

Белорусский национальный технический университет
Факультет горного дела и инженерной экологии
Кафедра «Горные работы»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ С.Г. Оника

«__» _____ 2013 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

_____ П.В.Цыбуленко

«__» _____ 2013 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЕ**

«ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых»

В двух частях

Составитель: Поликарпова Н.Н.

Рассмотрено и утверждено

на заседании совета факультета горного дела и инженерной экологии «25»марта 2013 г., протокол

№ _____

Перечень материалов: Учебно-методический комплекс составлен в соответствии с типовой учебной программой для высших учебных заведений по специальности: 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» (по направлениям), утвержденной Министерством образования Республики Беларусь, Учебно-методическим объединением вузов Республики Беларусь по образованию в области горнодобывающей промышленности в 2008г. В соответствии с ней комплекс состоит из двух частей. В первой представлены информационные и методические источники о строении Земли и земной коры, кристаллографии, минералогии, петрографии, общей геологии, которые необходимы для формирования базовых знаний при подготовке горных инженеров. Во второй части приводятся общие сведения о месторождениях полезных ископаемых, система геологического изучения недр, современная классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Изложены принципы и системы разведки месторождений, виды опробования, способы подсчета запасов минерального сырья. Для закрепления теоретической подготовки приобретения практических навыков предусматривается проведение летней учебной практики, программа и содержание которой приводятся в учебно-методическом комплексе. Учебно-методический комплекс предназначен для студентов, аспирантов, педагогов.

Пояснительная записка

Цели УМК (ЭУМК)

Особенности структурирования и подачи учебного материала

Рекомендации по организации работы с УМК (ЭУМК)

Рецензенты: Кафедра «Экологический менеджмент» Государственного предприятия образования «Институт непрерывного образования» Белорусского государственного университета и В.И. Глуховский, кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Экопром».

© Поликарпова Н.Н.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

[На оглавление](#)

| | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| г - грамм | км ³ - кубический километр | мин.- минута |
| г. - год | л- литр | % - процент |
| Дж - джоуль | мл- миллилитр | с - секунда |
| Кал-калория | м- метр | с.- страница |
| кг-килограмм | м ² - квадратный метр | °С - градус цельсия |
| км- километр | м ³ -кубический метр | см - сантиметр |
| км ² - квадратный километр | мг - миллиграмм | см.- смотри |
| | млн. - миллион | тыс. - тысяча |
| | мм- миллиметр | ч. - час |

Оглавление

| | |
|---|-----|
| Список используемых сокращений | 3 |
| Введение | 7 |
| Часть 1. Основы геологии..... | 10 |
| 1.1. Объекты изучения и науки геологического цикла | 10 |
| 1.2. Общие сведения о Земле | 14 |
| 1.2.1. Строение Земли | 15 |
| 1.2.2. Внутренние геосферы | 16 |
| 1.2.2.1. Методы изучения внутреннего строения и состава Земли | 16 |
| 1.2.2.2. Сейсмическая модель Земли | 17 |
| 1.2.2.3. Вещественный состав мантии и ядра Земли | 20 |
| 1.3. Физические поля и геофизическая характеристика Земли | 21 |
| 1.3.1. Распределение массы между внутренними геосферами | 21 |
| 1.3.2. Тепловое поле Земли. Источники тепловой энергии | 22 |
| 1.3.3. Магнетизм Земли | 24 |
| 1.3.4. Гравитационное поле Земли | 24 |
| 1.4. Земная кора | 25 |
| 1.4.1. Строение земной коры | 25 |
| 1.4.2. Химический состав земной коры | 26 |
| 1.5. Минералы | 28 |
| 1.5.1. Общая характеристика минералов | 28 |
| 1.5.2. Кристаллографические свойства минералов | 29 |
| 1.5.2.1. Факторы определяющие, строение кристаллических структур | 43 |
| 1.5.3. Изучение форм природных выделений минералов | 46 |
| 1.5.4. Физические и химические свойства минералов | 53 |
| 1.5.5. Классификации минералов | 56 |
| 1.5.5.1. Характеристика минералов по классам | 57 |
| 1.5.5.2. Методика определения главных породообразующих и рудных минералов | 70 |
| 1.6. Горные породы | 73 |
| 1.6.1. Основные понятия и определения | 73 |
| 1.6.2. Возраст горных пород | 76 |
| 1.6.2.1. Относительная геохронология | 76 |
| 1.6.2.2. Абсолютная геохронология | 79 |
| 1.6.2.3. Периодизация геологической истории | 81 |
| 1.6.3. Формы залегания горных пород | 85 |
| 1.6.3.1. Слой и слоистость | 85 |
| 1.6.3.2. Первичное и нарушенное залегание слоёв | 87 |
| 1.6.3.3. Тектоносфера и тектонические дислокации | 87 |
| 1.6.3.4. Пликативные дислокации горных пород | 88 |
| 1.6.3.5. Разрывные нарушения (дизъюнктивные дислокации) | 93 |
| 1.6.3.6. Причины выхода на поверхность коренных пород | 96 |
| 1.6.3.7. Элементы залегания горных пород и их измерение | 96 |
| 1.6.3.8. Графическое моделирование участков земной коры | 98 |
| 1.7. Магматизм и магматические горные породы | 103 |
| 1.7.1. Общее представление об эффузивном и интрузивном магматизме | 104 |
| 1.7.2. Магматические горные породы | 104 |
| 1.7.2.1. Лабораторная работа «Изучение и описание отличительных признаков интрузивных пород» | 107 |
| 1.7.2.2. Лабораторная работа «Изучение и описание отличительных признаков эффузивных пород» | 109 |
| 1.7.2.3. Лабораторная работа «Разделение магматических горных пород на группы по содержанию оксида кремния» | 110 |
| 1.7.2.4. Лабораторная работа «Макроскопическое определение главнейших магматических пород» | 112 |
| 1.8. Метаморфизм. Метаморфические горные породы | 131 |

| | |
|---|-----|
| 1.8.1. Факторы метаморфизма..... | 131 |
| 1.8.2.Метаморфические реакции..... | 131 |
| 1.8.3.Классы метаморфизма..... | 133 |
| 1.8.4.Фации метаморфизма и формы залегания..... | 134 |
| 1.8.5.Метасоматоз. Метасоматические горные породы..... | 135 |
| 1.8.5.1.Систематика метасоматических горных пород..... | 136 |
| 1.8.6.Мигматиты и мигматитообразование..... | 136 |
| 1.8.7.1.Лабораторная работа «Изучение состава и структурно –текстурных особенностей метаморфических пород»..... | 137 |
| 1.8.7.2.Лабораторная работа «Изучение метаморфических горных пород в зависимости от условия их происхождения»..... | 139 |
| 1.8.7.3.Лабораторная работа «Описание и определение метаморфических горных пород»..... | 143 |
| 1.9.Экзогенные геологические процессы..... | 144 |
| 1.9.1.Гипергенез..... | 145 |
| 1.9.1.1.Процессы выветривания..... | 145 |
| 1.9.1.2. Коры выветривания..... | 147 |
| 1.9.2. Процессы денудации и денудационные агенты..... | 150 |
| 1.9.3. Аккумулятивные процессы..... | 153 |
| 1.9.4. Процессы диагенеза..... | 155 |
| 1.9.5.Осадочные горные породы..... | 155 |
| 1.9.5.1.Диагностические признаки осадочных горных пород..... | 156 |
| 1.9.5.2.Лабораторная работа «Изучение обломочных горных пород и их классификация»..... | 157 |
| 1.9.5.3.Лабораторная работа «Описание и определение органогенных, хемогенных горных пород»..... | 161 |
| Часть 2. Месторождения полезных ископаемых и их разведка..... | 164 |
| 2.1. Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых..... | 164 |
| 2.1.1.Основные понятия и определения..... | 164 |
| 2.1.2.Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых..... | 166 |
| 2.1.3.Вещественный состав полезных ископаемых..... | 170 |
| 2.1.4. Геологические условия образования месторождений полезных ископаемых..... | 176 |
| 2.1.4.1.Генетическая классификация месторождений..... | 176 |
| 2.1.4.2.Связь месторождений с основными структурными элементами земной коры..... | 177 |
| 2.1.4.3.Геологические и физико-химические факторы, определяющие условия образования и размещения месторождений..... | 179 |
| 2.2.Система геологического изучения недр..... | 182 |
| 2.3.Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых..... | 183 |
| 2.4.Геологическая съемка и поиски..... | 185 |
| 2.5. Методология разведки месторождений полезных ископаемых..... | 186 |
| 2.5.1.Задачи разведки..... | 186 |
| 2.5.2. Принципы разведки..... | 187 |
| 2.5.3.Основные задачи стадий разведки..... | 190 |
| 2.5.4.Методы разведки..... | 201 |
| 2.5.5.Технические средства разведки..... | 202 |
| 2.5.6.Системы разведки..... | 205 |
| 2.5.7.Расположение разведочных выработок..... | 207 |
| 2.6.Геолого-промышленная оценка месторождений..... | 212 |
| 2.6.1. Задачи оценки..... | 212 |
| 2.6.2.Понятие о кондициях..... | 213 |
| 2.6.3.Подготовленность месторождений для промышленного освоения..... | 216 |
| 2.6.4. Опробывание..... | 217 |
| 2.6.5. Оконтуривание тел полезных ископаемых..... | 221 |
| 2.6.6. Подсчет запасов..... | 224 |
| 2.7.Геологическая документация..... | 231 |
| 2.8.Учебная практика..... | 236 |
| 2.8.1. Разведка (учебная) торфяного месторождения..... | 237 |

| | |
|--|-----|
| 2.8.1.1.Методика проведения полевых работ | 237 |
| 2.8.1.2.Камеральные работы | 239 |
| 2.8.1.3. Построение плана торфяного месторождения | 239 |
| 2.8.2. Изучение месторождения песка | 241 |
| 2.8.2.1.Полевые работы | 241 |
| 2.8.2.2. Примеры описания обнажений | 242 |
| 2.8.2.3. Определение образцов и графические работы | 244 |
| Использованная литература | 246 |
| Список используемой литературы | 247 |

УДК 553(076.5)(075.8)
ББК 26.3я7
П50

ВВЕДЕНИЕ

[На оглавление](#)

Современный период требует укрепления и расширения минерально-сырьевой базы страны для решения задач Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь (НСУР–2020) и соответственно повышения эффективности и качества подготовки специалистов, способных к освоению разведанных запасов полезных ископаемых. С этой целью и создается учебно-методический комплекс по дисциплине «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Такой комплекс является одним из вариантов нового поколения учебной литературы, объединяющем в себе информацию из различных источников, в том числе таких мобильных как интернет. В представленном учебно-методическом комплексе широко использован иллюстративный материал по минералогии, петрографии, геологическим процессам, и др., который был бы менее информативным на бумажном носителе.

Учебно-методический комплекс предназначен для более эффективного изучения предмета. Комплекс является одним из элементов организации образовательной деятельности по очной, заочной и очно-заочной формам обучения. Использование комплекса повышает качества усвоения учебного материала и совершенствует знания специалистов. В комплексе объединен теоретический материал с лабораторными занятиями и работами, выполняемыми в процессе учебной практики. Основной целью предлагаемого учебно-методического комплекса является выработка у студентов знаний и практических навыков, необходимых горному инженеру и мотивации к самостоятельной работе.

«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» является базовым в подготовке специалистов по горному делу. Знание вопросов, изучаемых в курсе, необходимо для освоения дисциплин прикладного характера, таких как "Обогащение и переработка полезных ископаемых", "Процессы горного производства", "Физика горных пород и процессов" и других.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Геология и разведка полезных ископаемых» включает в себя две части. Первая – по основам геологии, направлена на изучение объектов, явлений и процессов, которыми занимается геология. Основной ее целью является формирование базовых знаний, овладение терминологией и методологией геологических дисциплин.

Целью второй части является изучение различных видов полезных ископаемых и закономерностей их распределения в земной коре, освоение основных сведений о методах разведки, подсчета запасов полезных ископаемых и оценки месторождений полезных ископаемых

В результате освоения курса «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» студент должен:

знать:

- строение, химический, минералогический и петрографический состав земной коры и ее разных рядков структурных элементов;
- основные виды породообразующих и рудообразующих минералов (их свойства, процессы образования, направления использования);
- геофизические поля и их роль в изучении строения земной коры и месторождений полезных ископаемых;
- типы и виды горных пород, породообразующие процессы;
- основные геологические процессы эндогенного и экзогенного подразделения, их роль в эволюции земной коры;

- элементы залегания горных пород, геологические карты;
- понятие полезных ископаемых и их видов, классификацию и распространение;
- морфологию и условия залегания тел полезных ископаемых;
- вещественный состав, структурно-текстурные особенности полезных ископаемых;
- генетические типы месторождений;
- основных представителей и распространенность металлических, неметаллических, горючих полезных ископаемых;
- цели и задачи разведки полезных ископаемых;
- классификацию разведанных и прогнозируемых ресурсов;
- основные принципы, системы, технические средства разведки;
- геологическую документацию и методы оценки месторождений;

уметь характеризовать:

- виды полезных ископаемых, их свойства и направления использования;
 - морфологические типы тел полезных ископаемых;
 - генетические типы месторождений полезных ископаемых;
 - основные задачи разведки и ее стадии;
 - методы разведки;
 - системы разведки;
 - технические средства разведки;
 - разведочные выработки и их расположение;
- методы опробования;

уметь анализировать:

- минералогический и химический состав полезных ископаемых;
- геологическую документацию (карты, планы, профили, стратиграфические колонки);

приобрести навыки:

- определения главных породообразующих и рудных минералов;
- определения основных видов магматических, осадочных и метаморфических пород;
- чтения геологических и геолого-технологических карт;
- процесса бурения с помощью бура ТБГ-1;
- отбора проб полезных ископаемых;
- оконтуривания тел полезных ископаемых;
- составления стратиграфического профиля.

Характеристики рекомендуемых методов и технологий обучения

С целью активизации познавательной деятельности студентов в процессе чтения курса планируется использование мультимедийной техники, позволяющей в виде презентаций представлять материалы по различным разделам геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. При проведении занятий по темам, связанным с минералогией и петрографией изучаются образцы минералов и горных пород из коллекции, имеющейся на кафедре «Горные работы». Студенты обучаются геологической терминологии и методологии проведения геологоразведочных работ, знание которых закрепляются посредством проведения летней полевой практики. Практические приемы разведки отработываются на месторождении торфа, при этом каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Организация самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- выполнение студентами индивидуального задания по составлению стратиграфического профиля месторождения торфа;
- подготовка научных рефератов по индивидуальным темам для участия в студенческой научной конференции.

Диагностика компетенции студента

Для оценки достижений студента используются следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных на лабораторных работах заданий;
- проведение текущих контрольных опросов по изучаемым темам;
- выступление на научных студенческих конференциях;
- текущая аттестация по успеваемости (аттестационный лист);
- сдача экзамена по десятибалльной шкале.

Учебная программа дисциплины рассчитана на 252 часа, в том числе — 102 часа аудиторных занятий.

Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий:

лекции — 68 часов;

лабораторные работы — 34 часов.

Примерный тематический план курса

| № пп | Наименование темы | Лекции (часы) | Лабораторные занятия (часы) |
|------|---|---------------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Часть 1. Основы геологии | | |
| 1 | Введение | 2 | - |
| 2 | Строение Земли | 2 | - |
| 3 | Геофизические поля | 2 | - |
| 4 | Химический состав земной коры | 2 | |
| 5 | Минеральный состав земной коры. Конституция минералов. Морфология и основные свойства. Диагностика минералов. Главные породообразующие и рудные минералы и их классификация | 4 | 8 |
| 6 | Петрографический состав земной коры. Возраст горных пород | 4 | |
| 7 | Тектонические процессы | 4 | - |
| 8 | Магматизм и магматические горные породы | 2 | 6 |
| 9 | Метаморфизм и метаморфические горные породы | 2 | 4 |
| 10 | Экзогенные геологические процессы | 2 | - |
| 11 | Значение экзогенных геологических процессов и осадочные горные породы | 4 | 8 |
| 12 | Методы исследования и моделирования строения Земной коры | 2 | - |
| | Часть 2. Месторождения полезных ископаемых и их разведка | | |
| 13 | Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых и геологических условий их образования. | 6 | - |

| | | | |
|--------|--|----|----|
| 14 | Генетические типы месторождений | 2 | - |
| 15 | Вещественный состав и типы полезных ископаемых | 2 | |
| 16 | Металлические и неметаллические полезные ископаемые | 2 | 2 |
| 17 | Твердые горючие ископаемые | 2 | 2 |
| 18 | Цели и задачи разведки полезных ископаемых. Система геологического изучения недр. Классификация запасов и прогнозных ресурсов. | 4 | - |
| 19 | Методология разведки месторождений полезных ископаемых. Принципы разведки. Стадии разведки. Технические средства разведки. | 6 | |
| 20 | Системы разведки. Расположение разведочных выработок. | 2 | |
| 21 | Геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых. Понятие о кондициях. | 4 | |
| 22 | Опробование. Оконтуривание тел полезных ископаемых. Подсчет запасов полезного ископаемого | 4 | 4 |
| ВСЕГО: | | 68 | 34 |

УДК 553(076.5)(075.8)
ББК 26.3я7
П50

Часть 1. ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

1.1 Объекты изучения, методы и науки геологического цикла

[На оглавление](#)

Геология (греч. "гео" - Земля, "логос" - учение) изучает строение, состав, происхождение и развитие Земли. Основной задачей является изучение наружной каменной оболочки планеты - земной коры и взаимодействующих с ней внешних и внутренних оболочек Земли. Объектами изучения геологии являются минералы, горные породы, ископаемые органические остатки и геологические процессы. Минералами называют природные химические соединения, однородные по составу и строению, образовавшиеся в результате естественных физико-химических процессов. Горные породы - это природные устойчивые ассоциация минералов, сформировавшиеся в результате определенных геологических процессов и образующие в земной коре самостоятельные геологические тела. По происхождению выделяют три типа горных пород: магматические, или изверженные, возникшие при остыв-

вании магмы (огненно-жидкого силикатного расплава); осадочные, образовавшиеся при механической, химической или биохимической переработке вещества земной коры в поверхностных условиях; метаморфические, которые формируются в процессе преобразования любых первичных пород в недрах Земли под действием высоких температур, давления и химически активных веществ. Ископаемые органические остатки позволяют определить возраст и условия образования горных пород, в которых они обнаруживаются.

Процессы, меняющие состав, строение земной коры и рельеф земной поверхности, называются геологическими. По источнику энергии, месту и условиям протекания геологические процессы разделяются на экзогенные (т.е. извне рожденные) и эндогенные (т.е. внутри рожденные). Экзогенные геологические процессы протекают под воздействием солнечной энергии на поверхности Земли. Они выражаются в изменении (выветривании) горных пород, разрушении и переносе продуктов разрушения водными и воздушными массами, осадении и накоплении продуктов разрушения. Эндогенные геологические процессы развиваются благодаря внутренней энергии Земли. К ним относятся тектонические процессы, объединяющие медленные (вековые) колебательные движения земной коры, быстро протекающие дислокационные: магматизм - образование в недрах Земли огненно-жидких расплавов, их движение и остывание; метаморфизм - процесс перерождения горных пород на больших глубинах под действием высоких температур, давлений и химически активных веществ.

В геологии применяются прямые, косвенные, экспериментальные и математические методы. Основным методом исследования земной коры является **геологическая съемка**, цель которой — изучение геологического строения, полезных ископаемых, составление геологической карты определенного масштаба. По способу проведения геологическая съемка делится на **наземную** и **дистанционную**. В процессе наземной геологической съемки оценка состава и строения земной коры производится путем изучения естественных обнажений (обрывы рек, оврагов, склоны гор), искусственных горных выработок (канавы, шурфы, карьеры, шахты) и буровых скважин (наиболее глубокой является Кольская скважина - более 12 км). Максимальная глубина, достигнутая горными выработками, около 4 км.

Визуальные исследования обычно дополняются геофизическими и геохимическими наблюдениями и измерениями.

Дистанционная геологическая съемка (зондирование) состоит в изучении строения поверхности и глубинных частей Земли с летательных аппаратов (самолетов, спутников, станций), находящихся в атмосфере или космическом пространстве. Названные способы геологической съемки в настоящее время тесно взаимосвязаны. При наземных исследованиях практически всегда используются материалы аэро- и космической фотосъемки. Дешифрирование материалов, полученных с помощью дистанционных методов геологической съемки, производится с использованием наземных (контрольных) наблюдений.

Геологическую съемку ведут планомерно, без пропусков отдельных участков с тем, чтобы в конечном итоге увязать данные по отдельным районам и получить представление о геологическом строении всей территории и крупных регионов. Обязательное условие геологической съемки — ее **кондиционность** или **надежность**, которая определяется соответствием детальности картируемых особенностей геологического строения масштабу съемки. По содержанию работ современная геологическая съемка является комплексной.

Детальность геологосъемочных работ определяется заданным масштабом картирования. Съемки бывают: **мелкомасштабные съемки** (1:1000000—1:500000); **среднемасштабные съемки** (1:20 000—1:100 000); **крупномасштабные съемки** (1:50 000—1:25 000).

Чем крупнее масштаб съемки, тем больше деталей геологического строения она выявляет, тем полнее и надежнее будут полученные результаты. Последующее увеличение масштаба уже готовой карты не может повысить степень детальности изображения геологического строения района, заданную масштабом съемки. По методам проведения геологическая съемка делится на маршрутную, площадную и инструментальную.

Маршрутная съемка, удовлетворяющая требованиям мелкомасштабных карт, ведется по направлениям, расположенным преимущественно в крест простирания пород или складчатых комплексов. Кроме того, маршруты обязательно охватывают точки наилучшей обнаженности. Полученные данные распространяются на расположенную между маршрутными ходами площадь.

Площадная съемка, проводимая при картировании в масштабе 1:200 000—1:25 000, осуществляется на основе равномерной сети точек наблюдения, которыми являются естественные и искусственные (картировочное бурение) обнажения. Широко используются аэрофотоснимки, ведутся геофизические и геохимические работы.

Инструментальная съемка применяется при детальном картировании (масштаб 1:25 000 и крупнее). Точки располагают по равномерной сети, положение геологических границ и объектов наносится на топографическую основу инструментально.

В последнее время при региональных исследованиях широкое развитие получили методы **глубинного и объемного геологического картирования**. Они предназначены для изучения геологического строения глубокозалегающих горизонтов и структур. При картировании используются материалы наземных наблюдений, данные бурения, изучения горных выработок, а также геофизические и геохимические результаты.

В процессе комплексной геологической съемки, наряду с картированием коренных пород, производится съемка четвертичных отложений, а также проводятся специальные съемки: структурная, геоморфологическая, гидрогеологическая, инженерно-геологическая, металлогеническая, геофизические и др.

К дистанционным методам геологических исследований Земли относятся аэро- и космические методы. **Аэрометоды** представляют собой комплекс методов изучения земной поверхности, выполняемых визуально, фотосъемкой, геофизическими и другими приборами. **Аэровизуальные методы** позволяют ускорить наземные геологические работы, увязать в единое целое результаты, полученные при съемке соседних районов.

