строение зоны аэрации, устанавливают наличие относительно водоупорных прослоев в зоне аэрации, т. к. на них может формироваться верховодка, возможно создание и зон местного напора.

3. Характеризуют условия движения подземных вод; направление, уклон потока на разных участках.
4. Выделяют вид, условия питания и разгрузки подземных вод, местоположение областей питания и разгрузки.
5. Устанавливают характер и интенсивность взаимосвязи между водоносными горизонтами из литолого-фациального анализа разреза и соотношений напоров смежных водоносных горизонтов, характера изменения этих соотношений по разрезу.

Задание. Построить гидрогеологические разрезы по карте гидроизогипс и гидроизопьез, используя данные таблиц 7.1 – 7.5.

Таблица 7.1

Данные бурения, необходимые для построения гидрогеологического  
разреза по линии I- I по карте гидроизогипс

| № слоя<br>(сверху<br>вниз) | Мощность<br>слоя,<br>м | Геолог.<br>индекс | Литологическая характеристика пород                        | Глубина<br>выработки,<br>м |
|----------------------------|------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1                          | 4,8                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 18<br>суглинок делювиальный,<br>водонепроницаемый | 20                         |
| 2                          | 14,0                   | Q <sub>IV</sub>   | песок аллювиальный, разномзернистый                        |                            |
| 3                          | 1,2                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                              |                            |
| 1                          | 2,4                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 19<br>суглинок делювиальный,<br>водонепроницаемый | 18                         |
| 2                          | 12,6                   | Q <sub>IV</sub>   | песок аллювиальный, разномзернистый                        |                            |
| 3                          | 3,0                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                              |                            |
| 1                          | 1,3                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 20<br>суглинок делювиальный,<br>водонепроницаемый | 15                         |
| 2                          | 9,6                    | Q <sub>IV</sub>   | песок аллювиальный, разномзернистый                        |                            |
| 3                          | 4,1                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                              |                            |
| 1                          | 3,0                    | Q <sub>IV</sub>   | колодец 27<br>песок аллювиальный, разномзернистый          | 3                          |
| 1                          | 6,8                    | Q <sub>IV</sub>   | шурф 28<br>песок аллювиальный, разномзернистый             | 10                         |
| 2                          | 3,2                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                              |                            |
| 1                          | 1,2                    | Q <sub>IV</sub>   | шурф 29<br>суглинок делювиальный                           | 10                         |
| 2                          | 8,8                    | Q <sub>IV</sub>   | песок аллювиальный, разномзернистый                        |                            |
| 1                          | 4,8                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 31<br>суглинок делювиальный                       | 20                         |
| 2                          | 13,2                   | Q <sub>IV</sub>   | песок аллювиальный, разномзернистый                        |                            |
| 3                          | 2,0                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                              |                            |

Таблица 7.2

Данные бурения, необходимые для построения гидрогеологического  
разреза по линии II- II по карте гидроизогипс

| № слоя<br>(сверху<br>вниз) | Мощность<br>слоя,<br>м | Геолог.<br>индекс | Литологическая характеристика пород                                | Глубина<br>выработки,<br>м |
|----------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1                          | 3,4                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 1<br>суглинок делювиальный, плотный,<br>водонепроницаемый | 20                         |
| 2                          | 15,2                   | Q <sub>IV</sub>   | песок разномзернистый                                              |                            |
| 3                          | 1,4                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |
| 1                          | 11,4                   | Q <sub>IV</sub>   | скважина 2<br>песок разномзернистый                                | 15                         |
| 2                          | 3,6                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |
| 1                          | 2,8                    | Q <sub>IV</sub>   | шурф 3<br>песок разномзернистый                                    | 3                          |
| 2                          | 0,2                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |
| 1                          | 1,8                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 4<br>суглинок делювиальный с дресвой и<br>щебнем          | 15                         |
| 2                          | 9,4                    | Q <sub>IV</sub>   | песок разномзернистый                                              |                            |
| 3                          | 3,8                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |
| 1                          | 3,0                    | Q <sub>IV</sub>   | шурф 5<br>песок аллювиальный, разномзернистый                      | 3                          |
| 1                          | 3,2                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 6<br>суглинок элювиально-делювиальный,<br>плотный         | 20                         |
| 2                          | 11,6                   | Q <sub>IV</sub>   | песок разномзернистый                                              |                            |
| 3                          | 5,2                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |
| 1                          | 8,4                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 35<br>песок разномзернистый                               | 10                         |
| 2                          | 1,6                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |
| 1                          | 2,4                    | Q <sub>IV</sub>   | скважина 7<br>суглинок делювиальный, плотный,<br>водонепроницаемый | 20                         |
| 2                          | 13,6                   | Q <sub>IV</sub>   | песок разномзернистый                                              |                            |
| 3                          | 4,0                    | Q <sub>III</sub>  | глина плотная                                                      |                            |