Аэрофотографические методы дают возможность определить форму, размеры и положение элементов природного ландшафта и на основе их взаимосвязи с геологическим строением территории проводить геологическое дешифрирование стереопар аэрофотоснимков с помощью стереоскопа. Геологическое дешифрирование основано на использовании прямых и косвенных признаков. Прямыми признаками, характеризующими особенности геологических объектов и их элементов, являются: выраженность геологических структур в рельефе, геометрическая форма, размеры и тон (цвет) изображений. К косвенным признакам относятся геоморфологические показатели, характер растительности, цвет и степень увлажнения почв, водные источники и др.

Наиболее широко при аэрофотосъемке используются черно-белые аэрофотоснимки, которые передают до 35 оттенков между черным и белым цветами. Получили развитие цветная и спектро-зональная аэрофотосъемки, проведение которых увеличивает эффективность геологического дешифрирования. Аэрофотосъемку производят обычно в масштабах 1:10 000, 1:20 000, 1:25 000, 1:35 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, применяются также масштабы 1:15 000, 1:18 000 и 1:70 000.

Аэрогеофизические методы (аэромагнитные, аэрорадиометрические, аэрогравиразведочные) основаны на измерении естественных и искусственных физических полей приборами, установленными на самолетах и вертолетах. В качестве вспомогательных методов аэрофотосъемки используются радиолокационная и инфракрасная аэросъемки.

Космические методы открыли новый этап в геологическом изучении Земли. Они основаны на визуальных наблюдениях, фотографировании телевизионных изображений поверхности Земли из космоса, а также на регистрации приборами различных видов излучения — теплового, инфракрасного, сверхвысокочастотного радиоизлучения, ультрафиолетового и др. Летчик-космонавт Г.С. Титов впервые сфотографировал Землю из космоса 6 августа 1961 г.

Из космофотоснимков, отражающих различные ландшафтные условия земной коры, составляются фотопланы, а после их дешифрирования — региональные геологические карты, характеризующиеся высокой точностью. Фотографирование проводится на черно-белой, цветной или

спектрозональной пленке. Масштаб изображения зависит от высоты съемки. В настоящее время имеется возможность получить любой масштаб, вплоть до 1:100 000 000.

Дешифрирование основано на контрастно-аналоговом принципе, использовании геолого-геофизической информации и вычислительной техники. Вначале проводится ландшафтное районирование космофотоплана по фототону или цветовым оттенкам изображений. Затем на основе анализа взаимосвязи единичных компонентов ландшафта с элементами геологического строения получают космогеологическую (или тектоническую) карту территории. Наиболее четко дешифрируются разломы, соляные купола и другие геологические структуры. Региональные и глобальные тектонические структуры устанавливаются на большой глубине.

Космические методы обеспечивают получение принципиально новой информации о разрывной и складчатой тектонике и глубинной структуре земной коры. С помощью космических изображений выявлены многие важные элементы структуры глубинных слоев земной коры и верхней мантии, которые обычно очень слабо проявлены в структуре приповерхностных слоев. В 1979 г. на основе интерпретации данных геологического дешифрирования космофотоснимков, полученных с автоматических спутников типа «Метеор», была составлена космогеологическая карта линейных и кольцевых структур территории СССР в масштабе 1:5 000 000. Она явилась первым опытом непосредственного космогеологического картирования страны в обзорном масштабе. Это позволило выделить основные типы линейных и кольцевых структур, выяснить их распределение в пространстве и создать основу для последующих тектонических и минерагенических построений, а также интерпретации региональных геофизических материалов.

Среди наук геологического цикла выделяются дисциплины, изучающие вещественный состав земной коры, ее строение, геологические процессы и их историческую последовательность, а также прикладные науки. Вещество земной коры изучают следующие дисциплины. Геохимия - наука о распределении и процессах миграции химических элементов в земной коре и в Земле в целом. Кристаллография изучает внутреннее кристаллическое строение минералов. Минералогия занимается изучением состава, условий образования и закономерностей распространения минералов.

Изучению горных пород посвящены петрография (греч. "петрос" - камень) и литология (учение об осадочных горных породах).

Современное строение и происхождение рельефа земной поверхности изучает геоморфология; развитие и строение земной коры - геотектоника (греч. "тектоника" - строительство), формы залегания горных пород - структурная геология.

Общие закономерности и последовательность процессов формирования земной коры изучает историческая геология. Историю земной коры исследует также стратиграфия (лат. "стратум" - слой), рассматривающая последовательность образования и заложения слоистых толщ горных пород, и палеонтология (греч. "палеос" - древний, "онтос" - существо), научающая развитие органического мира прошлых геологических эпох.

Динамическая геология - наука о геологических процессах, включает в качестве разделов сейсмологию - науку о землетрясениях и вулканологию. Вопросами геологического строения и развития отдельных регионов земной коры занимается региональная геология.

К геологическим прикладным наукам относятся:

- учение о месторождениях полезных ископаемых, их поиске и разведке;
- гидрогеология - наука о происхождении, составе, условиях залегания и движении подземных вод;
 - инженерная геология - наука о геологических условиях возведения и эксплуатации инженерных сооружений;
 - горнопромышленная геология - изучает геологическое обеспечение горного производства при проектировании, строительстве, эксплуатации и ликвидации горных предприятий.

Науки геологического цикла играют большую роль в общенаучном и народнохозяйственном аспектах. От них зависит решение задач обеспечения минерально-сырьевыми ресурсами, в том числе

водными, а также обоснование строительства различных инженерных объектов. Особенно велико значение геологии для горной науки и промышленности. В связи со значительным истощением полезных ископаемых в приповерхностных частях земной коры ведущей задачей становится детальное изучение более глубоких зон на основе глубинной комплексной геологической съемки, картирования и разведки. Актуальная проблема комплексного использования полезных ископаемых решается на основе глубокого изучения вещественного состава месторождений.

Внедрение новых методов добычи полезных ископаемых, к которым относятся подземное выщелачивание руд (урана, меди, золота), калийных и каменных солей, подземная выплавка серы и подземная газификация углей, добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов, невозможно без всестороннего геологического изучения разрабатываемых объектов.

Поскольку процесс добычи минерального сырья выступает как мощнейший техногенный фактор воздействия на земную кору, сопоставимый с геологическими процессами, на первый план выдвигается наука о рациональном использовании недр.

1.2. Общие сведения о Земле

[На оглавление](#)

Под фигурой или формой Земли принимается форма ее твердого тела, образованная поверхностью материков и дном морей и океанов. Геодезические измерения показали, что упрощенная форма Земли приближается к эллипсоиду вращения (сфероиду). Полярный радиус (R_n) равен 6356,8 км, экваториальный ($R_э$) - 6378,2 км. Детальные измерения показали, что Земля имеет более сложную фигуру, свойственную только ей, которая получила название геоида. Поверхность геоида получают мысленным продолжением поверхности Мирового океана (уровенной поверхности) под континенты. Уровенная поверхность геоида принимается за базовую при отсчете высот в топографии, геодезии, маркшейдерии. Геоид и сфероид не совпадают, и расхождение между положением их поверхностей достигает + 160 м. По последним данным, Земля имеет грушевидную форму кардиоидального (т.е. сердцевидного) трехосного эллипсоида или кардиоида. Южный полюс расположен на 242 м ближе к экватору, чем северный.

Масса Земли составляет $5,977 \cdot 10^{21}$ т, объем - 3,083 млрд. км³, площадь - 510 млн. км, средняя плотность - 5,517 г/см³.

Реальная поверхность твердого тела Земли имеет более сложные очертания, чем геоид, поскольку она находится под влиянием геологических процессов. Большая часть поверхности планеты - 70,8% покрыта водой, остальная часть - 23,2% приходится на сушу. Мировой океан разделен материками на четыре океана: Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Суша образована шестью материками - Евразийским, Североамериканским, Южноамериканским, Африканским, Австралийским, Антарктическим и океаническими островами. Высочайшая отметка суши - 8848 м - гора Джомолунгма в Гималаях, наиболее низкая - 11022 м - Марианская впадина в Тихом океане. Средняя высота материков 875 м. Высокогорные участки, образующие линейно-вытянутые горные хребты и пояса, приурочены обычно к краевым частям континентов. Выделяют два меридиональных (Восточно- и Западно-Тихоокеанский) горных пояса и один широтный (Средиземноморский). Ровные участки суши с отметками в среднем 200 м называются равнинами. Они занимают около 20% суши. Возвышенные (до 1000 м) холмистые участки суши, называемые плоскогорьями, занимают 53% суши.

Средняя глубина океана - 3800 м. В строении океанического дна выделяют: шельф до глубины 200 м (5,5%), континентальный склон до глубины 3000 м (34,7%), ложе Мирового океана, глубоководные впадины или желоба глубиной до 11 км и срединные океанические хребты.

Выделяются два типа сочленения материков с океанами. Тихоокеанский тип характеризуется резким переходом краевых высокогорных сооружений через узкую полосу шельфа к глубоководным

океаническим впадинам. Атлантический тип, характерный для побережий Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов, отличается постепенным погружением равнинной суши под уровень океана с образованием широкой шельфовой полосы.

1.2.1. Строение Земли

[На оглавление](#)

Земля как планета характеризуется оболочечным строением с центральной симметрией. Оболочки Земли или геосферы различаются составом, физическими свойствами, состоянием вещества и подразделяются на внешние и внутренние. Внешние оболочки - атмосфера, гидросфера и биосфера составляют характерную особенность строения Земли и играют важную роль в формировании и развитии земной коры. Эти оболочки находятся во взаимодействии между собой и с твердыми оболочками Земли.

Атмосфера - газообразная оболочка Земли с массой 5,15-10 т. Большая часть массы атмосферы (90%) сосредоточена в слое до высоты 16 км, выше 100 км находится одна миллионная часть массы атмосферного воздуха. Атмосферу подразделяют на три горизонта: тропосферу, стратосферу и ионосферу. Важной особенностью стратосферы является наличие озонового слоя. Главные компоненты атмосферы - азот, кислород, аргон, углекислота составляют 99,99% сухого воздуха. В состав атмосферы входят также водород, озон и инертные газы. Особое место занимают мелкие коллоидные частицы - пыль различного происхождения и техногенные соединения: SO_2 , NO , CO_2 и др. Атмосферная влага образуется путем естественной дистилляции - испарения воды с поверхности Земли.

Воздушные массы атмосферы находятся в постоянном движении под воздействием неравномерного нагревания поверхности Земли и сил Кориолиса. В результате возникают периодически дующие ветры (бризы, муссоны, пассаты), циклоны и антициклоны, а также постоянные потоки воздуха. Воздушные потоки переносят влагу, пыль и существенно влияют на температуру различных областей поверхности Земли. Климатообразующая функция атмосферы связана с многообразием явлений, происходящих в тропосфере. В зависимости от влажности и температурных условий различают климаты: гумидный - влажный, с умеренной или высокой температурой, свойственный тропическим зонам и прилегающим областям; аридный - сухой жаркий климат пустынь и сухих степей; нивальный - влажный и холодный климат полярных и высокогорных областей. Кроме того выделяют умеренно-влажный и тропический типы климата.

Гидросфера, верхняя граница гидросферы определяется уровнем поверхности открытых водоемов. Нижняя граница неопределенная, предполагается, что она соответствует температурному уровню $374^{\circ}C$ (критическая температура воды), при котором вся вода переходит в газообразное состояние. В составе гидросферы выделяют три основных типа природных вод, обладающих различным составом и различными физическими свойствами. Это океаносфера (воды морей и океанов), воды суши и ледники. Промежуточное положение занимают подземные воды, сосредоточенные в земной коре. Общая масса гидросферы $1644 \cdot 10^{15} т$, что составляет около 0,025% общей массы Земли. Количество океанических вод - 1370 млн. $км^3$ (86,5%), вод суши - 0,5 млн. $км^3$, объем материковых льдов - около 22 млн. $км^3$, подземных вод - 196 млн. $км^3$. Все воды гидросферы в той или иной мере минерализованы и могут рассматриваться как природные растворы. Воды океана содержат в среднем 35 г солей на 1 л (3,5%). Большая часть вод суши образуется за счет атмосферных осадков и отличается минимальной минерализацией.

Под влиянием солнечной радиации воды гидросферы находятся в непрерывном кругообороте, в процессе которого в единую систему связываются все воды, а также осуществляется связь природных вод с атмосферой, земной корой и живым веществом планеты.

Биосфера. Это сфера обитания живых организмов. Она включает в себя всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы (ниже озонового экрана). Живое вещество Земли по своей массе ($2,4 \cdot 10^{12} т$) составляет ничтожную долю по сравнению с другими оболочками планеты,

но по своему воздействию на окружающую среду оно стоит на первом месте. Основу живого вещества составляет углерод. Кроме углерода широко распространены в живой природе кислород, водород, азот и сера. Остальные элементы встречаются в относительно небольших количествах. Основная масса живого вещества представлена зелеными растениями, главной функцией которых является фотосинтез - процесс поглощения солнечной энергии и консервации ее в виде химических связей органических соединений, происходящий с поглощением углекислого газа и выделением кислорода. В планетарном масштабе в реакциях фотосинтеза живым веществом биосферы ежегодно усваивается $3,65 \cdot 10^{11}$ т углекислоты и $1,5 \cdot 10^{11}$ т воды и выделяется 266 млрд. т свободного кислорода. Главным генератором свободного кислорода является биомасса Мирового океана. При гибели организмов происходит процесс разложения органического вещества с участием многочисленных бактериальных и грибковых организмов. Этот процесс находится в динамическом равновесии с фотосинтезом, поэтому общее количество биомассы на Земле постоянно. Фотосинтез вовлекает, а кругооборот огромные массы вещества Земли и является регулятором поверхностных геохимических процессов - фактором, определяющим наличие свободной энергии внешних оболочек планеты.

1.2.2. Внутренние геосферы

1.2.2.1. Методы изучения внутреннего строения и состава Земли

[На оглавление](#)

До сегодняшнего дня одной из наиболее сложных проблем геологии является изучение глубинного строения и состава Земли

Методы изучения внутреннего строения и состава Земли можно разделить на две основные группы: геологические методы и геофизические методы. **Геологические методы** базируются на результатах непосредственного изучения толщ горных пород в обнажениях, горных выработках (шахтах, штольнях и пр.) и скважинах. При этом в распоряжении исследователей имеется весь арсенал методов исследования строения и состава, что определяет высокую степень детальности получаемых результатов. Вместе с тем, возможности этих методов при изучении глубин планеты весьма ограничены – самая глубокая в мире скважина имеет глубину лишь -12262 м (Кольская сверхглубокая в России), ещё меньшие глубины достигнуты при бурении океанического дна (около -1500 м, бурение с борта американского исследовательского судна «Гломар Челленджер»). Таким образом, непосредственному изучению доступны глубины, не превышающие 0,19% радиуса планет.

Сведения о глубинном строении базируются на анализе косвенных данных, полученных **геофизическими методами**, главным образом закономерностей изменения с глубиной различных физических параметров (электропроводности, механической добротности и т.д.), измеряемых при геофизических исследованиях. В основу разработки моделей внутреннего строения Земли положены в первую очередь результаты сейсмических исследований, опирающиеся на данные о закономерностях распространения сейсмических волн. В очагах землетрясений и мощных взрывов возникают сейсмические волны - упругие колебания. Эти волны разделяются на объёмные - распространяющиеся в недрах планеты и «просвечивающие» их подобно рентгеновским лучам, и поверхностные - распространяющиеся параллельно поверхности и «зондирующие» верхние слои планеты на глубину десятки – сотни километров.

Объёмные волны, в свою очередь, разделяются на два вида - продольные и поперечные. Продольные волны, имеющие большую скорость распространения, первыми фиксируются сейсмоприёмниками, их называют первичными или Р-волнами (*от англ. primary - первичные*), более «медленные» поперечные волны называют S-волны (*от англ. secondary - вторичные*). Поперечные волны, как известно, обладают важной особенностью - они распространяются только в твёрдой среде.

На границах сред с разными свойствами происходит преломление волн, а на границах резких изменений свойств, помимо преломлённых, возникают отраженные и обменные волны. Поперечные

волны могут иметь смещение, перпендикулярное плоскости падения (SH-волны) или смещение, лежащее в плоскости падения (SV-волны). При переходе границы сред с разными свойствами волны SH испытывают обычное преломление, а волны SV, кроме преломлённой и отражённой SV-волн, возбуждают P-волны. Так возникает сложная система сейсмических волн, «просвечивающих» недра планеты (рис.1.1.).

Анализируя закономерности распространения волн можно выявить неоднородности в недрах планеты - если на некоторой глубине фиксируется скачкообразное изменение скоростей распространения сейсмических волн, их преломление и отражение, можно заключить, что на этой глубине проходит граница внутренних оболочек Земли, различающихся по своим физическим свойствам.

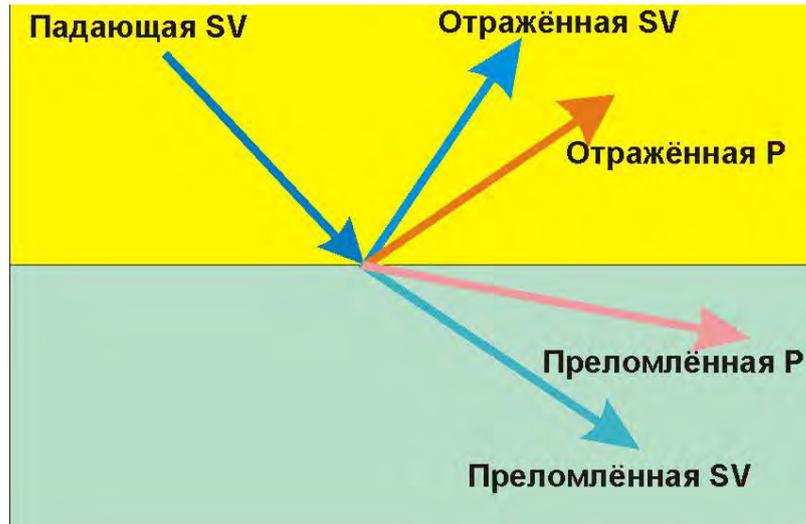


Рис.1.1 Система сейсмических волн

1.2.2.2. Сейсмическая модель Земли

[На оглавление](#)

Изучение путей и скорости распространения в недрах Земли сейсмических волн позволили разработать сейсмическую модель её внутреннего строения.

Сейсмическая модель Земли

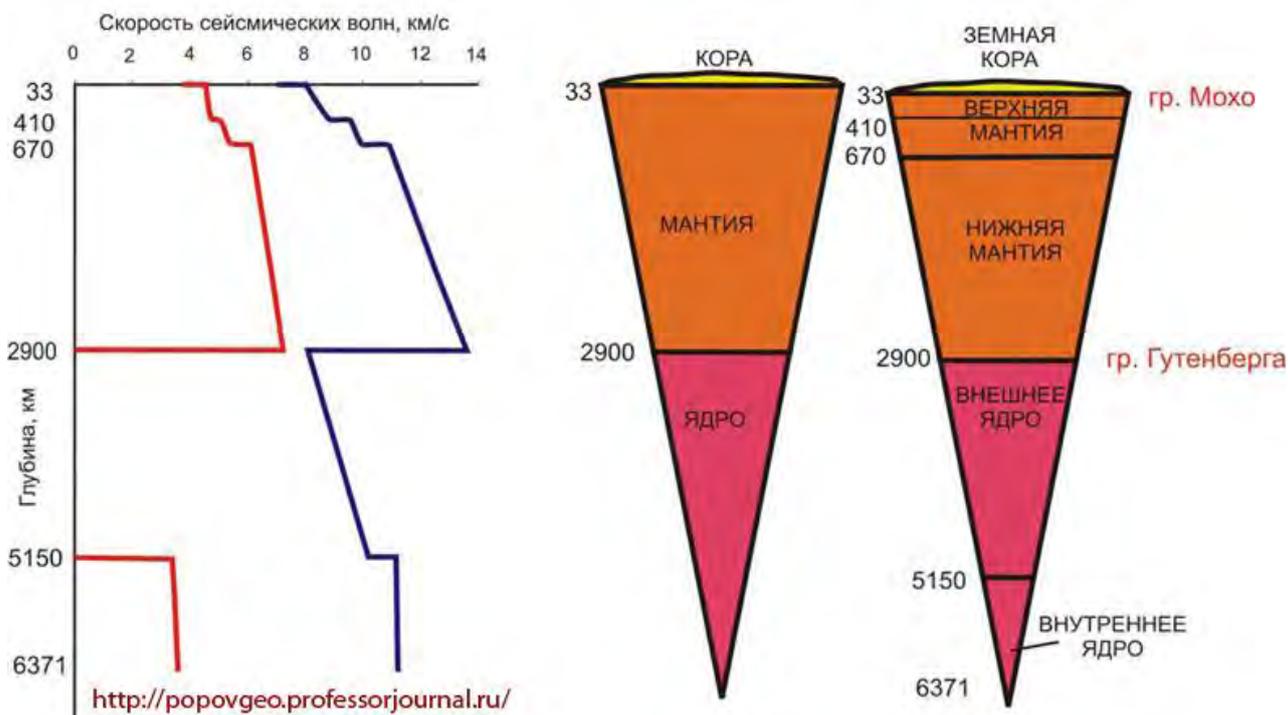


Рис. 2. Скорость сейсмических волн и сейсмическая модель Земли

Сейсмические волны, распространяясь от очага землетрясения вглубь Земли, испытывают наиболее значительные скачкообразные изменения скорости, преломляются и отражаются на сейсмических разделах, расположенных на глубинах **33 км** и **2900 км** от поверхности (см. рис.1.2). Эти резкие сейсмические границы позволяют разделить недра планеты на 3 главные внутренние геосферы – земную кору, мантию и ядро.

Земная кора от мантии отделяется резкой сейсмической границей, на которой скачкообразно возрастает скорость и продольных, и поперечных волн. Так скорость поперечных волн резко возрастает с 6,7-7,6 км/с в нижней части коры до 7,9-8,2 км/с в мантии. Эта граница была открыта в 1909 г. югославским сейсмологом Мохоровичичем и впоследствии была названа **границей Мохоровичича** (часто кратко называемой границей Мохо, или границей М). Средняя глубина границы составляет **33 км**; при этом под континентами глубина раздела Мохоровичича может достигать 60-75 км (что фиксируется под молодыми горными сооружениями – Андами, Памиром), под океанами – лишь 10-12 км, включая мощность толщи воды.

Ещё более резкая сейсмическая граница, разделяющая мантию и ядро, фиксируется на глубине **2900 км**. На этом сейсмическом разделе скорость Р-волн скачкообразно падает с 13,6 км/с в основании мантии до 8,1 км/с в ядре; S-волны – с 7,3 км/с до 0. Исчезновение поперечных волн указывает, что внешняя часть ядра обладает свойствами жидкости. Сейсмическая граница, разделяющая ядро и мантию, была открыта в 1914 г. немецким сейсмологом Гутенбергом, и её часто называют **границей Гутенберга**, хотя это название и не является официальным.

Резкие изменения скорости и характера прохождения волн фиксируются на глубинах 670 км и 5150 км. **Граница 670 км** разделяет мантию на верхнюю мантию (33-670 км) и нижнюю мантию (670-2900 км). **Граница 5150 км** разделяет ядро на внешнее жидкое (2900-5150 км) и внутреннее твёрдое (5150-6371 км).

Существенные изменения отмечаются и на сейсмическом разделе **410 км**, делящим верхнюю мантию на два слоя.

Полученные данные о глобальных сейсмических границах дают основание для рассмотрения современной сейсмической модели глубинного строения Земли.

Мантия представляет собой наибольшую по объёму и массе (2/3) внутреннюю оболочку Земли, ограниченную сверху границей Мохо, снизу – границей Гутенберга. В её составе выделяется верхняя мантия и нижняя мантия, разделённые границей 670 км.

Верхняя мантия по геофизическим особенностям разделяется на два слоя. Верхний слой - **подкорковая мантия** - простирается от границы Мохо до глубин 50-80 км под океанами и 200-300 км под континентами и характеризуется плавным нарастанием скорости как продольных, так и поперечных сейсмических волн, что объясняется уплотнением пород за счёт литостатического давления вышележащих толщ. Ниже подкорковой мантии до глобальной поверхности раздела 410 км расположен слой пониженных скоростей. Как следует из названия слоя, скорости сейсмических волн в нем ниже, чем в подкорковой мантии. Более того, на некоторых участках выявляются линзы, вообще не пропускающие S-волны, это даёт основание констатировать, что вещество мантии на этих участках находится в частично расплавленном состоянии. Этот слой называют астеносферой (*от греч. «asthenes» - слабый и «sphaire» - сфера*); термин введён в 1914 американским геологом Дж. Барреллом, в англоязычной литературе часто обозначаемый LVZ – *LowVelocityZone*. Таким образом, **астеносфера** – это слой в верхней мантии, выявляемый на основании снижения скорости прохождения сейсмических волн и обладающий пониженной прочностью и вязкостью.

Наличие пластичного астеносферного слоя, отличающегося по механическим свойствам от твёрдых вышележащих слоёв, даёт основание для выделения **литосферы** - твердой оболочки Земли, включающей земную кору и подкорковую мантию, расположенную выше астеносферы. Мощность литосферы составляет от 50 до 300 км. Нужно отметить, что литосфера не является монолитной каменной оболочкой планеты, а разделена на отдельные плиты, постоянно движущиеся по пластичной астеносфере. К границам литосферных плит приурочены очаги землетрясений и современного вулканизма.

Глубже раздела 410 км в верхней мантии повсеместно распространяются и P-, и S-волны, а их скорость относительно монотонно нарастает с глубиной.

В **нижней мантии**, отделённой резкой глобальной границей 670 км, скорость P- и S-волн монотонно, без скачкообразных изменений, нарастает соответственно до 13,6 и 7,3 км/с вплоть до раздела Гутенберга.

Во внешнем ядре скорость P-волн резко снижается до 8 км/с, а S-волны полностью исчезают. Исчезновение поперечных волн даёт основание предполагать, что внешнее ядро Земли находится в жидком состоянии. Ниже раздела 5150 км находится внутреннее ядро, в котором возрастает скорость P-волн, и вновь начинают распространяться S-волны, что указывает на его твёрдое состояние.

Фундаментальный вывод из описанной выше скоростной модели Земли состоит в том, что наша планета состоит из серии концентрических оболочек, представляющих железистое ядро, силикатную мантию и алюмосиликатную кору.

| Параметры геосферы | Глубина поверхности раздела, км | Название границы | Скорость распространения сейсмических волн | | Плотность г/см ³ | Химический состав |
|--------------------|---------------------------------|------------------|--|----------------|-----------------------------|-------------------|
| | | | V _p | V _s | | |
| Земная кора слой А | 33 | Мохоровичича | 5.5-7.4 | 3.2-4.3 | 2.8 | O, Si, Al |

| | | | | | | | | |
|--------|------------|--------|------|-------------|-----------|---------|----------|-------------------|
| Мантия | верхняя | слой В | 410 | – | 7.9-9.0 | 4.5-5.0 | 3.7 | перидотиты |
| | | | 950 | – | 9.0-11.4 | 5.0-6.4 | 4.6 | дуниты |
| | нижняя | слой С | 2700 | – | 11.4-13.6 | 6.4-7.3 | 5.5-5.7 | Si, Mg, Fe |
| | | слой D | 2900 | Гуттенберга | 13.6 | 7.3 | | оксиды пиролит |
| | внешнее | слой E | 4980 | – | 8.1-10.4 | – | 9.7-10.0 | Fe+Ni+FeO |
| Ядро | переходная | слой F | 5120 | Лемана | 10.4-9.5 | – | 11.5 | FeS-троилит |
| | внутреннее | слой G | 6371 | – | 11.2-11.3 | – | 12.5-13 | Fe+Ni |

1.2.2.3. Вещественный состав мантии и ядра Земли

[На оглавление](#)

О вещественном составе глубинных зон прямых данных практически нет. Выводы базируются на геофизических данных, дополняемых результатами экспериментов и математического моделирования. Существенную информацию несут метеориты и фрагменты верхнемантийных пород, выносимые из недр глубинными магматическими расплавами. Валовый химический состав Земли очень близок к составу углистых хондритов – метеоритов, по составу близких первичному космическому веществу, из которого формировалась Земля и другие космические тела Солнечной системы. По валовому составу Земля на 92% состоит всего из пяти элементов (в порядке убывания содержания): кислорода, железа, кремния, магния и серы. На все остальные элементы приходится около 8%.

Однако в составе геосфер Земли перечисленные элементы распределены неравномерно - состав любой оболочки резко отличается от валового химического состава планеты. Это связано с процессами дифференциации первичного хондритового вещества в процессе формирования и эволюции Земли.

Основная часть железа в процессе дифференциации сконцентрировалась в ядре. Это хорошо согласуется и с данными о плотности вещества ядра, и с наличием магнитного поля, с данными о характере дифференциации хондритового вещества и с другими фактами. Эксперименты при сверхвысоких давлениях показали, что при давлениях, достигаемых на границе ядра и мантии, плотность чистого железа близко к 11 г/см^3 , что выше фактической плотности этой части планеты. Следовательно, во внешнем ядре присутствует некоторое количество лёгких компонентов. В качестве наиболее вероятных компонентов рассматриваются водород или сера. Так расчёты показывают, что смесь 86% железа + 12% серы + 2% никеля соответствует плотности внешнего ядра и должна находиться в расплавленном состоянии при Р-Т условиях этого участка планеты. Твёрдое внутреннее ядро, представлено никелистым железом, вероятно, в соотношении 80% Fe + 20% Ni, что отвечает составу железных метеоритов.

Для описания химического состава мантии к сегодняшнему дню предложено несколько моделей. Несмотря на имеющиеся между ними различия, всеми авторами принимается, что, примерно на 90% мантия состоит из окислов кремния, магния и двухвалентного железа; еще 5 – 10% представлены окислами кальция, алюминия и натрия. Таким образом, на 98% мантия состоит всего из шести перечисленных окислов.

Вглубь планеты Земля Производство: Discovery, 2009 г. Ссылка (torrent файл)

1.3. Физические поля и геофизическая характеристика Земли

1.3.1. Распределение массы между внутренними геосферами.

[На оглавление](#)

Основная часть массы Земли (около 68%) приходится на ее относительно лёгкую, но большую по объёму, при этом примерно 50% приходится на нижнюю мантию и около 18% – на верхнюю. Оставшиеся 32% общей массы Земли приходятся в основном на ядро, причем его жидкая внешняя часть (29% общей массы Земли) гораздо тяжелее, чем внутренняя твердая (около 2%). На кору остается лишь менее 1% общей массы планеты (рис.1. 3).



Рис.1. 3. Относительная масса внутренних оболочек Земли

Плотность оболочек закономерно возрастает к центру Земли (см. рис.1.4.). Средняя плотность коры составляет $2,67 \text{ г/см}^3$. В мантии плотность постепенно возрастает за счет сжатия силикатного вещества и фазовых переходов (перестройкой кристаллической структуры вещества в ходе «приспособления» к возрастающему давлению) от $3,3 \text{ г/см}^3$ в подкоревой части до $5,5 \text{ г/см}^3$ в низах нижней мантии. На границе Гутенберга (2900 км) плотность скачкообразно увеличивается почти вдвое – до 10 г/см^3 во внешнем ядре. Еще один скачок плотности – от $11,4$ до $13,8 \text{ г/см}^3$ - происходит на границе внутреннего и внешнего ядра (5150 км). Эти два резких плотностных скачка имеют различную природу: на границе мантия-ядро происходит изменение химического состава вещества (переход от силикатной мантии к железному ядру), а скачок на границе 5150 км связан с изменением агрегатного состояния (переход от жидкого внешнего ядра к твердому внутреннему). В центре Земли плотность вещества достигает $14,3 \text{ г/см}^3$.



Рис.1.4. Изменение плотности с глубиной

Давление в недрах Земли рассчитывается на основании ее плотностной модели. Увеличение давления по мере удаления от поверхности обуславливается несколькими причинами:

- сжатием за счет веса вышележащих оболочек (литостатическое давление);
- фазовыми переходами в однородных по химическому составу оболочках (в частности, в мантии);
- различием в химическом составе оболочек (коры и мантии, мантии и ядра).

У подошвы континентальной коры давление составляет около 1 ГПа (точнее $0,9 \cdot 10^9$ Па). В мантии Земли давление постепенно растет, на границе Гутенберга оно достигает 135 ГПа. Во внешнем ядре градиент роста давления увеличивается, а во внутреннем ядре, наоборот, уменьшается. Расчетные величины давления на границе между внутренним и внешним ядрами и вблизи центра Земли составляют соответственно 340 и 360 ГПа (рис.1.5).

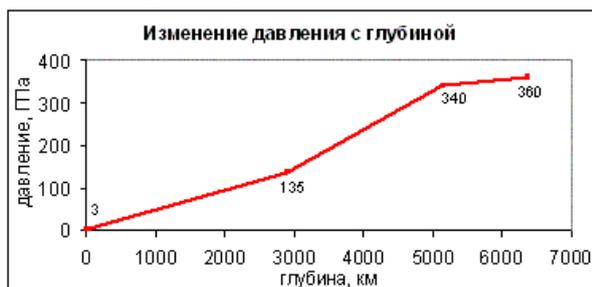


Рис.1.5. Изменение давления с глубиной

1.3.2. Тепловое поле Земли. Источники тепловой энергии.

[На оглавление](#)

Протекающие на поверхности и в недрах планеты геологические процессы в первую очередь обусловлены тепловой энергией. Тепловое поле Земли формируется под действием эндогенных (или внутренних источников), связанных с генерацией тепла в недрах планеты, и экзогенных (или внешних по отношению к планете).

На поверхности планеты важнейшую роль имеет экзогенный источник тепла - солнечное излучение. Температура поверхности Земли определяется главным образом солнечным теплом, поток которого составляет в среднем $3,4 \cdot 10^2$ Дж/с см². 1 Дк = 10 зрг; 1 кал. = 4,187 Дж. Считается, что поверхность Земли находится в состоянии, близком к тепловому равновесию, и в среднем излучает столько же тепла, сколько получает. Поток тепла меняется по интенсивности и направлению. Температурные колебания разного периода проникают на различную глубину. О длиннопериодных вариациях теплового поля Земли свидетельствуют эпохи оледенений.

Ниже поверхности Земли влияние солнечного тепла резко снижается. Уже на небольшой глубине (до 20-30 м) располагается пояс постоянных температур - область глубин, где температура остаётся постоянной и равна среднегодовой температуре района. Ниже пояса постоянных температур тепло связано с эндогенными источниками. Тепловой поток, генерируемый в недрах Земли, оценива-

ется в ~ 1025 Дж/год. Температура горных пород с глубиной возрастает. Интенсивность поступления тепловой энергии из недр к поверхности отражается в величине геотермического градиента. Геотермический градиент – приращение температуры с глубиной, выраженной в $^{\circ}\text{C}/\text{км}$. «Обратной» характеристикой является геотермическая ступень - глубина в метрах, при погружении на которую температура повысится на 1°C . Средняя величина геотермического градиента в верхней части коры составляет $33^{\circ}\text{C}/\text{км}$ и колеблется от $200^{\circ}\text{C}/\text{км}$ в областях современного активного магматизма до $5^{\circ}\text{C}/\text{км}$ в областях со спокойным тектоническим режимом. С глубиной величина геотермического градиента существенно уменьшается, составляя в литосфере, в среднем около $10^{\circ}\text{C}/\text{км}$, а в мантии - менее $1^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Причина этого кроется в распределении источников тепловой энергии и характере теплопереноса.

Источниками эндогенной энергии являются следующие:

- 1). Энергия глубинной гравитационной дифференциации, т.е. выделение тепла при перераспределении вещества по плотности при его химических и фазовых превращениях. Основным фактором таких превращений служит давление. В качестве главного уровня выделения этой энергии рассматривается граница ядро – мантия.
- 2). Радиогенное тепло, возникающее при распаде радиоактивных изотопов. Согласно некоторым расчётам, этот источник определяет около 25% теплового потока, излучаемого Землёй. Однако необходимо принимать во внимание, что повышенные содержания главных долгоживущих радиоактивных изотопов – урана, тория и калия отмечаются только в верхней части континентальной коры (зона изотопного обогащения). Например, концентрация урана в гранитах достигает $3,5 \cdot 10^{-4}\%$, в осадочных породах - $3,2 \cdot 10^{-4}\%$, в то время как в океанической коре она ничтожно мала: около $1,66 \cdot 10^{-7}\%$. Таким образом, радиогенное тепло является дополнительным источником тепла в верхней части континентальной коры, что и определяет высокую величину геотермического градиента в этой области планеты.
- 3). Остаточное тепло, сохранившееся в недрах со времени формирования планеты.
- 4). Твёрдые приливы, обусловленные притяжением Луны. Переход кинетической приливной энергии в тепло происходит вследствие внутреннего трения в толщах горных пород. Доля этого источника в общем тепловом балансе невелика – около 1-2 %.

В литосфере преобладает кондуктивный (молекулярный) механизм теплопереноса, в подлитосферной мантии Земли происходит переход к преимущественно конвективному механизму теплопереноса. Расчёты температур в недрах планеты дают следующие значения: в литосфере на глубине около 100 км температура составляет около 1300°C , на глубине 410 км – 1500°C , на глубине 670 км – 1800°C , на границе ядра и мантии – 2500°C , на глубине 5150 км – 3300°C , в центре Земли – 3400°C . При этом в расчёт принимался только главный (и наиболее вероятный для глубинных зон) источник тепла – энергия

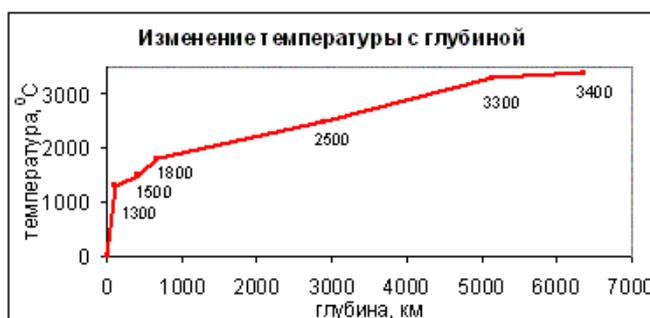


Рис.1.6. Изменение температуры с глубиной

1.3.3.Магнетизм Земли

[На оглавление](#)

Земля представляет собой гигантский магнит с магнитным силовым полем и магнитными полюсами, которые располагаются поблизости от географических, но не совпадают с ними. Поэтому в показаниях магнитной стрелки компаса различают магнитное склонение и магнитное наклонение.

Магнитное склонение-это угол между направлением магнитной стрелки компаса и географическим меридианом в данной точке. Этот угол будет наибольшим на полюсах (до 90^0) и наименьшим на экваторе ($7-8^0$).

Магнитное поле Земли характеризуется напряженностью T . Единицей измерения магнитной напряженности является одна стотысячная доля эрстеда - гамма. Линии напряженности представляют собой силовые линии магнитного поля. Они направлены от южного магнитного полюса к северному. В каждой точке этой линии напряженность является касательной. Наклон этой касательной к соответствующему магнитному меридиану называется магнитным наклонением т.е. магнитное наклонение - угол, образуемый наклоном магнитной стрелки к горизонту. В приближении к магнитному полюсу стрелка компаса займёт вертикальное положение.

Предполагается, что возникновение магнитного поля обусловлено системами электрических токов, возникающих при вращении Земли, в связи с конвективными движениями в жидком внешнем ядре. Суммарное магнитное поле складывается из значений главного поля Земли и поля, обусловленного ферромагнитными минералами в горных породах земной коры. Магнитные свойства характерны для минералов – ферромагнетиков, таких как магнетит ($FeFe_2O_4$), гематит (Fe_2O_3), ильменит ($FeTiO_2$), пирротин ($Fe_{1-2}S$) и др., которые являются полезными ископаемыми и устанавливаются по магнитным аномалиям. Для этих минералов характерно явление остаточной намагниченности, которая наследует ориентировку магнитного поля Земли, существовавшего во время образования этих минералов. Восстановление места положения магнитных полюсов Земли в разные геологические эпохи свидетельствует о том, что магнитное поле периодически испытывало инверсию. Северный полюс занимал место южного и, наоборот, с примерной частотой 5 раз в 1 млн. лет.

Геомагнитное поле непостоянно, оно меняется из года в год, из столетия в столетие, возрастая в одних районах и уменьшаясь в других -вековой ход. Помимо вековых магнитное поле испытывает суточные колебания, связанные с действием ультрафиолетового излучения Солнца. Известны очень резкие колебания продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток - магнитные бури.

Изучение аномального магнитного поля широко используется для исследования строения земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых.

1.3.4.Гравитационное поле Земли

[На оглавление](#)

Огромная масса Земли является причиной существования сил притяжения, которые воздействуют на все тела и предметы, находящиеся на ее поверхности. Пространство, в пределах которого проявляются силы притяжения Земли, называется полем силы тяжести или гравитационным полем. Поле силы тяжести на поверхности Земли является результирующей двух основных сил: силы притяжения Земли и центробежной силы, вызванной её вращением вокруг своей оси. Величина силы тяжести выражается в галах ($1 \text{ гал} = - 1 \text{ см/с}^2$). Среднее значение силы тяжести на поверхности Земли равно 979,7 гал. Центробежная сила, направленная от оси вращения, уменьшает силу тяжести, причём в наибольшей степени на экваторе. Уменьшение силы тяжести от полюсов к экватору обусловлено и формой Земли, несколько сжатой с полюсов. В результате действия обеих причин сила тяжести на экваторе примерно на 0,5% меньше, чем на полюсах. Вследствие неравномерности распределения

масс в земной коре и других причин фактические значения силы тяжести отличаются от теоретически рассчитанных. Эти отклонения называются гравитационными аномалиями. Особенности строения и состава осадочного чехла проявляются в региональных и локальных аномалиях. Региональные занимают площади в десятки и сотни тысяч км и отличаются большой интенсивностью. В пределах региональных аномалий проявляются локальные аномалии.

Изучение гравитационных полей позволяет выявить особенности строения земной коры, установить границы нефтегазоносных, угленосных и рудоносных зон и областей.

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=3xLiOFjemWQ **здесь видео**

1.4. Земная кора

1.4.1. Строение земной коры

[На оглавление](#)

Внешней оболочкой твёрдой Земли является земная кора. Земная кора - это верхняя часть каменной оболочки Земли (литосферы), сложенная магматическими, метаморфическими и осадочными породами, сфера деятельности магматических и тектонических процессов. За нижнюю границу земной коры принимается раздел Мохоровичича. Земная кора относительно маломощная оболочка, толщина которой составляет от 6-7 км под океанами до 60-70 км под континентальными горными сооружениями.

Литосфера - это подвижный поверхностный прочный слой, способный выдерживать напряжения $p \sim 10^7$ н/м². Литосфера рассматривается как тонкая упругая оболочка, плавающая на жидком субстрате и способная изгибаться под действием нагрузок. Литосфера включает в себя земную кору и верхнюю мантию до кровли астеносферы. Все схемы строения земной коры - это модели, построенные на косвенных данных.

Существуют два главных типа земной коры – континентальная и океанская, принципиально различающиеся по строению, составу, происхождению и возрасту.

Континентальная кора имеет мощность от 20 до 80 км (среднюю мощность около 33 км), в её разрезе выделяются 3 слоя. Самый верхний слой земной коры осадочный. На континентах он характеризуется скоростями продольных сейсмических волн от 2 до 5 км/с. Осадочный слой имеет прерывистое распространение и при средней мощности около 2,5 км местами отсутствует, а иногда достигает 20 км. Этот слой часто называют "стратисфера". Стратисфера (лат. "стратум" - слой) сложена осадочными и вулканогенно-осадочными породами: глинами и глинистыми сланцами, песчаными, вулканогенными и метаморфинизированными магматическими породами. Объем пород, образующих осадочный чехол, более 80 млн.км³. Ниже располагается верхняя кора (гранито-гнейсовый или «гранитный» слой), сложенный магматическими и метаморфическими породами богатыми кремнезёмом (в среднем соответствующими по химическому составу гранодиориту). Скорость прохождения Р-волн в данном слое составляет 5,9-6,5 км/с. Мощность слоя колеблется от 8 до 25 км. В основании верхней коры выделяется сейсмический раздел Конрада, отражающий возрастание скорости сейсмических волн при переходе к нижней коре. Но этот раздел фиксируется не повсеместно: в континентальной коре часто фиксируется постепенное возрастание скоростей волн с глубиной. Нижняя кора (гранулитно-базитовый слой) отличается более высокой скоростью волн (6,7-7,5 км/с для Р-волн), что обусловлено изменением состава пород при переходе от верхней мантии. Согласно наиболее принятой модели её состав соответствует гранулиту.

В формировании континентальной коры принимают участие породы различного геологического возраста, вплоть до самых древних возрастом около 4 млрд. лет.

Океанская кора имеет относительно небольшую мощность, в среднем 6-7 км. В её разрезе в самом общем виде можно выделить 2 слоя. Верхний слой – осадочный, характеризующийся малой

мощностью (в среднем около 0,4 км) и низкой скоростью Р-волн (1,6-2,5 км/с). Аномальными выглядят лишь океанические желоба, где мощность осадков может быть как существенно выше средней (6,5 км на юго-западе Японии, более 3 км на северных берегах Колумбии), так и очень низкой (осадки практически отсутствуют в желобе вдоль подвижного хребта в центральной части Индийского океана). Гранито-гнейсовый слой в коре океанического типа не обнаружен. Нижний слой – «базальтовый» - сложенный основными магматическими породами (вверху – базальтами, ниже – основными и ультраосновными интрузивными породами). Скорость продольных волн в «базальтовом» слое нарастает от 3,4-6,2 км/св базальтах до 7-7,7 км/с в наиболее низких горизонтах коры.