Таблица 7.3

Данные бурения, необходимые для построения гидрогеологического  
разреза по линии III- III по карте гидроизогипс

| № слоя<br>(сверху<br>вниз) | Мощность<br>слоя,<br>м | Геолог.<br>индекс                                      | Литологическая характеристика пород                                                                                | Глубина<br>выработки,<br>м |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1<br>2                     | 23,5<br>1,5            | Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>III</sub>                    | скважина 13<br>песок кварцевый, разномзернистый<br>глина плотная                                                   | 25                         |
| 1<br>2                     | 18,6<br>1,4            | Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>III</sub>                    | скважина 14<br>песок кварцевый, разномзернистый<br>глина плотная                                                   | 20                         |
| 1<br>2<br>3                | 2,5<br>12,6<br>2,9     | Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>III</sub> | скважина 15<br>суглинок делювиальный<br>песок кварцевый, разномзернистый<br>глина плотная                          | 18                         |
| 1<br>2                     | 0,5<br>2,5             | Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>IV</sub>                     | шурф 16<br>суглинок делювиальный<br>супесчаные торфяники                                                           | 3                          |
| 1                          | 2,0                    | Q <sub>IV</sub>                                        | шурф 17<br>супесчаные торфяники                                                                                    | 2                          |
| 1<br>2<br>3                | 0,5<br>6,5<br>3,0      | Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>III</sub> | скважина 36<br>суглинок делювиальный<br>песок кварцевый, разномзернистый<br>глина плотная                          | 10                         |
| 1<br>2<br>3                | 0,7<br>9,0<br>5,3      | Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>IV</sub><br>Q <sub>III</sub> | скважина 12<br>суглинок делювиальный,<br>водонепроницаемый<br>песок аллювиальный, разномзернистый<br>глина плотная | 15                         |

Таблица 7.4

Данные бурения, необходимые для построения гидрогеологического  
разреза по карте гидроизопъез

| № скв.<br>(отметка<br>устья, м) | Мощность<br>слоя, м | Литологическая характеристика пород                                  | Отметка уровня<br>воды, м |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 18<br>(98,7)                    | 21                  | Аллювиальные водоносные пески                                        | 91,0                      |
|                                 | 17                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 91,0                      |
|                                 | 12                  | Глина карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 63                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 64,8                      |
|                                 | 23                  | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 34<br>(вскрытая)    | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 72,0                      |
| 24<br>(98,5)                    | 20                  | Аллювиальные водоносные пески                                        | 91,0                      |
|                                 | 19                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 91,0                      |
|                                 | 19                  | Глина карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 64                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 65,0                      |
|                                 | 20                  | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 43<br>(вскрытая)    | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 76,8                      |
| 35<br>(152,7)                   | 15                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 47                  | Юрские глины                                                         | -                         |
|                                 | 28                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 125,1                     |
|                                 | 16                  | Глины с песком (каширский горизонт)                                  | -                         |
|                                 | 53                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 75,1                      |
|                                 | 9                   | Глины с песком (верейский горизонт)                                  | -                         |
|                                 | 21                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 98,3                      |
|                                 | 21                  | Глины карбона (тульский горизонт)                                    | -                         |
| 37<br>(152,5)                   | 17                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 45                  | Верхнеюрские глины                                                   | -                         |
|                                 | 24                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 141,6                     |
|                                 | 3                   | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 80                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 90,4                      |
|                                 | 3                   | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 50                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 100,0                     |
|                                 | 53                  | Глины карбона (тульский горизонт)                                    | -                         |



| № скв.<br>(отметка<br>устья, м) | Мощность<br>слоя, м | Литологическая характеристика пород                                  | Отметка уровня<br>воды, м |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 33<br>(162,0)                   | 10                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 63                  | Юрские глины                                                         | -                         |
|                                 | 40                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 152,0                     |
|                                 | 18                  | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 65                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 105,0                     |
|                                 | 12                  | Глины карбона опесчаненные (верейский<br>горизонт)                   | -                         |
|                                 | 42                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 109,8                     |

**Таблица 7.5**

Данные бурения, необходимые для построения гидрогеологического  
разреза по карте гидроизопьез

| № скв.<br>(отметка<br>устья, м) | Мощность<br>слоя, м | Литологическая характеристика пород                                  | Отметка уровня<br>воды, м |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 2<br>(128,8)                    | 26                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 46                  | Верхнеюрские глины с песком                                          | -                         |
|                                 | 19                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 111,5                     |
|                                 | 10                  | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 41                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 94,0                      |
|                                 | 23                  | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 33                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 102,0                     |
| 7<br>(131,2)                    | 28                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 48                  | Верхнеюрские глины и пески                                           | -                         |
|                                 | 24                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 111,0                     |
|                                 | 3                   | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 48                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 90,5                      |
|                                 | 25                  | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 47                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 102,0                     |
| 8<br>(118,0)                    | 29                  | Аллювиальные пески, водоносные                                       | 109,3                     |
|                                 | 13                  | Верхнеюрские глины с песком                                          | -                         |

Продолжение табл. 7.5

| № скв.<br>(отметка<br>устья, м) | Мощность<br>слоя, м | Литологическая характеристика пород                                  | Отметка уровня<br>воды, м |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                 | 13                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 109,8                     |
|                                 | 5                   | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 70                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 80,3                      |
|                                 | 12                  | Глины с песком (верейский горизонт)                                  | -                         |
|                                 | 33                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 85,0                      |
| 12<br>(105,6)                   | 26                  | Аллювиальные пески, водоносные                                       | 105,0                     |
|                                 | 0,5                 | Верхнеюрские глины                                                   | -                         |
|                                 | 15,5                | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 105,0                     |
|                                 | 1,0                 | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 68                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 85,0                      |
|                                 | 29                  | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 30                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 80,2                      |
| 35<br>(152,7)                   | 15                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 47                  | Верхнеюрские глины                                                   | -                         |
|                                 | 28                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 125,1                     |
|                                 | 16                  | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 53                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 75,1                      |
|                                 | 9                   | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 39                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 98,3                      |
|                                 | 21                  | Глины карбона (тульский горизонт)                                    | -                         |
| 32<br>(163,5)                   | 17                  | Четвертичные суглинки                                                | -                         |
|                                 | 60                  | Верхнеюрские глины и пески                                           | -                         |
|                                 | 26                  | Известняки карбона (подольский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные | 125,0                     |
|                                 | 10                  | Глины карбона (каширский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 65                  | Известняки карбона (каширский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные  | 95,2                      |
|                                 | 6                   | Глины карбона (верейский горизонт)                                   | -                         |
|                                 | 42                  | Известняки карбона (окский горизонт)<br>трещиноватые, водоносные     | 105,2                     |

## Список литературы

1. Гавич И. К., Лучшева А. А., Семенова-Ерофеева С. М. Сборник задач по общей гидрогеологии Уч. пос. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985, 412 с.
2. Гореев П. В., Шемелина В. А., Шулякова О. К. Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии: Уч. пос. для учащихся гидрогеологических специальностей геологоразведочных техникумов. М., Высш. школа, 1981, 152 с.
3. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.
4. ГОСТ 9.602-89. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
5. Кирюхин В. А., Коротков А. И., Павлов А. Н. Общая гидрогеология: Учебник для вузов. Л.: Недра, 1988, 359 с.
6. Методические разработки для лабораторных и практических работ по курсам «Гидрогеология» и «Инженерная геология» для специальностей 0108; 0101; 0105; и «Гидрогеология с основами инженерной геологии» для специальностей 0209; 0202; 0206. Часть 1. Свердловск, изд. СГИ, 1980, 45 с.
7. Основные положения по составлению серийных легенд государственных гидрогеологических карт масштаба 1:200000 и 1:1000000. М.: МПР РФ, 2001, 15 с.
8. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии.

*Лариса Петровна Парфенова*  
*Ирина Александровна Долинина*

## **ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

*Учебно-методическое пособие по лабораторным занятиям  
по дисциплине «Общая гидрогеология» для студентов  
специальности 080300 «Поиски и разведка подземных вод  
и инженерно-геологические изыскания (ГИГ)»*

Корректурa кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

Подписано в печать

Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16

Печ. л.      Уч.-изд. л.      Тираж 100 экз.    Заказ №

Издательство УГГГА  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральская государственная горно-геологическая академия  
Лаборатория множительной техники