Возраст древнейших пород современной океанской коры около 160 млн. лет.

Кроме основных типов земной коры иногда выделяются ещё и промежуточные типы:

Субокеаническая кора развита во внутренних и краевых морях, где глубины не превышают 2 км. Ее строение отличается от строения океанической коры большей мощностью рыхлых осадков (3-6 км и более).

Субконтинентальная кора характерна для окраин материков и островных дуг. От материковой коры она отличается меньшей мощностью. Другой особенностью этого типа коры является наличие постепенного перехода от гранитного слоя к базальтовому.

Участки земной коры, различающиеся типом геологического строения, называются структурными элементами.

С точки зрения закономерностей пространственного строения океаны и континенты - это структуры первого (планетарного) порядка, существенно отличающиеся геологическим строением и характером развития.

В пределах структурных элементов первого порядка по особенностям геологического строения и развития выделяются структуры второго порядка: на материках - платформенные и геосинклинальные области, на океанической коре - платформы и срединно-океанические хребты. В свою очередь эти структуры могут быть разделены по особенностям строения на более мелкие структурные элементы: глобальные, региональные и локальные.

Платформы (фр. "плат" - плоский, "форм" - форма) - это обширные тектонически устойчивые области. Они характеризуются средними и устойчивыми значениями мощности земной коры; горизонтальным или почти горизонтальным залеганием осадочных пород; равнинным рельефом. Платформы имеют двухъярусное строение и состоят из более древнего кристаллического фундамента и перекрывающего его осадочного чехла, республика Беларусь расположена в пределах западной части Восточно-Европейской (Русской) платформы. Области платформ с двухъярусным строением называют плитами.

Выходы фундамента на дневную поверхность называют щитами. На Восточно-Европейской платформе выделяются Балтийский и Украинский щиты.

Геосинклиналями (греч. "гео" - земля, "син" - вместе, "клин" -наклон) называются линейно вытянутые тектонические подвижные зоны. Они характеризуются значительной до 70-80 км мощностью земной коры и ее резкими колебаниями; нарушенным складчато-разрывным залеганием горных пород и горным рельефом. Примером геосинклиналей служат такие горно-складчатые сооружения, как Урал, Кавказ и др.

1.4.2. Химический состав земной коры

[На оглавление](#)

Земная кора образована различными по составу и происхождению горными породами. Любая горная порода представляет собой естественную ассоциацию минералов. Минералы в свою очередь являются химическими элементами или их природными соединениями. Вещество земной коры в порядке усложнения степени его организации образует такой последовательный ряд: химический элемент-минерал-горная порода-комплекс (формация) горных пород.

Изучением химического состава земной коры, закономерностей его изменения в пространстве и времени занимается геохимия. Установлено, что в земной коре присутствует 93 химических элемента (в космосе - 97). Большинство из них являются сложными, т.е. представлены смесью различных изотопов. Проблема распространенности химических элементов в земной коре принадлежит к числу важнейших проблем геохимии и имеет огромное практическое значение, поскольку среднее содержание химического элемента в технически доступных частях Земли относится к числу важнейших факторов, определяющих его ценность. Поиски, добыча в виде руды и извлечение малораспространенного элемента, как правило, обходятся значительно дороже, чем более распространенного элемента. Расчет среднего химического состава земной коры связывают с именем американского исследователя Ф.Кларка. Исходя из предположения, что земная кора до глубины 5 км на 95% состоит из магматических пород, на 5%- из осадочных пород, он вычислил средние содержания 50 главных химических элементов. Изучением распространенности химических элементов в земной коре занимались многие ученые. Наиболее обоснованными и используемыми являются данные, полученные А.П.Виноградовым и Р.Тейлором. Средние содержания отдельных элементов в земной коре называются кларками. Различают кларки весовые (массовые), атомные и объемные. Весовые кларки - это средние массовые содержания элементов, выраженные в процентах или в граммах на грамм породы. Атомные кларки выражают процентные количества числа атомов элементов. Объемные кларки показывают, какой объем в процентах занимает данный элемент. По А.П.Виноградову, в земной коре наиболее распространены следующие химические элементы (%): 47,2 - O; 27,6 - Si; 8,3- Al; 5,1- Fe; 3,6- Ca; 2,64- Na; 2,6- K; 2,1- Mg; 0,6- Ti; 0,15- H; 0,1- C. Таким образом, из 93 химических элементов, установленных в земной коре, на 11 элементов приходится 99,99% массы, а на остальные 82 элемента - 0,01%.

Распространенность химических элементов в земной коре крайне неравномерна и характеризуется большими контрастами. Кларки отдельных элементов изменяются от десятков процентов до 10 % и ниже. Следует отметить, что понятие "распространенность химических элементов" часто не соответствует представлениям об их обычности и редкости. Например, такие обычные элементы, как Si, Zn, Pb, имеют кларки, во много раз меньшие, чем считающиеся редкими Zr, V, U. Причиной такого несоответствия является различная способность химических элементов к образованию значительных концентраций в земной коре. Эта способность определяется их химическими свойствами, зависящими от структуры внешних электронных оболочек атомов, а также термодинамическими условиями земной коры.

Существует целый ряд геохимических классификаций элементов. Г.Вашингтон разделил все элементы периодической системы горизонтальной ломаной линией так, что часть из них оказалась выше, а часть - ниже этой линии. Элементы верхней части таблицы были названы петрогенными (Si, O, Ca, K, Na, Mg; Al). Они составляют основную массу земной коры - массивы горных пород и месторождения неметаллических полезных ископаемых. Элементы, находящиеся в нижней части таблицы, было предложено назвать металлогенными. Эти элементы содержатся в земной коре в крайне ограниченных количествах и составляют главным образом рудные месторождения (Cu, Pb, Zn, Mo и др.). Часть элементов, располагающихся на границе по ломаной линии (Fe, Mn и др.), играют в природе двойственную роль: с одной стороны, они участвуют в образовании минералов, входящих в состав горных пород, как петрогенные элементы, с другой - дают типичные соединения тяжелых металлов как металлогенные элементы.

Сравнение содержаний химических элементов (в %) в Земле в целом (28,56- O; 14,47- Si; 1,22- Al; 37,04- Fe; 11,03- Mg; 1,38- Ca; 0,15 K; 0,52 Na) с содержанием их в земной коре позволяет заключить, что последняя по сравнению с внутренними геосферами резко обогащена такими химическими элементами, как O, Si, Al, K, Na, Ca, и обеднена Fe и Mg (а также тяжелыми металлами Ni, Cr, Co).

Химический состав земной коры изменяется в течение всего геологического времени. Согласно расчетам В.И. Вернадского за счет ядерных превращений ежегодно обновляет свой химический состав $10^6 - 10^{10}$ т вещества земной коры. Продолжаются процессы миграции химических элементов из

одной геосферы в другую. Происходят изменения и за счет поступления метеоритного вещества в виде метеоритов и космической пыли.

1.5. Минералы

1.5.1. Общая характеристика минералов

[На оглавление](#)

В настоящее время доминирует представление, что для земной коры фундаментальным является минеральный уровень структурной организации вещества. Минералы в иерархии природных объектов занимают ключевое место между атомным уровнем, представители которого в виде отдельных элементов входят в минералы, и уровнем горных пород, элементами которого выступают сами минералы.

Под минералом понимается кристаллическая составная часть горных пород, руд и других агрегатов природного неорганического мира, которая образовалась в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре и в прилегающих к ней оболочках.

Минералы в земной коре находятся в виде индивидов, которые представляют собой физически и химически индивидуализированные кристаллы или зерна. Совокупность минеральных индивидов одинаковой природы (близких по своей конституции) называется минеральным видом. Число минеральных индивидов в литосфере не поддается исчислению, количество же минеральных видов составляет всего около 3000.

Вся земная кора, все горные породы и месторождения полезных ископаемых состоят из минералов. Минералы – природные химические соединения или самородные элементы, возникающие в результате разнообразных физико-химических и термодинамических процессов, происходящих в земной коре и на ее поверхности. Минералы встречаются в твердом (кварц, полевой шпат, магнетит), жидком (нефть, ртуть, вода) и газообразном (горючие газы, углекислый газ, сероводород) состояниях.

К минералам относят также природные химически и структурно однородные образования, являющиеся составными частями других космических тел – Луны, планет, метеоритов. Так, можно говорить о минеральном составе лунных горных пород, минеральном составе каменных метеоритов и т.д. При этом интересно отметить, что некоторые минералы, известные в метеоритах, не известны на Земле (например, сульфид кальция – ольдгамит CaS или фосфид железа, никеля и кобальта – шрейберзит $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{P}$).

Твердые минералы в большинстве случаев являются кристаллическими веществами, имеющими форму более или менее выраженных многогранников, зерен или сплошных масс. Кристаллические структуры очень разнообразны и выражается это многообразие во внешнем облике кристаллов, их форме. Кроме явно кристаллических веществ в земной коре широко распространены скрытокристаллические, к числу которых относятся коллоиды. Примером их являются: лимонит, опал (в виде гелей); железистые воды (в виде зольей). Реже встречаются аморфные минералы, образующие бесформенные массы. Аморфные (стеклообразные) вещества подобны жидкостям или расплавам.

Образование кристаллов происходит при переходе вещества из любого агрегатного состояния в твердое. При этом частицы могут оказаться относительно друг друга в беспорядочном положении или может возникнуть закономерность их расположения. В первом случае образуется аморфное вещество, а во втором кристаллическое.

Кристаллы могут образовываться при переходах вещества из газообразного состояния в твердое, из жидкого в твердое, из твердого в твердое. Образование кристаллов серы, нашатыря, борной кислоты и др. происходит при охлаждении газов в кратерах вулканов и фумаролах. Особенно широко распространено в природе и технике образование кристаллов при переходе вещества из жидкого состоя-

ния в твёрдое. Здесь различается два способа образования кристаллов: из расплава и из раствора. Примером первого является кристаллизация магмы.

Магма -это огненно-жидкий силикатный расплав, содержащий различные химические соединения, в том числе и газы. При медленном остывании магмы образуется множество центров кристаллизации, кристаллы растут, мешая друг другу, и в результате образуется кристаллическая зернистая порода.

Примером образования кристаллов из растворов служит выпадение различных солей в осадок. При переходе из одного твёрдого состояния в другое твёрдое следует отметить два случая.

В первом кристаллы могут образовываться из аморфного вещества. Так, с течением времени закристаллизовываются стёкла и содержащие стёкла вулканические породы.

Другой случай - перекристаллизация: структура одних веществ разрушается, и образуются новые кристаллы с иной структурой. Все метаморфические породы являются в той или иной степени перекристаллизованными. Например, под влиянием температуры, давления и других факторов известняк переходит в мрамор. Явление перекристаллизации широко распространено в природе.

1.5.2. Кристаллографические свойства минералов

[На оглавление](#)

Характерным свойством большинства кристаллических минералов является свойство самоограничения при их росте, т.е. способность образовывать кристаллы. Изучением кристаллической формы и структур минералов занимается кристаллография. Опыт показывает, что если поместить обломок или пластинку из кристалла в раствор или расплав того же вещества и дать им возможность свободно расти, то опять вырастет кристалл в форме правильного, симметричного многогранника. Поскольку в структуре кристалла в разных направлениях различны расстояния и силы связи между частицами, большинство свойств кристалла анизотропно. Анизотропия кристаллов проявляется в различии физических свойств кристаллов в разных направлениях. Например, слюда легко расщепляется на параллельные листочки, но только вдоль плоскостей с одной определенной ориентацией, а вдоль других плоскостей расщепить ее не удается.

Анизотропной является и скорость роста кристалла. Если бы скорость роста была изотропной, кристалл вырос бы в форме шара. Именно вследствие того, что скорости роста кристалла различны в разных направлениях и эти различия симметричны в пространстве, кристалл вырастает в форме симметричных правильных многогранников. Внешняя форма кристалла отражает анизотропию и симметрию его скоростей роста. Когда кристалл растёт, частицы выстраиваются в закономерные и симметричные ряды, сетки, решетки.

Грани кристаллических многогранников соответствуют плоскостям, составленным из материальных частиц, ребра кристалла – линиям пересечения этих плоскостей, т. е. рядам материальных частиц. Центры масс частиц могут образовать плоские сетки и ряды решетки. Очевидно, любой ряд в структуре соответствует возможному ребру кристалла, а любая плоскость – возможной грани кристалла. Кристалл растёт так, что частицы вещества из окружающей среды отлагаются на его гранях. Грани нарастают параллельно себе (рис.1.7.).

В кристаллическом многограннике симметричные структуры решеток являются естественными трехмерными дифракционными решетками для рентгеновских лучей. Структуру кристаллов исследуют по дифракции рентгеновских лучей, дифракции электронов, нейтронов, с помощью электронного микроскопа, ионного проектора и другими методами.

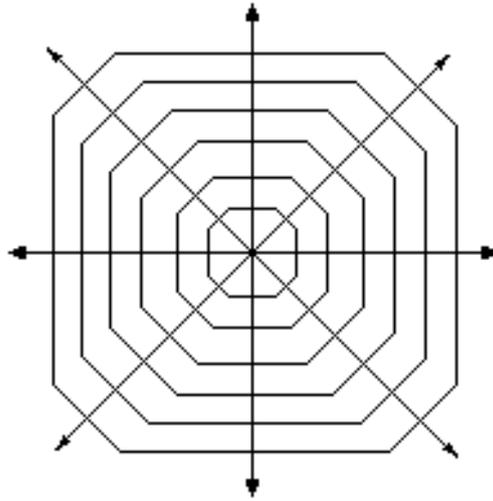


Рис. 1.7. Схема параллельного нарастания граней кристалла (стрелками изображены нормали к граням)

Элементы ограничения кристаллов

Каждому минералу присуща своя кристаллическая форма, зависящая от типа связей решетки, химического состава и условий его формирования. С точки зрения геометрической кристаллографии, кристалл представляет собой многогранник. Чтобы охарактеризовать форму кристаллов, пользуются понятием элементов ограничения. Внешняя форма кристаллов складывается из трех элементов ограничения: граней (плоскостей), ребер (линии пересечения граней) и граничных углов. Формы граней, типы ребер и углов представляют большое разнообразие.

В кристаллографии приняты термины, в основу которых положены греческие корни. В табл.1.1. приводятся главнейшие из них.

Таблица 1.1.

Кристаллографические термины

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Моно – одно, один | Додека – двенадцать |
| Ди – два, дважды | Син – сходный |
| Три – три, трижды | Клинэ – наклон, наклонно |
| Тетра – четыре, четырежды | Поли – много |
| Пента – пять | Скалена – кривой, неровный |
| Гекса – шесть | Эдра – грань |
| Окта – восемь | Гония – угол |
| Дека – десять | Пинакос – доска, таблица |

Например: пентагонтритетраэдр - фигура, состоящая из двенадцати пятиугольных граней (тритетра - $3 \cdot 4 = 12$, пента - пять, гон - угол, эдр - грань); дигексагональная бипирамида - фигура, состоящая из двух пирамид, соединенных основаниями, каждая из которых имеет по двенадцать треугольных граней. В поперечном сечении фигура имеет двенадцатиугольник.

Грани соответствуют плоским сеткам пространственной решетки. Наиболее характерными типами граней являются: тригон - равносторонний треугольник; дельта - равнобедренный треугольник; скалена - неравносторонний треугольник; тетрагон - квадрат; призматическая грань - прямоугольник; ромбоид - косоугольный неравносторонний параллелограмм; ромб; клинограм - трапециод, не имеющий параллельных сторон; пентагон - пятиугольник; гексагон - шестиугольник.

Ребра образуются на пересечении двух граней и отвечают рядам пространственной решетки. Гранные углы (вершины) располагаются на пересечении нескольких граней (трех и более). Количество элементов ограничения связано между собой простой зависимостью: $\Gamma + B = P + 2$, где Γ - число граней, B - число вершин, P - число ребер. Возьмем, например, куб; в нем имеется 6 граней, 8 вершин и 12 ребер. Получаем: $6 + 8 = 12 + 2$.

Для всех кристаллов одного и того же вещества углы между соответствующими гранями одинаковы и постоянны. Этот закон постоянства граничных углов дает возможность определять минералы даже в мелких обломках кристаллов и позволяет вывести для каждого естественного кристалла идеальную форму, которая характеризует свойственный данному кристаллу тип симметрии. Симметрия является важнейшим и специфическим свойством, отражающим закономерность внутреннего строения кристаллов. Поэтому основным методом кристаллографии является установление симметрии явлений, свойств, структуры и внешней формы кристаллов.

Кристаллографические оси и элементы симметрии кристаллов

Понятие симметрии включает в себя составные части – элементы симметрии. Сюда относятся ось симметрии, инверсионная ось, плоскость симметрии, центр симметрии, или центр инверсии.

Воображаемая прямая линия, при повороте вокруг которой на один и тот же угол все части кристалла симметрично повторяются /раз и фигура совмещается сама с собой в пространстве, называется осью

симметрии (обозначается буквой L). У кристаллов при вращении вокруг оси симметрии на полный оборот одинаковые элементы ограничения (грани, ребра, углы) могут повторяться только 2, 3, 4, 6 раз. Число n , показывающее сколько раз при повороте на 360° вокруг оси симметрии части кристалла могут совмещаться с их исходным положением, называется порядком оси симметрии и обозначается цифрой (ставится внизу справа от L , рис. 1). Соответственно этому оси будут называться осями симметрии второго, третьего, четвертого и шестого порядков, и обозначаться L_2 , L_3 , L_4 и L_6 . Так, при вращении вокруг оси кристалла, имеющего вид правильной шестигранной призмы, при каждом повороте на 60° будет наблюдаться совмещение его граней, ребер и вершин с их начальным положением. Следовательно, кристалл имеет ось симметрии шестого порядка. Оси симметрии пятого и выше шестого порядка в силу закономерности внутреннего строения кристаллов невозможны. Ось симметрии первого порядка L_1 показывает, что для совмещения фигуры с её начальным положением нужно сделать поворот на 360° . Это соответствует полному отсутствию симметрии, так как любой предмет при повороте на 360° вокруг любого реального направления совместится с самим собой. Количество осей одного и того же порядка указывается перед буквой, например, L_6 , $3L_4$ и т.п. (рис. 1.8).

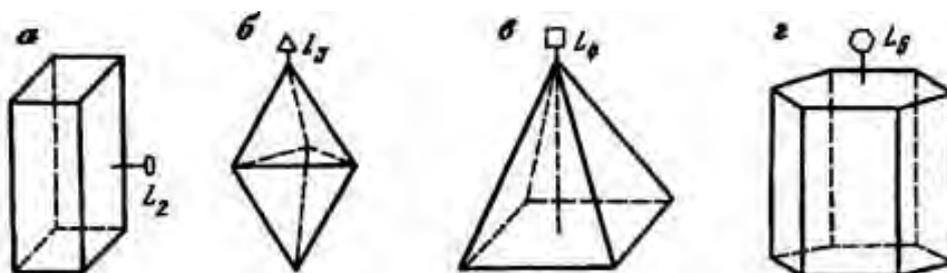


Рис.1.8. Многогранники с осями симметрии второго (а), третьего (б), четвертого (в) и шестого (г) порядков

Инверсионной осью симметрии (I) называется воображаемая прямая, при повороте вокруг которой на некоторый определённый угол и отражении в центральной точке фигуры (как в центре симметрии) фигура совмещается сама с собой, т.е. инверсионная ось представляет совместное действие оси симметрии и центра симметрии.

Плоскость симметрии – мысленно проведенная плоскость, которая делит кристаллы на две зеркально равные части (обозначается буквой P , рис. 3). Части, на которые плоскость симметрии рассекает многогранник, относятся одна к другой, как предмет к своему изображению в зеркале. Разные кристаллы имеют различное количество плоскостей симметрии, которое ставится перед буквой P . Наибольшее количество таких плоскостей у природных кристаллов кубической формы – девять $9P$. В кристалле серы насчитывается $3P$, а у гипса только одна. В некоторых кристаллах может быть несколько плоскостей симметрии, а других вообще отсутствовать.

Относительно элементов ограничения плоскость симметрии может занимать следующее положение:

- – проходить через ребра;
- – лежать перпендикулярно к ребрам в их серединах;
- – проходить через грань перпендикулярно к ней;
- – пересекать гранные углы в их вершинах.

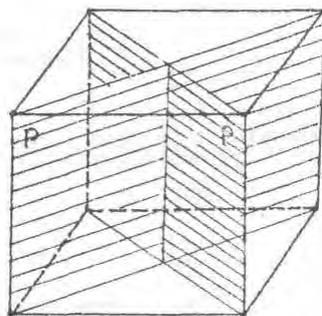


Рис. 1.9. Плоскости симметрии (P)

В кристаллах возможны следующие количества плоскостей симметрии: 9P, 7P, 6P, 5P, 4P, 3P, 2P, P, и отсутствие плоскости симметрии (рис. 1.10.).

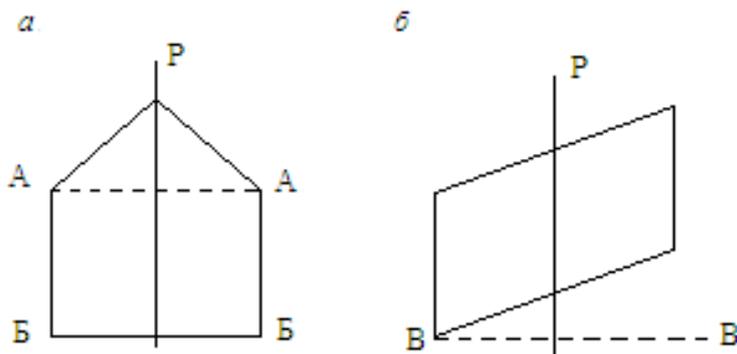


Рис. 1.10. Фигуры с плоскостью симметрии и без нее:
 а – все точки и линии рисунка отражаются в плоскости P как в зеркале;
 б – плоскость P не обладает этими свойствами, она не является
 плоскостью симметрии

Многие кристаллы кроме осей и плоскостей имеют центр симметрии – особую точку в центре кристалла, в которой пересекаются и делятся пополам линии, соединяющие одинаковые элементы ограничения кристалла (грани, ребра, углы). Центр симметрии или инверсии обозначается буквой C (рис. 1.11). Относительно этого центра симметричны все противоположные грани, ребра, вершины кристалла. Практически присутствие центра симметрии будет сказываться в том, что каждое ребро многогранника имеет параллельное себе ребро, каждая грань – такую же параллельную себе зеркально-обратную грань. Если же в многограннике присутствуют грани, не имеющие себе параллельных, то такой многогранник не обладает центром симметрии. Например, в кристаллах цинкита ZnO нет центра симметрии – их окончания имеют различную огранку (рис. 1.12).

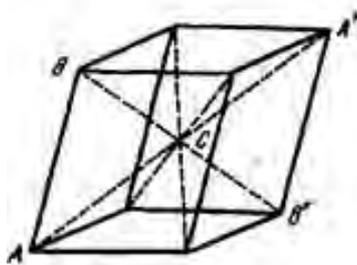


Рис. 1.11. Центр симметрии кристалла

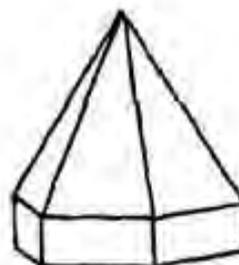


Рис. 1.12. Кристалл цинкита

Существует ряд закономерностей, сочетания элементов симметрии.

а) Линия пересечения двух или нескольких плоскостей является осью симметрии. Порядок такой оси равен числу пересекающихся в ней плоскостей.

б) L_6 может присутствовать в кристалле только в единственном числе.

в) L_6 не может комбинироваться ни с L_4 , ни с L_3 , но может сочетаться с L_2 причем L_6 и L_2 должны быть перпендикулярны; в таком случае присутствует $6L_2$.

г) L_4 может встречаться в единственном числе или в виде трех взаимно перпендикулярных осей.

д) L_3 может встречаться в единственном числе или $4L_3$.

Совокупность всех элементов симметрии, которыми обладает данный кристалл, называется *Степенью симметрии*. Кристалл, имеющий форму куба, обладает высокой степенью симметрии. В нем присутствуют три оси симметрии четвертого порядка ($3L_4$), проходящие через середины граней куба, четыре оси симметрии третьего порядка ($4L_3$), проходящие через вершины трехгранных углов, и шесть осей второго порядка ($6L_2$), проходящих через середины ребер. В точке пересечения осей симметрии располагается центр симметрии куба (C). Кроме того, в кубе можно провести девять плоскостей симметрии (9P). Перечень всех элементов симметрии кристалла, записанный в виде их символов, называется кристаллографической формулой. Для куба формула имеет вид: $3L_4, 4L_3, 6L_2, 9P, C$. В таких формулах порядок за-

писи следующий: сначала главные оси, затем другие, потом плоскости и центр симметрии. Кристаллы одного и того же минерала независимо от их огранки характеризуются одной и той же формулой симметрии. Число таких формул не беспрельдно, поскольку элементы симметрии взаимосвязаны между собой.

Геометрический вывод всех возможных сочетаний элементов симметрии в кристаллах был сделан немецким минералогом И. Гесселем в 1830 г. и финном А. В. Гадолиным в 1867 г. Ими доказано, что в природе может существовать только 32 сочетания, или, как принято говорить, 32 класса (вида) симметрии. Класс (вид) объединяет группу кристаллов с одинаковой степенью симметрии. Классы симметрии объединены в семь кристаллографических систем или сингоний (от греческого "син" – сходно и "гония" – угол). Сингонии в порядке возрастания степени симметричности располагаются в следующем порядке: триклинная, моноклинная, ромбическая, тригональная, тетрагональная, гексагональная, кубическая. Сингонии в свою очередь группируются в три категории; низшую, среднюю, высшую. Триклинная, моноклинная и ромбическая сингонии называются низшими, потому что они не имеют осей симметрии выше второго порядка (L_2). Тригональная, тетрагональная и гексагональная сингонии называются средними; они имеют одну ось симметрии высшего порядка (L_3 , L_4 или L_6); она называется высшей сингонией. Формулы, характеризующие различные виды симметрии, типы сингоний и категории приведены в табл.1.2.

В основе учения о кристаллографических формах лежит понятие «простая форма». Простой формой называют совокупность граней, выводящихся друг из друга при помощи элементов симметрии кристалла. Так грани гексагональной пирамиды представляют одну простую форму.

Таблица 1.2.

| Категории | Тип сингонии | Формула в символике Браве |
|-----------|----------------|--|
| Низшая | Триклинная | L_1 ; C |
| | Моноклинная | P; L_2 ; L_2PC |
| | Ромбическая | L_22P ; $3L_2$; $3L_23PC$ |
| Средняя | Тригональная | L_3 ; L_3C ; L_33P ; L_33L_2 ; L_33L_23PC |
| | Тетрагональная | L_4 ; L_4PC ; L_44P ; L_44L_2 ; L_44L_25PC ; L_4 ; L_42L_22P |
| | Гексагональная | $L_6 = L_3P$; $L_63L_23P = L_33L_24P$; L_6 ; L_6PC ; L_66P ; L_66L_2 ; L_66L_27PC |
| Высшая | Кубическая | $4L_33L_2$; $4L_33L_23PC$; $4L_33L_2(3L_4)6P$; $3L_44L_36L_2$; $3L_44L_36L_29PC$ |

Все они могут быть выведены из одной исходной грани путем ее поворотов вокруг $6L$ на 60, 120, 180, 240 и 300°. Всего в кристаллах возможны 47 простых форм. В кристалле могут присутствовать одна, две или несколько простых форм. Сочетание двух или нескольких простых форм называется комбинацией. Простые формы могут замыкать и не замыкать пространства; они соответственно называются закрытыми и открытыми. Первые образуют привычные всем геометрические фигуры, целиком ограничивающие какой-либо конечный объем. Например, куб, октаэдр, ромбоэдр, дипирамиды. Открытые формы: пирамиды с бесконечно расходящимися от вершины гранями, пинакоид (две беспрельдно протяженные в пространстве параллельные друг другу плоскости) и призмы, напоминающие беспрельдно идущие трубы многоугольного сечения, ничем не ограниченные по их длине. Реальное сочетание в природе граней открытых и закрытых простых кристаллографических форм дает кристаллу его конечный телесный объем. Так, например, кристалл циркона представляет собой комбинацию двух простых форм: тетрагональной призмы и тетрагональной дипирамиды. Призма является открытой формой, поскольку она не замыкает пространства, дипирамида – закрытая форма, так как она полностью замыкает пространство, пусть даже на продолжении своих граней.

Простые формы низшей категории сингоний

В низшей категории насчитывается 7 простых форм – из них 5 открытых и 2 замкнутые – тетраэдр и дипирамида ромбическая (рис. 1.13.).

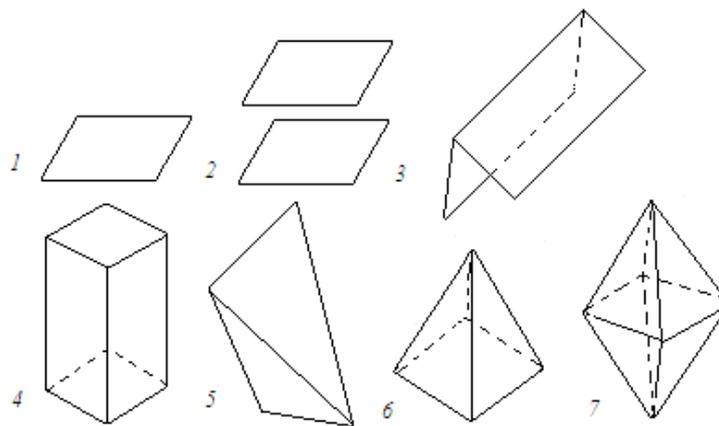


Рис. 1.13. Простые формы кристаллов низшей категории:
 1 – моноэдр; 2 – пинакоид; 3 – диэдр; 4 – ромбическая призма;
 5 – ромбический тетраэдр; 6 – ромбическая пирамида;
 7 – ромбическая дипирамида

Наименее симметричны кристаллы триклинной сингонии. У них из всех возможных элементов симметрии обычно наблюдается только центр симметрии, но иногда и он отсутствует. Элементарная ячейка кристаллов строится на трёх базовых векторах (трансляциях) разной длины, все углы между которыми не являются прямыми (рис. 1.14.).

Этот вид сингонии свойственен альбиту (*a*), микроклину (*b*) (рис.1.15.) и др.

К моноклинной сингонии относятся кристаллы, которые имеют либо одну плоскость симметрии, либо одну ось второго порядка, либо и ту и другую вместе в сочетании с центром симметрии. Элементарная ячейка кристаллов моноклинной сингонии строится на трёх векторах *a*, *b* и *c*, имеющих разную длину, с двумя прямыми и одним непрямым углами между ними (рис.1.16.).

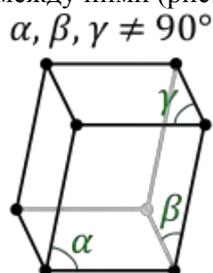


Рис. 1.13. Элементарная ячейка кристаллов триклинной сингонии



Рис. 1.15. Альбит (*a*), микроклин (*b*)

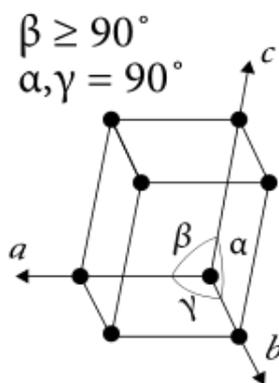


Рис. 1.16. Элементарная ячейка кристаллов моноклинной сингонии

Этот вид сингонии свойственен ортоклазу (*a*), гипсу (*б*), мусковиту (*в*) (рис. 1.17.), некоторым амфиболам.



Рис. 1.17. Ортоклаз (*a*), гипс (*б*), мусковит (*в*)

Ромбической сингонией обладают кристаллы с одной или тремя осями второго порядка и двумя или тремя плоскостями симметрии (L_22P или $3L_23PC$), а также кристаллы с тремя осями второго порядка без плоскости симметрии ($3L_2$). В поперечном сечении они имеют форму ромба. Элементарная ячейка определяется тремя базовыми векторами (трансляциями), которые перпендикулярны друг к другу, но не равны между собой. Часто используется другое название – орторомбическая сингония.

Этот вид сингонии присущ оливину (*a*), сере (*б*), александриту (*в*) (рис. 1.18.) и др.





Рис. 1.18. Оливин (а), сера (б), александрит (в)

Простые формы средней категории

К средней категории относятся тригональная, тетрагональная и гексагональная сингонии. Эта группа объединяет кристаллы, обладающие только одной осью симметрии порядка выше второго.

В сингониях средней категории вероятны моноэдры, пинакоиды, призмы разного рода, различные пирамиды и дипирамиды, трапецоэдры, ромбоэдры, скаленоэдры, тетрагональные тетраэдры (рис. 1.19.).

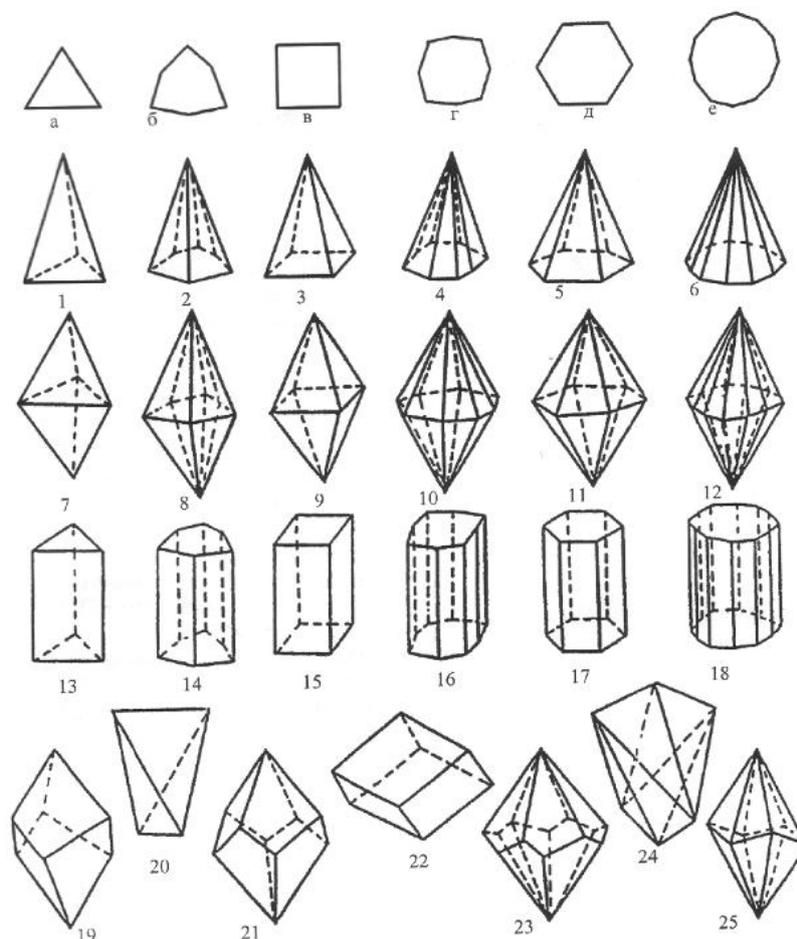


Рис. 1.19. Простые формы средней категории сингоний:

- 1–6 пирамиды: 1 – тригональная, 2 – дитригональная, 3 – тетрагональная, 4 – дитетрагональная, 5 – гексагональная, 6 – дигексагональная;
 7–12 дипирамиды: 7 – тригональная, 8 – дитригональная, 9 – тетрагональная, 10 – дитетрагональная, 11 – гексагональная, 12 – дигексагональная;
 13–25 призмы: 13 – тригональная, 14 – дитригональная, 15 – тетрагональная, 16 – дитетрагональная, 17 – гексагональная, 18 – дигексагональная,
 19 – тригональный трапецоэдр, 20 – тетраэдр, 21 – тетрагональный трапецоэдр, 22 – ромбоэдр, 23 – гексагональный трапецоэдр, 24 – тетрагональный скаленоэдр, 25 – тригональный скаленоэдр.

Тригональная сингония определяется тремя базовыми векторами одинаковой длины, с равными, но не прямыми, углами между векторами (рис. 1.20).

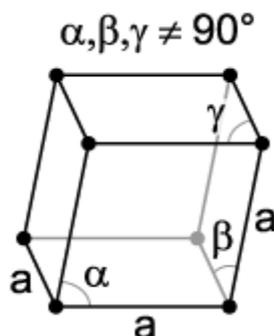


Рис. 1.20. Элементарная ячейка кристаллов тригональной сингонии

В тригональной сингонии высшее сочетание элементов симметрии – L_33L_23PC . Типичная форма кристаллов – ромбоэдры (кальцит (*a*), доломит (*б*), магнезит (*в*), гематит (*г*) и др.). К этой же сингонии принадлежат также корунд (*д*) и кварц (*е*) (рис.1.21.). Вершины кристаллов кварца представляют собой комбинацию двух ромбоэдров.

В элементарной ячейке кристаллов тетрагональной сингонии два из трех базовых векторов имеют одинаковую длину, а третий отличается от них.

Параметры элементарной ячейки:

$$a_0 = b_0 \neq c_0$$

$$\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ.$$

Все три вектора перпендикулярны друг к другу. Тетрагональная или квадратная сингония отличается присутствием в кристаллах одной оси четвертого порядка. В сечении, перпендикулярном к этой оси, обычно наблюдается форма квадрата или восьмиугольника (рис. 1.22.). Высшим сочетанием элементов симметрии в этой сингонии может быть L_44L_25PC .





Рис. 1.21. Кальцит (а), доломит (б), магнезит (в), гематит (г), корунд (д), кварц (е)

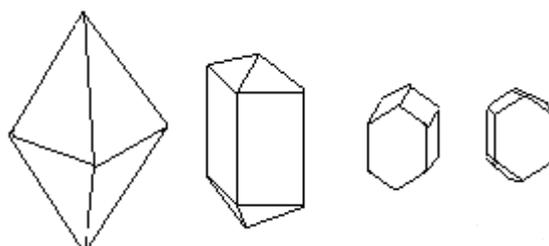


Рис. 1.22. Кристаллы тетрагональной сингонии

Эта сингония присуща халькопириту (а) и рутилу (б) (рис. 1.23.).

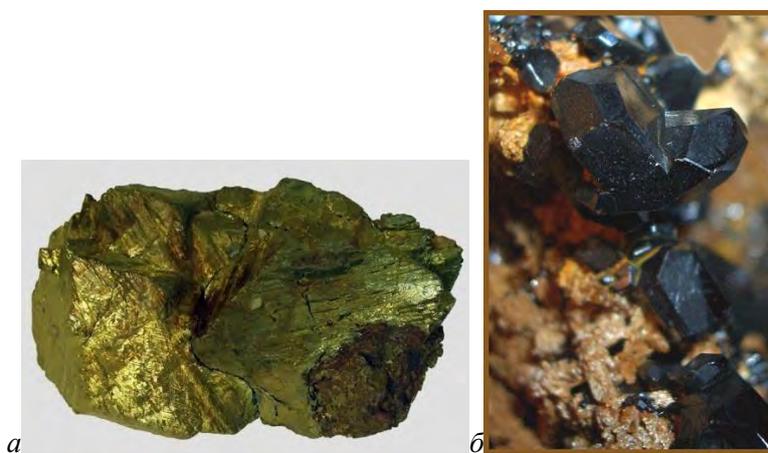


Рис. 1.23. Халькопирит (а), рутил (б)

Гексагональная сингония - кристаллографическая сингония, для которой характерно следующее соотношение между углами (α, β, γ) и рёбрами (a, b, c) элементарной ячейки кристалла: $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$. Её элементарная ячейка строится на трёх базовых векторах (трансляциях), два из которых равны и образуют угол 120° , а третий им перпендикулярен. В гексагональной сингонии три элементарных ячейки образуют правильную призму на шестигранном основании (рис. 1.24.).

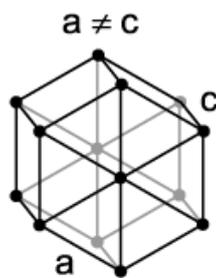


Рис. 1.24. Гексагональная сингония

Гексагональная сингония характеризуется наличием одной оси симметрии шестого порядка L_6 . Для кристаллов гексагональной сингонии характерна форма шестигранных призм, грани которых параллельны оси шестого порядка L_6 (β -кварц (а), апатит (б), нефелин (в), рис. 1.25.). Кристаллы гексагональной сингонии образуют призмы, пирамиды, дипирамиды и др. Высшее сочетание элементов симметрии в ней L_6L_27PC .

Рис. 1.25. β -кварц (а), апатит (б), нефелин (в)

Высшая категория

К высшей сингонии относится кубическая, объединяющая наиболее симметричные кристаллы.

Элементарная ячейка кристалла кубической сингонии определяется тремя векторами равной длины, перпендикулярными друг другу. Соотношение между углами и рёбрами элементарной ячейки кристалла: $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

В кубической сингонии возможны 15 простых кристаллографических форм, из них на кристаллах минералов чаще всего наблюдаются тетраэдр, октаэдр, гексаэдр (куб), ромбододекаэдр, пентагон-додэкаэдр, тетрагон-триоктаэдр (рис. 1.26.).

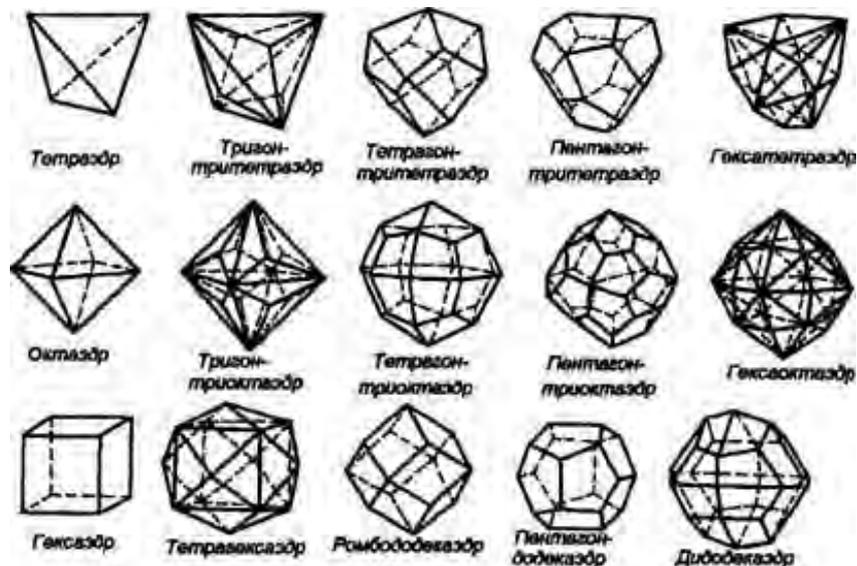


Рис. 1.26. Простые формы высшей категории сингоний

К кубической сингонии относятся кристаллы с наибольшим количеством элементов симметрии. Высшее сочетание элементов в кубической сингонии – $3L_44L_36L_29PC...$ Они характеризуются наличием более чем одной оси симметрии выше второго порядка, обязательно есть $4L_3$. Единичные направления отсутствуют. Для кристалла, имеющего форму куба, характерно присутствие $3L_4$, проходящих через середины граней куба, $4L_3$, проходящих через вершины трехгранных углов, $6L_2$, проходящих через середины ребер. Кроме того, в кубе можно провести девять плоскостей симметрии ($9P$). В точке пересечения осей симметрии располагается центр симметрии куба (C).

Кристаллы, относящиеся к кубической сингонии, характеризуются одинаковой развитостью по координатным осям (x, y, z) – они изометричны. Кристаллы кубической формы образуют минералы галит (a), галенит (b); в виде додекаэдров встречается магнетит ($в$); ромбический додекаэдр характерен для гранатов ($г$) и др. (рис.1.27.).

Рис. 1.27. Галит (a), галенит (b), магнетит ($в$), гранат ($г$)

Кубическая сингония характерна для кристаллов пирита (a), золота (b), флюорита ($в$), хромита ($г$), алмаза ($д$) (рис. 1.28.).





Рис. 1.28. Пирит (а), золото (б), флюорит (в), хромит (г), алмаз (д)

На рис. 1.29. показано, как быстро определить сингонию кристалла по минимальному числу элементов симметрии.

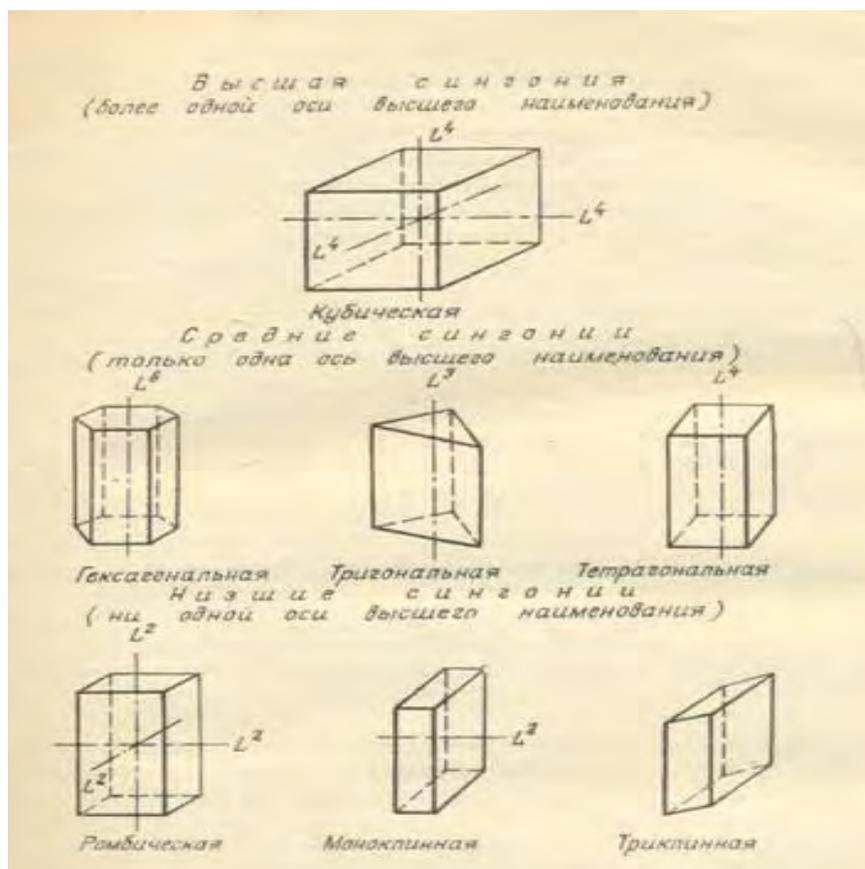


Рис.1.29. Определяющие элементы кристаллографических сингоний

Контрольные вопросы:

1. Что такое кристаллическая решетка?
2. Какими элементами характеризуются кристаллы?
3. Элементы симметрии кристаллов.
4. Назовите характерные свойства кристаллов.
5. Как определить порядок оси симметрии?
6. Как определяется кристаллографическая сингония?

1.5.2.1. Факторы определяющие строение кристаллических структур.

На оглавление

Для объяснения природы кристаллических структур веществ, в кристаллографии используются понятия координационное число, ионный радиус, атомарный радиус, принцип плотнейшей упаковки атомов и ионов в кристаллах.

Координационные числа

Координационным числом данного атома в структуре минерала называется число ближайших от него соседних атомов. Так, в галите координационное число натрия – 6 (вокруг него расположено по шесть атомов хлора), координационное число хлора также – 6 (каждый атом хлора соседствует с шестью атомами натрия). В идеальных плотнейших упаковках координационное число зависит от соотношения размеров ее атомов: если один вид атомов слагает упаковку, то от размера других атомов зависит то, в какую пустоту (тетраэдрическую или октаэдрическую) они могут поместиться. Размеры пустот зависят от размеров атомов ("шаров"), формирующих плотнейшую упаковку, а оптимальное соотношение радиусов этих атомов и радиуса атома в пустоте всегда одно и то же. Для октаэдрической координации оно равно 0,41, для тетраэдрической – 0,22. Также плотно можно разместить атом между тремя, восемью, двенадцатью соседними. Для таких структур возможны координационные числа 3, 4, 6, 8, 12.

Атомные и ионные радиусы

Истинные размеры атомов и ионов измерить невозможно. Для минералогии важны радиусы ионов в их реальных кристаллических постройках, но экспериментально (рентгеновскими и другими методами) определяются только межузельные расстояния пространственных решеток. Расстояние между центрами ближайших атомов кремния и кислорода в окиси кремния – кварце равно 0,161 нм. Что же касается радиусов ионов и атомов в кристаллах, то этот вопрос в разное время и разными исследователями решался по-разному, в результате чего сформировались различные системы представлений, которые можно разбить на две группы: в первой радиусы ионов главнейших в земной коре химических элементов (Si, Fe, Ca, Mg, Na и др.) меньше радиуса иона кислорода; во второй - эти соотношения обратны. Сейчас идет активная переоценка разных представлений о размерах ионов в кристаллических постройках минералов. Например, А. С. Поваренных считает, что в разных по своей природе химических соединениях атомы одного и того же элемента должны иметь различные радиусы. Размер иона Fe^{3+} в сульфидах составляет 0,111 нм, во фторидах 0,086 нм, в оксидах – 0,094. Эти представления подтверждаются многими работами по электронно- и рентгенографии минералов. Так для Na, к примеру, установлены колебания радиуса от 0,109 до 0,131 нм. Представления о неодинаковых размерах ионов в разных веществах считаются наиболее прогрессивными, но они еще не нашли должного развития, поэтому пока используются значения радиусов по В. М. Гольдшмидту.

Принцип плотнейшей упаковки атомов и ионов

Для объяснения природы кристаллических структур веществ, в кристаллографии используется принцип плотнейшей упаковки атомов и ионов в кристаллах, согласно которого принимается, что, во-первых, форма всех атомов и ионов сферическая и, во-вторых, весь объем кристалла или отдельных его структурных блоков заполнен плотно соприкасающимися атомами и ионами. На основе этого принципа удалось просто и геометрически образно охарактеризовать многие особенности кристаллического строения

минералов. Рассмотрим для начала возможные способы плотнейшей укладки шаров равного диаметра. Положим друг на друга два слоя плотно соприкасающихся шаров, обозначив нижний слой буквой А, верхний – В. Третий слой можно положить на слой В по-разному. В одном случае точно так же, как слой А, в другом – шары третьего слоя займут неповторяемую позицию С, их затем можно перекрыть четвертым слоем шаров, который повторит положение слоя А.

Упаковка первого типа (рис. 1.30.) характеризуется повторяемостью АВ АВ АВ... Её называют двухслойной (а по характеру симметрии – гексагональной).

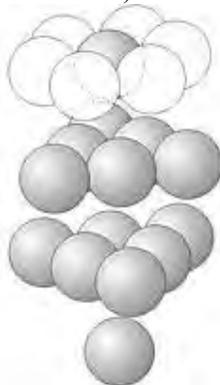


Рис. 1.30. Плотнейшая гексагональная упаковка

Для упаковок второго типа (рис. 1.31.) характерна повторяемость АВС АВС АВС... Ее называют трехслойной (кубической). Имеется много других порядков повторяемости слоев в плотнейшей укладке шаров, но все они будут являться комбинациями первых двух упаковок.

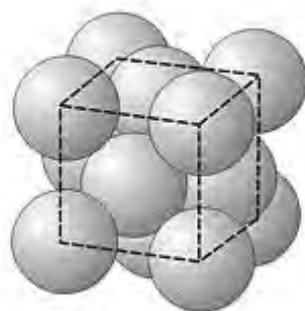


Рис. 1.31. Плотнейшая кубическая упаковка

Плотно уложенные шары занимают лишь 74% заполняемого ими объема, а 26% приходится на пустоты между шарами. Их два типа. Одни пустоты, меньшие по размеру, располагаются между четырьмя шарами. Их называют тетраэдрическими. Другие, большие по размеру, пустоты ограничены шестью шарами – октаэдрические. В бесконечной кристаллической постройке на n шаров приходится $2n$ тетраэдрических и n октаэдрических пустот.

Примером построения кристаллической структуры вещества почти точно по принципу плотнейшей упаковки может являться корунд Al_2O_3 . В нем крупные ионы кислорода (радиус 0,132 нм по В. Гольдшмидту) образуют двухслойную плотнейшую упаковку, $2/3$ октаэдрических пустот занято ионами Al (радиус 0,057 нм, по В. Гольдшмидту), тетраэдрические позиции свободны.

Число минералов с идеальной плотнейшей упаковкой атомов относительно невелико. Это объясняется в первую очередь тем, что такие кристаллические постройки возможны для минералов с ненаправленными химическими связями - металлической или ионной. Например, самородные металлы (Au, Cu, Ag) имеют структуры с трехслойной (кубической) плотнейшей упаковкой, самородные иридий и цинк – с двухслойной (гексагональной) упаковкой. Из распространенных в природе веществ плотнейшая упаковка характерна для корунда Al_2O_3 и шпинели $MgAl_2O_4$. Довольно близки к плотнейшей упаковке структуры некоторых ортосиликатов – оливинов, гранатов и др. Большинство же минералов имеет сложные кри-

сталлические постройки, в них лишь строение отдельных блоков отвечает принципу плотнейшей упаковки атомов. Этот принцип – лишь модель, помогающая интерпретировать реальность (рис. 1.32.).



Рис. 1.32. Слой из плотноупакованных октаэдров и тетраэдров в отношении 1:2

Изоморфизм. Типы изоморфизма

Изоморфизм – свойство атомов (или ионов) одних веществ заменять в структуре атомы (или ионы) других. Явления изоморфизма очень широко распространены в минералах. Так, химический состав минерала вольфрамита отображается формулой $(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{WO}_4]$. Он представляет собой изоморфную смесь, где атомы марганца замещают в структуре атомы железа, и наоборот. Крайние члены этого ряда носят название ферберита $\text{Fe}[\text{WO}_4]$ и гюбнерита $\text{Mn}[\text{WO}_4]$. Минерал оливин $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ также представляет собой изоморфную смесь, где атомы магния в структуре замещаются атомами железа. Конечные члены этого непрерывного ряда носят названия форстерита и фаялита. Наряду с простыми случаями может происходить сложное изоморфное замещение целых комплексов в кристаллических структурах. Классическим примером такого сложного замещения являются минералы из группы полевых шпатов - плагиоклазы. Плагиоклазы представляют собой непрерывный ряд минералов, где пара Ca^{2+} и Al_3^+ замещаются на пару Na^+ и Si_4^+ (CaAlNaSi). Крайние члены этого ряда называются анортитом $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ и альбитом $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. В соответствии с изменением состава изменяются и физические свойства плагиоклазов, например оптические свойства, плотность и др.

По степени совершенства изоморфных замещений можно выделить два случая. В первом случае замещение одного элемента другим может быть в пределах до 100% это совершенный, или полный, изоморфизм. Во втором случае замещение может быть частичным от сотых долей, до нескольких процентов это несовершенный, или ограниченный, изоморфизм.

Многие изоморфные примеси не отражаются формулой минерала, так как количество их невелико. Так, в цинковых обманках ZnS обычно присутствует в виде изоморфной примеси Fe , а иногда Cd и In . Если происходит изоморфное замещение одних элементов (или комплексов) другими, то в формуле минерала, они берутся в скобки и отделяются друг от друга запятой, причём порядок написания зависит от количества этих элементов (или компонентов).

Полиморфизм

В переводе с греческого слово "полиморфизм" означает многоформность. Это явление до известной степени противоположно изоморфизму и заключается в том, что одинаковые по химическому составу вещества образуют различные структуры. Полиморфными могут быть элементы и сложные соединения. Происхождение различных полиморфных модификаций (разновидностей) связано с различием в условиях их образования. Каждая из модификаций имеет свою структуру, а отсюда и свои специфические свойства. Хорошим примером полиморфизма углерода являются минералы алмаз и графит. Свойства их совершенно различны: алмаз самый твёрдый из минералов, графит имеет твёрдость 1. Плотность алмаза 3,5, графита 2,2. Алмаз кристаллизуется в кубической сингонии, графит - в гексагональной. Причина столь различных свойств указанных минералов объясняется их структурой, т.е. расположением атомов углерода. Связь атомов углерода в графите менее прочная, чем в алмазе, структура графита листовая, в виде плоских гексагональных сеток. Значительные расстояния между этими сетками и определяют его свойства: лёгкую расщепляемость, меньшую плотность и др.

Различают два вида полиморфизма. Первый вид энантиотропия – характеризуется обратимостью (переходом) полиморфных модификаций из одной в другую при определённых температурах и давлениях. Примером энантиотропии могут служить переходы кварца в высокотемпературную разновидность SiO_2 – тридимит, а также переходы алмаза в графит. Второй вид – монотропия – одна полиморфная модификация

ция (нестабильная) может переходить в другую (стабильную), но обратный переход невозможен. Примером монотропии является переход марказита в пирит.

Химический состав и формулы минералов

Для выяснения химического состава минерала производят его химический анализ и определяют химическую формулу минерала. Формулы могут быть эмпирическими, показывающими только химический состав, и структурными, дающими представление о пространственном расположении атомов в минерале и их связь между собой. Для некоторых минералов структурные формулы ещё не установлены. Но благодаря рентгеновским методам исследования во многих случаях удалось определить взаимоотношения атомов в кристаллических структурах минералов. Этими вопросами связи химизма со строением вещества и его свойствами занимается кристаллохимия.

В минералах важно выявить катионы и анионные комплексы, характеризующие типы кристаллических структур. При написании формул минералов анионные комплексы отделяют от катионов квадратными скобками, например, сидерит $\text{Fe}[\text{CO}_3]$. Следует иметь в виду, что эмпирические формулы минералов не отображают особенностей их внутреннего строения и в минералогии они в настоящее время заменены структурными формулами. Так, эмпирическая формула минерала мусковита $\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$, а структурная $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$. Последняя показывает, что в структуре мусковита имеется сложный анионный комплекс и что вода в мусковите находится не в виде H_2O , а в виде гидроксила $(\text{OH})^-$, причём этот гидроксил может быть в свою очередь замещён F^- .

В минералогии нередко различают безводные и водные минералы (сульфаты, фосфаты, карбонаты и др.). К водным относятся те минералы, которые имеют в своём составе электрически нейтральные молекулы воды. Вода в составе минералов может быть связанной и свободной. Связанная, или кристаллизационная, вода входит в кристаллическую решётку минералов, занимая в ней определённые места. Примерами могут быть некоторые карбонаты и сульфаты, например гипс. Свободная вода не участвует в строении кристаллической решётки минералов, количество её может быть различным в зависимости, например, от температуры. Примерами свободной воды является вода цеолитов. И, конечно, вся гигроскопическая вода, удерживаемая в микроскопических трещинах минералов и пород силами поверхностного натяжения, также является свободной. Свободная вода удаляется при нагревании до 110°C . Гидроксилсодержащие минералы в строгом смысле не могут быть названы водными. Между электрически нейтральной молекулой воды H_2O и отрицательно заряженным ионом гидроксила $(\text{OH})^-$ существует принципиальная разница. Гидроксил $(\text{OH})^-$ может замещать в минералах такие ионы как Cl^- и Fe^- , он прочно удерживается в кристаллических решётках, а молекулы воды этими свойствами не обладают.

Контрольные вопросы:

1. Что такое координационное число, ионный радиус, атомарный радиус?
2. Что такое принцип плотнейшей упаковки атомов и ионов в кристаллах?
3. Охарактеризуйте понятия изоморфизм и полиморфизм.
4. В чем различие структурных и химических формул минералов?

1.5.3. Изучение форм природных выделений минералов.

[На оглавление](#)

Морфология минералов и агрегатов. Двойниковые сростки кристаллов

Для некоторых минералов (полевые шпаты, рутил, касситерит, арагонит, киноварь и многие другие) характерно образование не только одиночных кристаллов, но и их двойниковых сростков – двойников. В настоящих, не случайных, сростках, индивиды срастаются по одинаковым плоским сеткам их пространственных решеток. Геометрически индивиды в двойнике можно мысленно совместить друг с другом либо отражением в плоскости симметрии либо поворотом вокруг оси L_2 . Двойники могут состоять из пары кристаллов (простые) или из многократно повторяющихся индивидов. Характерной особенностью огранки двойников являются входящие углы между гранями; на одиночных идеально развитых кристаллах таких углов не бывает. Следует различать двойники срастания и двойники прорастания. В первых индивиды разграничены по плоскости, они как бы соприкасаются друг с другом. Во вторых кристаллы

как бы обрастают друг друга либо насквозь проникают один в другой, соприкасаясь по сложной извилистой (ступенчатой) поверхности. Двойники образуются по разным причинам. В растворе, когда кристаллы находятся еще в зародышевом состоянии и под действием тех или иных сил разворачиваются относительно друг друга. При переходе одной полиморфной модификации в другую. При механических воздействиях на растущие кристаллы.

Ложные кристаллы – псевдоморфозы

Псевдоморфоза – это кристалл или зерно минерала, замещенного без изменения его формы другим минералом или смесью минералов, отсюда и название фальшивая (псевдо) форма (морфа). У этих образований сохраняются часто даже мельчайшие детали поверхности первоначальных кристаллов и зерен (рис. 1.33.).



Рис. 1.33. Кварц по прожилкам асбеста:
т. наз. "Тигровый глаз" – жёлтый и "Соколиный глаз" – синий

По псевдоморфозам можно судить о химических реакциях минералообразования, так как виден одновременно и исходный минерал (зерно) и конечный продукт преобразования. Кристаллы пирита в поверхностных условиях замещаются лимонитом – плотной коричневой порошковатой массой, смесью различных гидроксидов Fe^{3+} (рис. 1.34.).



Рис. 1.34. Псевдоморфоза лимонита по конкреции пирита, 4 см,
"Белая Пустыня", Египет

Еще один способ образования псевдоморфоз – полиморфные превращения веществ при изменении температуры и давления, они называются параморфозы. Например, параморфозы альфа-кварца по бета-кварцу (t превращения $575\text{ }^{\circ}\text{C}$ при 100 кПа). Бывают также пустотелые псевдоморфозы отпечатки в горной массе кристаллов растворившихся минералов, место которых осталось незанятым (рис. 1.35.).



Рис. 1.35. Кварц по Флюориту

Частичное псевдоморфное замещение поверхности с последующим обрастанием замещённых участков кристаллами кварца. Сам флюорит впоследствии был растворён, оставив после себя центральные полости в форме отрицательного куба. Образец 9 см, Кадамджай, Кыргызстан.

Минеральные агрегаты

В природе относительно редко встречаются отдельные хорошо ограненные кристаллы, чаще минералы образуют различные скопления - агрегаты. В минералогии их принято подразделять по морфологии: землистые, зернистые, плотные, агрегаты; друзы, щетки, секрции, конкреции, оолиты, сферолиты, натечные агрегаты, дендриты, налеты и примазки.

Землистые агрегаты - мучнистые агрегаты очень тонких минеральных зерен. Зернистые агрегаты это рыхлые или сплошные массы произвольно сросшихся зерен одного (мономинеральные) или нескольких (полиминеральные) минералов (рис.1.36.). Каждое зерно - не ограниченный, не оформившийся кристалл, выросший в стесненных условиях. В зависимости от размера зерен они разделяются на крупнозернистые (>5 мм), среднезернистые (1–5 мм), мелкозернистые (<1 мм). Характерный пример - полнокристаллические магматические породы (граниты и пр.).



Рис. 1.36. Среднезернистый агрегат амазонитового гранита

Среди минералов выделяет три группы, обладающие характерным обликом кристаллов:

- изометрические, одинаково развитые по всем трем направлениям, – магнетит, пирит, гранат;
- удлиненные в одном направлении, призматические, столбчатые, игольчатые и лучистые, – барит, кварц;
- вытянутые в двух направлениях, таблитчатые, пластинчатые, листоватые и чешуйчатые, – хлорит и др.

В соответствии с обликом кристаллов формируются различные виды минеральных агрегатов: листовые (а), чешуйчатые (б), волокнистые (в) и (г), радиально-лучистые (д), шестоватые (е) (рис. 1.37.).



Рис. 1.37.. Листоватый агрегат – тальк (а), среднечешуйчатый агрегат - парагонит (б), длиноволокнистый агрегат - хризотил асбест (в), радиально-лучистый агрегат - эгирин (г), шестоватый агрегат - кианит (д), волокнистый агрегат - гипс селенит (е)

Параллельно-шестоватые (рис. 31, е) и волокнистые агрегаты (рис. 31 в, з) обычно образуются в трещинах. Это - жилки шелковистого гипса, серпентин-асбеста, шестоватого кальцита. В одних случаях эти агрегаты кристаллизуются в открытых трещинах: сначала на стенках по принципу геометрического отбора нарастают друзы. Разрастаясь навстречу друг другу, они смыкаются и образуют параллельно-шестоватые или волокнистые агрегаты. В других случаях такие агрегаты формируются в постепенно приоткрывающихся трещинах, когда скорость приоткрывания меньше или равна скорости роста индивидов. Сначала трещина заполняется зернистым агрегатом минерала в виде сплошной тонкой жилки. Затем, по мере открывания зерна, упираясь друг в друга, могут расти только вслед за раздвигающимися стенками трещины. Они постепенно вытягиваются нормально стенкам, формируя параллельно-шестоватый или волокнистый агрегат.

Натечные агрегаты

Натечные формы минеральных образований возникают за счет коллоидных растворов – гелей. Медленно мигрирующие коллоидные растворы, попадая в пустоты, обволакивают их стенки, постепенно теряют воду и густеют. В результате образуются разные формы агрегатов:

- сталактиты – свисающие под действием силы тяжести с верхних частей пустот;
- сталагмиты – образующиеся в нижних частях пустот за счет падающих капель;
- почковидные агрегаты – наиболее распространенные среди натечных форм, возникают в поверхностных условиях.

Размеры подобных образований различны: от микроскопических до крупных столбообразных натечков в пещерах. В натечных формах могут встречаться самые разные минералы: гидроксиды железа и марганца, опал, малахит, гипс, арагонит, кальцит, и др. Натечные образования в поперечном срезе имеют зонально-концентрическое строение.

Друзы (щетки) – группы кристаллов, выросших перпендикулярно или почти перпендикулярно к поверхности трещин, стенки жилы или полости в горной породе. Сначала нарастают одиночные кристаллы, разрастаясь, они соприкасаются друг с другом, упираются друг в друга и сами себе мешают расти. Продолжают расти только те кристаллы, вектор роста которых ориентирован в сторону свободного пространства, т.е. по нормали к поверхности трещины. Образцы друз представлены на рис. 1.38.а и б.



Рис. 1.38. Друза кварца (а), щётка кристаллов аметиста (б)

Секреции образуются, когда какая-либо полость в горной породе заполняется минеральным веществом. Часто в центре секреций располагаются друзы. Чаще всего секреции халцедона с друзами кварца внутри, приуроченные к миндалинам в базальте. Секреции с внутренними полостями называются жеоды (рис.1.39.).



Рис. 1.39. Темно-бурый халцедоновый агат с кварцевой друзой в центре

Конкреция – шаровидный (иногда как бы сплюснутый, неправильно округленный) минеральный агрегат радиально-лучистого строения (рис. 1.40.). В противоположность секрециям (жеодам) они разрастаются вокруг какого-нибудь центра. В центре конкреции нередко находится зерно, которое служило затравкой при её росте. Чаще всего конкреции образуются в пористых осадочных породах – песках и глинах. Размеры этих образований – от миллиметров до десятков сантиметров, а иногда даже до метра и более. Они разнообразны по форме и строению. Конкреции могут быть:

- плотными кристаллическими (радиально-лучистые или зернистые);
- скрытокристаллическими (кремень);
- рыхлыми и землистыми (лимонитовые, вивианитовые).

В осадочных горных породах часто встречаются конкреции пирита, марказита, кремнезёма (кварцевые, халцедоновые, кремнь), карбонатов и фосфоритов. Научный и практический интерес представляют железомарганцевые конкреции, они образуются в огромных количествах на океаническом дне и рассматриваются как перспективный сырьевой ресурс будущего.

Экзотическая разновидность конкреций карбонато-глинистого состава, встречающаяся только в осадочных породах и характеризующаяся наличием многочисленных трещин усыхания внутри, носит название септария (рис. 1.41.).



Рис. 1.40. Конкреция

Рис. 1.41. Септария

Оолиты – шаровидные или эллипсоидальные образования из карбоната кальция, окислов железа и марганца, кремнезёма и пр., обладающие концентрически-скорлуповатым, иногда радиально-лучистым строением (вокруг центрального ядра). Ядром могут быть обломки раковин, песчинки, камешки и пр. В виде оолитов часто встречаются такие минералы как: кальцит, арагонит, пиролюзит.

Оолиты образуются в процессе осадконакопления (во взвешенном состоянии, в воде), при диагенезе и во время других стадий преобразования осадков при циркуляции растворов в пустотах. Наиболее часто оолиты формируются в горячих источниках, в придонных озерных и морских илах.

Они часто встречаются в известняках, железных рудах, бокситах (рис. 1.42), кремнистых породах и др. Размеры оолитов – от миллиметров до нескольких сантиметров. Оолиты крупнее 2–5 мм называются пизолитами.

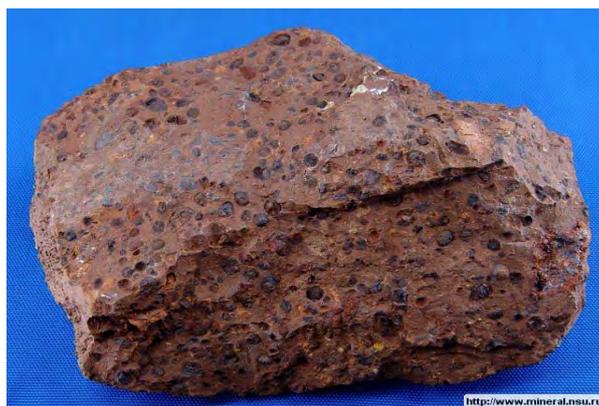


Рис. 1.42.. Боксит оолитовый

Сферолиты и почковидные агрегаты названы так по своей морфологии. Сферолиты очень часто имеют почти правильную шаровидную форму и размер от долей до 1–2 см и более. Они как шарики нарастают на другие минералы и на стенки разных пустот в рудах и горных породах. Сферолиты образуются либо как результат расщепленного роста кристаллов, либо в них, как в конкреции, есть ядрышко-зерно, на которое нарастает минерал. Вследствие геометрического отбора или стесненных условий кристаллы могут разрастаться, только расходясь лучами от центра сферолита (рис. 1.43).



Рис. 1.43. Сферолит

Почковидные агрегаты состоят из множества соприкасающихся "почек", каждая из которых имеет, подобно сферолиту, радиально-лучистое строение (рис. 1.44). Особенно типичное строение имеют почковидные агрегаты гётита $\text{HFeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и малахита $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$. Их образование происходило на неровной поверхности за счет группового роста и геометрического отбора сферолитов; оставались и разрастались только те сферолиты, которые находились на выпуклостях субстрата. Наиболее часто почковидные агрегаты образуются в различных пустотах в приповерхностных зонах разрушения и выветривания руд и горных пород.



Рис. 1.44. Почковидный агрегат гематита радиально-лучистого

Дендриты представляют собой фигуры в виде ветвей дерева, образующиеся благодаря быстрому росту кристаллов по некоторым направлениям. Встречаются на поверхности пород вдоль тонких трещин. Дендриты особенно характерны для окислов марганца (рис. 1.45.).



Рис.1.45. Дендриты окислов марганца (вернадит) на сиените

Землистые массы представляют собой мягкие мучнистые скрытозернистые образования. Часто наблюдаются в виде корок и скоплений, возникающих чаще всего при химическом выветривании горных пород и руд. В зависимости от цвета землистые массы называют сажистыми (черные массы гидроксидов марганца), охристыми (желто-бурые массы гидроксидов железа).

Контрольные вопросы:

1. Что такое псевдоморфозы?
2. Назовите и охарактеризуйте основные виды минеральных агрегатов.
3. Какие встречаются виды натечных агрегатов?

1.5.4. Физические и химические свойства минералов.

[На оглавление](#)

Физические свойства минералов (радиоактивность, люминисценция, магнитность, твёрдость, оптические свойства и др.) имеют большое практическое значение и очень важны для их диагностики. Свойства минералов зависят от их химического состава и типа кристаллической структуры. Для того, чтобы распознать минералы по внешним признакам и определить приблизительно их состав, надо знать физические свойства каждого минерала. Отдельные физические свойства могут быть одинаковыми у различных минералов и, наоборот, какое-либо свойство (цвет или плотность) у одного и того же минерала может меняться в зависимости от состава и количества примесей. Поэтому при определении минерала необходимо установить возможно большее число его свойств. Только в отдельных случаях некоторые свойства (магнитность, твердость, оптические свойства и др.) бывают настолько характерны, что по одному из них можно сразу диагностировать минерал. Главнейшими физическими свойствами минерала являются цвет, цвет черты (цвет его в порошке), прозрачность, блеск, излом, спайность, твердость, плотность и др.

Оптические свойства.

В естественном свете колебания электрического и магнитного векторов совершаются в каждый момент в различных направлениях, всегда перпендикулярных к направлению распространения световой волны (т.е. перпендикулярно к световому лучу). Такой свет носит название неполяризованного, или простого. При прохождении через оптически анизотропную среду свет становится поляризованным. Колебания поляризованного света проходят лишь в одной плоскости, проходящей через направление движения световой волны. Поляризация света происходит при прохождении через все кристаллы, за исключением кристаллов кубической сингонии; последние в оптическом отношении изотропны. Естественный свет, поступающий в кристалл, распадается на две световые волны, распространяющиеся с различными скоростями. Обе волны становятся поляризованными, причём плоскости их колебаний взаимно перпендикулярны. Это явление называется дупреломлением или двойным светопреломлением. Дупреломление было открыто Бартолином в 1669 г. и в дальнейшем было изучено Х. Гюйгенсом. В кристаллах тригональной, тетрагональной и гексагональной сингоний имеется только одно направление, по которому не происходит двойного светопреломления. Это направление называется оптической осью, оно совпадает с осью симметрии высшего порядка. Поэтому кристаллы средних сингоний называются оптически одноосными. В кристаллах триклинной, моноклинной и ромбической сингоний имеются два направления, по которым не происходит двойного светопреломления; они в оптическом отношении двуосны. В кристаллах средних сингоний скорость распространения световых волн различна. Световая волна, распространяющаяся с одинаковой скоростью во всех направлениях, называется обыкновенной, а распространяющаяся в различных направлениях с различной скоростью необыкновенной. Поверхностью первой световой волны является шар, а второй эллипсоид вращения.

Для некоторых минералов способность к двойному лучепреломлению является важным диагностическим свойством. Двойное лучепреломление особенно хорошо выражено у прозрачных разностей кальцита, называемых исландским шпатом. Если через исландский шпат рассматривать предмет, то возникает его двойное изображение.

Цвет минералов является важным диагностическим признаком. Минералы могут иметь самые различные цвета и оттенки. Цвет минералов зависит от их внутренней структуры, от механических примесей и главным образом от присутствия элементов-хромофоров, т.е. носителей окраски. Известны многие элементы-хромофоры, к ним относятся Cr, V, Ti, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, U, Mo и некоторые другие. Эти элементы могут быть в минерале главными, или могут быть в виде примесей. Встречаются также бесцветные и прозрачные минералы. Практически цвет определяют на глаз, сравнением с хорошо знакомыми предметами (молочно-белый, соломенно-желтый, кирпично-красный). Для обозначения цвета минералов, имеющих металлический блеск, к названию цвета добавляют название распространенного металла (свинцово-серый, оловянно-белый, латунно-желтый, медно-красный, железо-черный и т.д.). Некоторые минералы меняют цвет в зависимости от освещения. Например, минерал лабрадор при некоторых углах поворота приобретает красивую радужную, синюю, серую или зеленую окраски. Это свойство минералов называется иризацией. У лабрадора она возникает за счет интерференции света, отражающегося от обеих плоскостей микроскопических трещин спайности, наполненных тончайшей пленочками минерала ильменита (FeTiO_3). Иногда кроме основной окраски минерала тонкая поверхностная пленка имеет дополнительную. Это явление называется побежалостью и объясняется интерференцией света в слоях, образующихся

на поверхности минералов. Обычно побежалость бывает радужной, как на халькопирите, когда поверхность минерала переливается, синим, красным и фиолетовым цветом.

Цвет черты (цвет минерала в порошке). Многие минералы в растертом состоянии имеют другой цвет, чем в образце. Порошок можно получить, проводя куском минерала по белой шероховатой фарфоровой пластинке при условии, что твердость его меньше твердости фарфора (если твердость минерала выше твердости фарфора, то на пластинке остается царапина). Цвет черты – важный диагностический признак. Так красный, бурый и магнитный железняк (гематит, лимонит и магнетит) в кусках часто имеет одинаковый цвет, и их можно различить только по разному цвету черты - соответственно красному, желтому или черному.

Блеск минералов является важнейшим диагностическим признаком. Он зависит от показателя преломления минерала и его способности отражать от своей поверхности свет. По блеску все минералы можно разделить на три группы: с металлическим, полуметаллическим и неметаллическим блеском.

Металлический блеск – сильный блеск, свойственный металлам. Им обладают непрозрачные минералы, дающие в большинстве случаев черную черту на фарфоровой пластинке. Такой блеск наблюдается у самородных металлов (золото, серебро, платина), многих сульфидов и оксидов железа.

Полуметаллический блеск – характерен для минералов, поверхность которых имеет вид потускневшего металла. К таким минералам относятся графит, гематит, черная цинковая обманка.

К третьей, наиболее обширной группе, принадлежат минералы с неметаллическим блеском. Неметаллический блеск характерен для минералов, дающих цветную или белую черту. Исключением являются только самородные элементы. В этой группе различают следующие виды блеска: стеклянный, широко распространенный среди прозрачных минералов (кварц, на гранях кристаллов» кальцит, гипс); жирный, типичный для тех минералов, поверхность которых кажется как бы смазанной маслом (кварц на изломе, нефелин); перламутровый характерен для прозрачных минералов, которые блестят как поверхность перламутровой раковины (он обусловлен отражением света от тонких пластинок или плоскостей спайности минералов, например, слюды, талька); шелковистый, который наблюдается при тонковолокнистом строении минерала и напоминает блеск шелковистых нитей (асбест, волокнистые разновидности гипса). Некоторые минералы обладают особенно сильным блеском, названным алмазным (алмаз, некоторые разновидности цинковой обманкой). Матовый блеск (минералы не блестят) имеют минералы с пористой, неровной землистой поверхностью (каолинит).

Прозрачность – способность минералов пропускать свет. По степени прозрачности минералы делятся на:

- прозрачные (горный хрусталь, каменная соль, топаз);
- полупрозрачные (халцедон, опал), через которые видны лишь очертания предметов;
- просвечивающие, пропускающие свет только в очень тонких пластинках (полевые шпаты),
- непрозрачные, через которые свет совсем не проходит (пирит, магнетит).

Механические свойства минералов.

Механические свойства минералов обнаруживают при механическом действии на них: при сжатии, растяжении и ударе. Так же, как и оптические свойства, они различны в разных направлениях и связаны с анизотропией кристаллов. К числу важнейших механических свойств относят излом, спайность и твердость.

Излом, т.е. вид поверхности, образующейся при раскалывании минерала, также является важным диагностическим признаком ряда минералов. Излом может быть следующих видов:

- раковистым, имеющим вид вогнутой и концентрически-волокнистой поверхности, напоминающей поверхность раковины (горный хрусталь);
- занозистым с поверхностью, покрытой ориентированными в одной направлении занозами (гипс, роговая обманка), неровным (нефелин);
- землистым с матовой шероховатой поверхностью (каолинит, лимонит);
- зернистым, встречающимся часто у минеральных агрегатов.

Спайность – это способность минералов раскалываться или расщепляться по блестящим параллельным плоскостям, по определенным кристаллографическим направлениям по которым в кристаллической решетке проявляется наименьшая сила сцепления частиц. Спайность может проявляться в одном, двух, трёх, четырёх и шести кристаллографических направлениях. Для оценки спайности существует следующая шкала:

весьма совершенная спайность, когда минерал очень легко, (например, ногтем) расщепляется на отдельные тончайшие листочки или пластинки, образуя зеркально-блестящие плоскости спайности (слюды, гипс, хлорит);

совершенная спайность отличается тем, что минерал раскалывается при слабом ударе молотком на гладкие параллельные пластинки, кубы или другие формы (галит, галенит, кальцит);

средняя (явственная) спайность характерна для минералов, при раскалывании которых возникает как плоскость спайности, так и поверхности с неровными изломами (полевые шпаты, роговая обманка);

несовершенная спайность обнаруживается с трудом. В этом случае при раскалывании минерала преобладают поверхности с неправильным изломом (апатит, оливин, берилл);

спайность весьма несовершенная – практически нет спайности, кристаллы имеют неровные поверхности излома при расколе (молочно-белый кварц, золото).

В различных направлениях спайность кристалла может быть одинаковой или разной по степени совершенства. Необходимо уметь отличать плоскости спайности от граней кристалла: плоскости спайности имеют более сильный блеск и свежий вид; кроме того они образуют ряд параллельных друг другу поверхностей. Характерным признаком для некоторых минералов является штриховка на гранях кристаллов (корунд, кварц, пирит и др.), тогда как поверхности спайности всегда гладкие, глянцевые.

Твёрдость. Под твёрдостью кристалла понимается его сопротивление механическому воздействию более прочного тела (проникновению острия, царапанию и т.д.). Существует несколько методов определения твёрдости. В минералогической практике принята шкала Мооса. Твёрдость минерала определяется сопоставлением твердости исследуемого минерала с минералом-эталоном из шкалы твердости Мооса. В этой шкале порядковый номер минерала соответствует численному значению его твердости. Минералы располагаются в порядке возрастания твердости, так что предыдущий минерал царапается последующим.

Шкала Мооса:

| | |
|-------------|--------------|
| 1 – тальк | 6 – ортоклаз |
| 2 – гипс | 7 – кварц |
| 3 – кальцит | 8 – топаз |
| 4 – флюорит | 9 – корунд |
| 5 – апатит | 10 – алмаз |

Для определения твердости острым уголком минерала-эталоны наносят царапину на ровной поверхности минерала, после чего удаляют пыль и проверяют результат (не путать царапину с чертой, которая может образоваться при крошении мягкого минерала на поверхности более твердого). Например, необходимо установить твердость альбита. Из эталонной коллекции его не царапает ни один минерал до апатита включительно. Ортоклаз оставляет на нем слабый след, но и сам истирается при этом. Следовательно, у этих двух минералов равная твердость. Следующий по шкале твердости кварц при нажиме царапает альбит, следовательно, твердость альбита выше 5 и ниже 7, т.е. 6. Необходимо отметить относительность шкалы: если тальк имеет твердость 1, а гипс твердость 2, то это не означает, что гипс в 2 раза тверже талька. То же самое можно сказать и относительно других минералов-эталонных. Твёрдость их условна, и при определении другими методами получены другие значения.

Интервалы твердости между минералами-эталоны различные. Алмаз тверже талька не в 10, а более чем в 1000 раз в абсолютных единицах твердости. Самый большой интервал по твердости между корундом и алмазом. Так же, как и спайность, твёрдость кристаллов обнаруживает анизотропию. Кристаллы алмаза имеют наибольшую спайность на гранях октаэдра, меньшую на гранях ромбододекаэдра, ещё меньшую на гранях куба.

Если необходимо определить твердость для кристаллов с небольшой поверхностью, этим кристаллом (или его зернистым агрегатом) наносят царапину на минерал-эталон. Надо помнить, что зернистые агрегаты могут содержать примеси других, более твердых минералов, создавая неверное представление о твердости.

Для определения твердости минералов можно использовать такие распространенные предметы, как иголка или нож (твердость 5–6), стекло (твердость 5), бронзовая монета (3,5–4), ноготь (2,5).

Плотность. Плотность для различных минералов колеблется от 0,6 до 27 г/см³. Подавляющая масса минералов имеет плотность от 2,5 г/см³ до 3,5 г/см³, что обуславливает плотность земной коры, равную примерно 2,7–2,8 г/см³. Точное определение плотности возможно лишь в лабораторных условиях путем взвешивания на гидростатических весах и посредством других специальных измерений. На практике для быстрого приблизительного определения плотности пользуются взвешиванием минерала на руке с оценкой "тяжелый", "средний", "легкий".

Легкие – с плотностью до 3 г/см³ (нефти, смолы, угли, гипс, каменная соль);

средние – с плотностью до 4 г/см^3 (кальцит, кварц, полевые шпаты, слюды);
тяжелые – с плотностью более 4 г/см^3 (рудные минералы).

Чаще всего встречаются минералы с плотностью от 2 г/см^3 до 5 г/см^3 . Как правило, минералы, содержащие тяжёлые металлы, имеют большую плотность. Наибольшую плотность имеют самородные элементы – золото, серебро, минералы группы платины. В кристаллах одного и того же состава плотность определяется характером упаковки атомов в единичной структурной ячейке. Для минералов, представляющих изоморфные ряды, увеличение (или уменьшение) плотности пропорционально изменению химического состава.

Магнитность. Это свойство минералов обнаруживается по отклонению магнитной стрелки компаса при приближении к ней образца (магнетит, платина, пирротин). Наиболее сильными магнитными свойствами обладает магнетит. Минералы, обладающие сильным полярным магнетизмом, называются ферромагнитными.

Реакция с раствором соляной кислоты (10% -ный раствор HCl). Реакция определяется выделением углекислого газа от капли раствора на поверхности образца минерала. Реакция характерна для минералов класса карбонатов. При комнатной температуре с HCl бурно реагирует кальцит, арагонит и малахит. Другие минералы класса карбонатов в реакцию вступают только в виде порошка (доломит), а также с нагретым раствором или раствором большей концентрации (магнезит). Многие сульфиды вскипают при воздействии HCl с выделением сероводорода, легко отличимого по запаху.

Органолептические свойства. На вкус определяются некоторые растворимые в воде соли. Этим методом легко отличить галит (каменная соль) от сильвина (калийная соль): последний имеет горько-солёный вкус и слегка щиплет язык. Фосфорит при трении издает резкий чесночный запах.

Контрольные вопросы:

1. Основные физические свойства минералов и их характеристики.
2. Механические свойства.
3. Определение твердости минералов с помощью шкалы Мооса.
4. Химические и органолептические свойства минералов.

1.5.5 Классификации минералов.

[На оглавление](#)

По распространённости минералы подразделяются на:

- породообразующие – составляющие основу большинства горных пород;
- аксессуарные – часто присутствующие в горных породах, но редко слагающие больше 5% породы (случаи нахождения которых единичны или немногочисленны);
- рудные – широко представленные в рудных месторождениях.

Существует много вариантов классификаций минералов. Наиболее широко используется классификация по химическому составу и кристаллической структуре. Вещества одного химического типа часто имеют близкую структуру, поэтому минералы, сначала делятся на классы по химическому составу, а затем на подклассы по структурным признакам. Общепринятая в настоящее время кристаллохимическая классификация минералов выглядит следующим образом:

Раздел I. Самородные элементы и интерметаллические соединения

Раздел II. Сульфиды, сульфосоли и им подобные соединения

- 1 класс Сульфиды и им подобные соединения
- 2 класс Сульфосоли

Раздел III. Галоидные соединения (Галогениды)

- 1 класс Фториды
- 2 класс Хлориды, бромиды, иодиды

Раздел IV. Окислы (оксиды)

- 1 класс Простые и сложные окислы
- 2 класс Гидроокислы или окислы, содержащие гидроксил

Раздел V. Кислородные соли (оксисоли)

- 1 класс Нитраты
- 2 класс Карбонаты
- 3 класс Сульфаты

- 4 класс Хроматы
- 5 класс Вольфраматы и молибдаты
- 6 класс Фосфаты, арсенаты и ванадаты
- 7 класс Бораты
- 8 класс Силикаты
- А. Островные силикаты
- Б. Кольцевые силикаты
- В. Цепочечные силикаты
- Г. Ленточные силикаты
- Д. Слоистые силикаты(листовые)
- Е. Каркасные силикаты

На сегодняшний день известно около 4 тысяч видов минералов. Из общего числа минеральных видов около 34% приходится на силикаты, около 25% – на оксиды и гидроксиды, около 20% – на сульфиды; на долю всех остальных минералов приходится около 21%.

Ежегодно открывают несколько десятков новых минеральных видов и несколько «закрывают» – доказывают, что такой минерал не существует.

Четыре тысячи минералов – это незначительное количество по сравнению с числом известных неорганических соединений (более миллиона). Небольшое количество видов минералов объясняется следующими причинами:

– распространенностью химических элементов. Наиболее широко на Земле представлены кислород и кремний. Соответственно, подавляющее большинство минералов является *силикатами*. С другой стороны, некоторые элементы так рассеяны, что никогда не образуют собственных минералов и лишь входят в структуру некоторых минералов в виде примесей;

– неустойчивостью многих химических соединений в земных условиях.

Широко распространенных в природе видов минералов насчитывается около 450 видов, остальные встречаются редко.

1.5.5.1. Характеристика минералов по классам

[На оглавление](#)

Самородные элементы.

К этому классу относятся минералы, состоящие из одного химического элемента и называемых по этому элементу. Например: самородное золото, сера и т.д. Все они подразделяются на две группы: металлы и неметаллы.

В первую группу входят самородные платина, золото, серебро, медь и некоторые др. Железо в самородном виде встречается крайне редко из-за его склонности формировать химические соединения. Крайне редки в природе самородки редких металлов: палладия (Pd), осмия (Os), иридия (Ir).

Во второй группе – сера, алмаз, графит и др. Минералы класса не пользуются широким распространением (кроме графита и серы), но важны в практическом отношении.

К собственно породообразующим минералам относится лишь графит. Происхождение почти всех самородных элементов эндогенное, чаще всего гидротермальное. Иногда самородные элементы образуются в интрузивных породах и кварцевых жилах, образование самородной серы связано с вулканизмом. Экзогенное происхождение минералов связано с разрушением пород и высвобождением самородных элементов (в силу их устойчивости к физическому и химическому воздействию они концентрируются в благоприятных для этого местах). Таким образом, могут формироваться россыпи золота, платины и алмазов.

Отдельно рассматривается самородный углерод С, который создает две полиморфные модификации: алмаз и графит. Образование алмазов связано с магматическими процессами. Чаще всего алмазы встречаются в кимберлитах – породах интрузивных тел подобных некам. Графит образуется в богатых органическим веществом осадочных породах в процессе метаморфизма.

Существует ряд более редких модификаций самородного углерода: лонсдейлит, чаоит и фуллерен (C₆₀). Первые два сходны с алмазом, отличаясь формой кристаллов и несколько меньшей плотностью. Фуллерен представляет собой кристалл шарообразной формы.

Сульфиды.

Сульфиды или сернистые соединения являются солями сероводородной кислоты. Они составляют менее 2 % массы земной коры чаще всего в виде руд. Сульфиды не являются порообразующими минералами, но представляют большой интерес как руды цветных и черных металлов. Минералы класса сульфидов кристаллизуются в различных сингониях – кубической, гексагональной, ромбической и т.д. По сравнению с самородными минералами, у них более широкий состав элементов-катионов. Отсюда большее разнообразие минеральных видов. Общими свойствами для сульфидов являются металлический блеск, серые и темные цвета, средняя плотность.

Из сернистых минералов в земной коре наиболее широко распространен пирит FeS_2 (серный или железный колчедан). Пирит и марказит FeS_2 (гребенчатый колчедан) являются примером явления полиморфизма, т.е. при одинаковом химическом составе имеют разную кристаллическую решетку и соответственно различаются по физическим свойствам. К сульфидам железа относится также пирротин FeS (магнитный колчедан). Из других минералов класса сульфидов часто встречаются халькопирит CuFeS_2 , галенит PbS (свинцовый блеск) - важная свинцовая руда, сфалерит ZnS (цинковая обманка) - цинковая руда, киноварь HgS (ярко-красный минеральный пигмент, источник для получения ртути).

Происхождение большинства сульфидов эндогенное, чаще всего гидротермальное (кроме пирита, который часто формируется на поверхности Земли и является типичным минералом некоторых осадочных пород и почв). Сульфиды являются основным источником руд цветных металлов, а за счет примесей редких и благородных металлов ценность их использования повышается. Железо и другие черные металлы (хром, марганец) из сульфидных руд не извлекаются из-за избытка серы. В поверхностных условиях сульфиды неустойчивы и разрушаются, переходя в различные вторичные минералы: карбонаты, сульфаты, окислы и силикаты.

Оксиды и гидроксиды.

Оксиды и гидроксиды представляют один из наиболее распространенных классов с более чем 150 минеральными видами. Наиболее широко представлены оксиды Si , Fe , Al , Ti , Sn . Некоторые из них образуют и гидрооксидную форму.

Часто оксиды и гидроксиды подразделяются на 2 подкласса:

оксиды и гидроксиды кремния,

оксиды и гидроксиды металлов.

В отношении первого подкласса существует неоднозначная интерпретация. Некоторые исследователи рассматривают оксиды кремния как частный случай каркасных силикатов. Важнейшим оксидом кремния (SiO_2) является кварц, который составляет 12 % массы земной коры. Кварц является обычной составляющей большинства горных пород разного генезиса. Различают следующие важнейшие разновидности кварца:

горный хрусталь – прозрачный, без примесей, встречающийся в виде кристаллов;

морион - коричнево-черный прозрачный и полупрозрачный;

аметист - фиолетовый; цитрин – желтый.

Выделяются также скрытокристаллические разновидности кварца: халцедон, кремнь, агат (полосатый халцедон), яшма, тигровый глаз и др.

Кроме кварца формулу SiO_2 имеют менее распространенные минералы кристобалит, тридимит, стишовит (пример явления полиморфизма). Кристобалит, тридимит формируются при высоких температурах и образуются при извержениях вулканов. Стишовит формируется при очень высоких давлениях и на поверхности Земли встречается только в кратерах, образовавшихся при падении крупных метеоритов. Считается, что в земной мантии SiO_2 присутствует в виде стишовита.

Гидроксид кремния известен только один. Это опал – минерал, представляющий собой коллоидальный кремнезем SiO_2 . Он образуется при выпадении кремния в осадок из различных растворов. Формула опала $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, поскольку в нем содержится переменное количество воды. Некоторые разновидности опала используются в качестве поделочных и полудрагоценных камней. Оксиды и гидроксиды кремния характеризуется низкой плотностью, высокой твердостью 6–9, прозрачностью, широкой гаммой цветов, отсутствием спайности. Опал часто образуется в почвах в результате выветривания силикатов, формируя характерные натёки.

Из оксидов и гидроксидов металлов более всего распространены соединения железа и алюминия.

Магнитный железняк - магнетит Fe_3O_4 или $\text{Fe}_2\text{O}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ - оксид, наиболее богатый железом.

Гематит Fe_2O_3 – в виде кристаллов, называемый железным блеском, а в скрытокристаллической форме - красным железняком.

Бурый железняк или лимонит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ - смесь минералов гётита FeOOH и гидрогётита $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Ильменит $(\text{Fe}, \text{Ti})_2\text{O}_3$.

Они являются главными минералами железных руд. Наиболее богата железом магнетитовая руда, несколько менее - гематитовая и самые бедные лимонитовые или болотные руды.

Широко распространенным оксидом алюминия является боксит, который представлен смесью ряда минералов.

К оксидам алюминия относятся несколько разновидностей более редких минералов, например корунд Al_2O_3 . Красная разновидность корунда называется рубином, синяя - сапфиром.

Прозрачные, кристаллические разновидности корунда (сапфир и рубин) и кварца (аметист, горный хрусталь и др.) используются как драгоценные и полудрагоценные камни.

Гидроксид алюминия - гиббсит $Al_2(OH)_3$ входит в состав алюминиевых руд - бокситов и иногда содержится в глинах. Образование минералов этого класса происходит при эндогенных и экзогенных процессах.

Галоиды.

Соли галогеноводородных кислот образуют около 100 минералов. Среди галоидных соединений наиболее широко распространены фториды и хлориды - соединения катионов металлов с одновалентным фтором и хлором. Их роль как породообразующих минералов невелика, но они важны в практическом отношении.

Фториды - минералы светлые, средней плотности и твердости. Представитель - флюорит CaF_2 (плавиковый шпат) и криолит Na_3AlF_6 - минерал назван криолит по сходству (блеску и показателю преломления) со льдом.

В народном хозяйстве флюорит и криолит используются в металлургии при плавке металлов, в стекольной и химической промышленности для получения плавиковой кислоты. Прозрачные разновидности флюорита используются в оптике.

Хлоридами являются минералы галит $NaCl$, сильвин KCl , сильвинит $NaCl \cdot KCl$, карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Хлориды обладают особыми свойствами: соленым и горько-соленым вкусом.

Из галоидов наибольшее распространение имеет галит, который используется в виде поваренной соли в пищу. Помимо этого галит является основным источником натрия и хлора для химической промышленности. Сильвин и карналлит используются в качестве удобрений. Галит и сильвин находят применение в медицине и фотоделе.

Галит и сильвин служат примером изоморфного замещения. В галите часть ионов натрия всегда замещена калием, также как в сильвине всегда присутствует натрий. Если натрий и калий присутствуют в примерно равных количествах, то минерал называется сильвинитом. Непрерывный ряд минералов с разной степенью замещения определенного элемента другим элементом (наблюдаемый в ряду галит-сильвинит-сильвин) называется изоморфным рядом. Форма записи формул минералов изоморфных рядов может быть различной. Например, сильвинит может быть записан тремя способами: $NaCl \cdot KCl$, $(Na,K)Cl$ и $NaKCl_2$.

Для галоидов общими являются низкая твердость, кристаллизация в кубической сингонии, совершенная спайность, широкая цветовая гамма, прозрачность.

По генезису фториды и хлориды отличаются. Флюорит – продукт эндогенных процессов (гидротермальный). Галит (каменная соль), сильвин и карналлит образуются в экзогенных условиях за счет осаждения при испарении в озёрах и морях.

Нитраты.

Нитраты природные - класс минералов, солей азотной кислоты. Из-за высокой растворимости в воде большинство нитратов природных являются сравнительно редкими минералами. Они представляют собой главным образом нитраты Na^{2+} , K^+ , реже NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} . Всего в классе нитратов природных выделяют 9 минералов, из которых промышленные скопления образуют только натровая (чилийская) селитра (нитронатрит) $NaNO_3$ и калийная (индийская) селитра (нитрокарнит) KNO_3 . Их месторождения находятся в крайне сухих жарких областях (в пустынях).

Нитраты природные образуются в природе в основном двумя путями: биогенным путём (в результате деятельности нитробактерий в почве) и путем окисления азота атмосферы при грозовых разрядах или под действием солнечной радиации.

Нитраты используются в качестве азотных удобрений, а так же для получения азотной кислоты и взрывчатых веществ. Поскольку промышленные запасы этих минералов ограничены, в настоящее время нитраты получают преимущественно методом химического синтеза из азота воздуха.

Карбонаты.

Карбонаты – соли угольной кислоты. Их общая формула ACO_3 , где А– ионы Ca, Mg, Fe и др. Минералы этого класса очень широко распространены в верхних частях земной коры. Это породообразующие минералы осадочных пород (известняки, доломиты, мел и др.) и метаморфических – мрамор, скарны.

Карбонаты кристаллизуются в ромбической и тригональной сингониях (спайность по ромбу). Для них характерна низкая твердость 3–4, преимущественно светлая окраска. Наиболее часто встречающиеся минералы: кальцит CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, сидерит FeCO_3 и малахит $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$.

Самым распространённым карбонатом является кальцит. Непрозрачный кальцит называют известковым шпатом. Прозрачная разновидность кальцита – исландский шпат встречается реже и применяется в оптике.

Магнезит MgCO_3 и доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ используются в химической промышленности и для производства цемента.

Сидерит (железный шпат) FeCO_3 – руда для получения качественной стали. Сидерит – типичный минерал болотных руд. Малахит $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ относится к гидрокарбонатам.

Малахит – красивый поделочный камень. Как и близкий к нему по составу и свойствам минерал азурит $\text{Cu}_3\text{CO}_3(\text{OH})_2$, он образуется на поверхности Земли в результате окисления сульфидов меди в виде натечных почковидных агрегатов зеленого цвета. Его землистые разновидности (медная зелень) встречаются в песчаниках Урала, Украины и других районов.

Все карбонаты вступают со слабой (5–10 %-ной HCl) соляной кислотой в реакцию, сопровождающуюся выделением углекислого газа. Степень интенсивности реакций у разных минералов позволяет отличать сходные по внешнему виду карбонаты. Генезис карбонатов разнообразен – осадочный (химический и биогенный), гидротермальный, метаморфический.

Сульфаты.

Сульфаты – соли серной кислоты, т.е. имеют в составе радикал SO_4 . Они кристаллизуются в моноклинной и ромбической сингониях. Из минералов этого класса широко распространен гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Он является компонентом многих осадочных пород. Добывается в больших количествах. Используется для изготовления штукатурки, цемента, как наполнитель при изготовлении бумаги и красок, а также в качестве удобрения.

Реже встречается ангидрит CaSO_4 – безводный сульфат кальция. Искусственно обожженный гипс, а также тонкозернистые сплошные массы обыкновенного гипса называют алебастром.

Иногда встречается длинностолбчатая волокнистая разновидность светлого голубоватого гипса, называемая селенитом.

Мирабилит (глауберова соль) $\text{NaSO}_4 \cdot \text{OH}_2\text{O}$ формируется исключительно путём выпадения в осадок из холодных растворов на поверхности Земли. Месторождения обнаруживаются по берегам солёных озёр; используется главным образом для производства соды.

Барит BaSO_4 – главный минерал бария. Барит часто образует удлинённые и уплощённые призматические кристаллы и друзы, встречаются также характерные кристаллические сростки, баритовые розы – радиальные агрегаты, состоящие из таблитчатых кристаллов. Встречается в виде жил в известняках и сланцах. Барит используется во многих областях человеческой деятельности в силу своей химической инертности: при изготовлении красок, бумаги, эмалей, а также как утяжелитель шоколада.

Для сульфатов, как и карбонатов, характерны низкая твердость, светлая окраска, небольшая плотность (исключение барит), стеклянный блеск, совершенная спайность.

Сульфаты образуются в экзогенных условиях, часто совместно с галоидами. Некоторые сульфаты (барит) имеют гидротермальный генезис.

Хроматы.

Элемент хром был впервые установлен в минерале крокоите (рис. 1.46). Крокоит – хромат свинца (PbCrO_4). Он содержит 69,1 % PbO ; 30,9 % Cr^{203} . Название от греч. ироиос – шафран, по характерному оранжево-красному (шафранному) цвету. Старое название – красная свинцовая руда. Хорошо ограниченные кристаллы и друзы часто встречаются по трещинам. Кристаллы призматические, удлинённые (имеют форму острого ромбоэдра), со штриховкой на гранях. Цвет очень яркий оранжево-красный, оранжевый до багряного. Встречается редко. Происхождение гипергенное – в зоне окисления месторождений полиметаллов и золота. Практического значения не имеет. Встречается в виде красивых кристаллов и друз, которые ценятся коллекционерами.



Рис. 1.46. Крокоит

Хром – довольно распространенный элемент на Земле. Его кларк (среднее содержание в земной коре) составляет $8,3 \cdot 10^{-3} \%$. Хром никогда не встречается в свободном состоянии. В хромовых рудах практическое значение имеет только хромит FeCr_2O_4 , относящийся к шпинелям – изоморфным минералам кубической системы с общей формулой $\text{MO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$, где М - ион двухвалентного металла, а Ме – ион трехвалентного металла. Шпинели могут образовывать друг с другом твердые растворы. Хромиты окрашены в темный или почти черный цвет, имеют металлический блеск и обычно залегают в виде сплошных массивов. Месторождения хромита имеют магматическое происхождение.

Вольфраматы и молибдаты.

Среди вольфраматов (солей вольфрамовой кислоты H_2WO_4) и молибдатов (солей молибденовой кислоты H_2MoO_4) имеются минералы-аналоги (например, шеелит CaWO_4 и повеллит CaMoO_4), поэтому удобно рассматривать оба подкласса совместно, тем более что они не богаты видами. Вольфраматы железа, марганца и кальция преимущественно образуются в гидротермальных условиях, тогда как молибдаты – в зонах окисления гидротермальных месторождений, содержащих в первичных рудах молибденит.

Фосфаты, арсенаты и ванадаты.

Этот класс минералов объединяет соли фосфорной, мышьяковой и, в меньшей степени, ванадиевой кислот и насчитывает свыше 300 минералов.

Наиболее многочисленны среди них фосфаты. В природе известно свыше 230 фосфатов, среди которых выделяют:

простые (с одним) и сложные (с двумя и более видообразующими катионами);

кислые (типа CaHPO_4 – монетит), средние и основные (с OH -группой), а также с другими дополнительными анионами – (F^- , Cl^- , O^{2-} , $[\text{AsO}_4]^{3-}$, $[\text{SiO}_4]^{3-}$ и др.).

Из-за относительной сложности состава фосфатам более свойственны кристаллы низкой симметрии. Пространственное расположение катионов и дополнительных анионов, а также молекул воды определяет координационные, цепочечные, слоистые и каркасные мотивы в кристаллической структуре фосфатов.

Фосфаты иногда бесцветны, чаще интенсивно окрашены, например, для фосфатов алюминия и железа особенно характерен синий цвет различных оттенков. Многим фосфатам свойственна люминесценция.

Главные представители класса фосфатов:

апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$; вивианит $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; бирюза $\text{SiAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Апатит – наиболее распространенный минерал этого класса. Апатит может иметь как эндогенное, так и экзогенное происхождение. Перечисление в формуле апатита гидроксильной группы, хлора и фтора означает, что в этом минерале возможно изоморфное замещение указанных анионов. Причём самым распространённым является фторапатит, т.е. апатит, в котором фтор преобладает над хлором и гидроксидом.

Вивианит, бесцветный в восстановительных условиях и ярко-синий после окисления минерал, имеет исключительно экзогенное происхождение. Встречается на болотах, поскольку образуется при недостатке кислорода и избытке органического вещества.

Бирюза, красивый голубой или зеленый поделочный камень, также имеет только экзогенное происхождение

В природе фосфаты иногда встречаются в виде фосфоритов. Фосфориты – осадочные морские образования, близкие по составу к апатиту, содержащие примеси кварца, карбонатов, глауконита и глинистых частиц. Они обычно образуют радиально-лучистые и скрытокристаллические конкреции.

Почти для всех минералов рассматриваемого класса характерны землистые, коллоидные агрегаты, налеты, корки, плотные скрытокристаллические скопления.

Многие минералы этого класса выделяются яркой окраской, связанной с содержанием ионов-хромофоров. Уран содержащие имеют канареечно-желтый или изумрудно-зеленый цвет. Минералы, содержащие Cu, зеленые разных оттенков до зеленовато-голубого; Со- розовые до малиново-красного; Fe - бурые, желтые, синие; Mn- розовые.

Большинство фосфатов и их аналогов имеют низкую и среднюю твердость. Редко она доходит до 5.

Подавляющая часть минералов этого класса, включая все арсенаты и ванадаты, а также все водные соединения, являются минералами поверхностных процессов. Наиболее часто это зона окисления сульфидных месторождений, находящихся в странах с жарким, тропическим климатом. Значительные количества они образуют также в процессах осадконакопления (фосфориты, апатит, вивианит). Меньшее число минералов возникает в результате магматического или пегматитового процессов (apatит, монацит). Апатит является минералом, возникающим практически во всех процессах минералообразования.

Яркая окраска некоторых уранил-фосфатов (урановые слюды) используется в качестве поискового признака руд урана.

При значительных концентрациях фосфаты используются как руды редких земель, урана и других элементов, а также для получения фосфорных удобрений.

Бораты.

Бораты по составу являются солями ортоборной кислоты H_3BO_3 .

Анион $[BO_3]^{3-}$ имеет вид плоского треугольника сравнительно малых размеров. Это благоприятствует образованию прочных кристаллических решёток с малыми катионами трехвалентных металлов Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{3+} в сочетании с малыми двухвалентными катионами Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} . Для полиборатов весьма характерны ионы Mg^{2+} и более крупные - Ca^{2+} , Na^{1+} .

Известно 85 природных боратов. Удельный вес в безводных боратах 2,6–3,4 г/см³ (редко больше). У водосодержащих боратов – меньше 2 г/см³. Твердость безводных по шкале Мооса 5–6, водных 2- 4. Цвет: бесцветные, белые, серые, реже жёлтые или окрашенные в другие цвета.

Бораты слагают месторождения ряда генетических типов, главные из которых контактово-метасоматические, вулканогенно-осадочные и галогенные. Бораты встречаются в доломитах, в доломит-ангидритовых породах, в каменной соли и калийных солях. В галогенных горных породах нередко встречаются не только бораты, но и боросиликаты (данбурит).

Силикаты.

К классу силикатов относится наибольшее число минералов, входящих в состав земной коры. Третья часть известных минералов относится к классу силикатов и алюмосиликатов. Силикаты вместе с кварцем составляют около 95 % земной коры. Эти минералы слагают большинство горных пород. В табл.1. 3 представлено объемное содержание породообразующих силикатов в континентальной коре.

Таблица 1. 3

| Минерал | Содержание силикатов, % |
|----------------------|-------------------------|
| Полевые шпаты | 57 |
| Пироксены + амфиболы | 13 |
| Кварц | 11 |
| Слюды | 11 |
| Оливин | 3 |

Установлено, что во всех силикатах каждый ион кремния Si^{4+} находится в соединении с четырьмя ионами кислорода и может быть изображен формулой $[SiO_4]^{4-}$. Это соединение является основной структурной единицей силикатов и называется кремнекислородный тетраэдр. Кремнекислородный тетраэдр – группировка, состоящая из четырех больших ионов кислорода (ионный радиус 0,13 нм) и одного иона кремния (ионный радиус 0,04 нм). При этом центры ионов кислорода образуют четыре вершины тетраэдра, а ион кремния занимает центр такого тетраэдра (рис. 21).

а *б* *в*

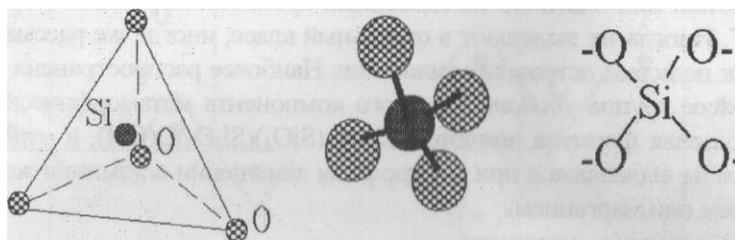


Рис.1.47. Кремнекислородный тетраэдр:
а, б, в - разные способы изображения

Кремнекислородный тетраэдр обладает четырьмя свободными валентными связями, за счет которых происходит присоединение других кремнекислородных тетраэдров и ионов других химических элементов.

В основу классификации силикатов положен способ соединения тетраэдров.

Кремнекислородные тетраэдры могут быть обособлены один от другого или соединяться посредством общих кислородных ионов через вершины тетраэдров, создавая сложные комплексно-анионные радикалы. В зависимости от способов сочленения кремнекислородных тетраэдров силикаты разделяются на следующие группы:

- островные;
- кольцевые;
- цепочечные;
- ленточные;
- листовые;
- каркасные.

Если четырехвалентный кремний в центрах тетраэдров частично замещается трехвалентным алюминием или в некоторых случаях железом, то возникает одна свободная валентность и образуются алюмосиликаты.

Островные силикаты. В структуре силикатов этой группы кремнекислородные тетраэдры не имеют общих вершин, т.е. общих ионов кислорода, и удерживаются в решетке ионами других элементов. Эти силикаты обладают большой твердостью и довольно высокой плотностью. Самым распространенным минералом этой группы является оливин $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$. Существует изоморфный ряд от минерала форстерита $(\text{Mg}_2\text{SiO}_4)$ до минерала фаялита $(\text{Fe}_2\text{SiO}_4)$, однако чаще встречается промежуточный минерал оливин. Он характерен для ультраосновных и основных изверженных пород.

К более редким островным силикатам относятся топаз $(\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F,OH})_2)$ и циркон (ZrSiO_4) . Последний минерал отличается крайне высокой устойчивостью к выветриванию, в результате чего в почти неизменном виде сохраняется в течение миллиардов лет; кроме того, часть циркония в нём изоморфно замещена торием и ураном, что позволяет проводить датировку цирконов изотопными методами.

В метаморфических преимущественно и реже в изверженных породах встречаются гранаты. В этой группе минералов катионная часть компенсирует совокупный заряд трёх кремнекислородных тетраэдров (но не соединённых вершинами). Общая формула граната $\text{Me}^n_3\text{Me}^{\text{ni}}_2(\text{SiO}_4)_3$.

Известно несколько разновидностей гранатов, из которых самым распространенным является алмадин $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ темно-красного или буроватого цвета; реже встречается розовато-красный пироп $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ и оранжевый, коричневый спессартин $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$.

Наиболее редкими являются зеленые разновидности граната:

- гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$,
- андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ (зеленовато-жёлтый),
- уваровит $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ (изумрудно-зелёный).

Близки по строению к островным силикатам и минералы, состоящие полностью или частично из сдвоенных кремнекислородных тетраэдров. Иногда их выделяют в отдельный класс, иногда же рассматривают как подкласс островных силикатов.

Наиболее распространена в этом подклассе группа эпидота, важного компонента метаморфических пород; базовая формула эпидотов $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$, а отдельные минералы выделяются при изоморфном замещении алюминия железом, магнием или марганцем.

Кольцевые силикаты. Силикаты, структура которых образована из шести (значительно реже трёх или четырёх) кремнекислородных тетраэдров, соединённых в кольцо, называются кольцевыми (рис. 1.48.). Представителем силикатов с кольцом из шести тетраэдров $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ является берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$,

полупрозрачный и прозрачный минерал, образующий шестигранные призматические кристаллы. Из него добывается металл бериллий.

Зеленая разновидность берилла называется изумруд.

К этой же группе относится сложный бороалюмосиликат турмалин $\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{OH})_4(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Прозрачные разновидности турмалина используются как драгоценные камни. Некоторые разновидности турмалина применяются в радиотехнике.

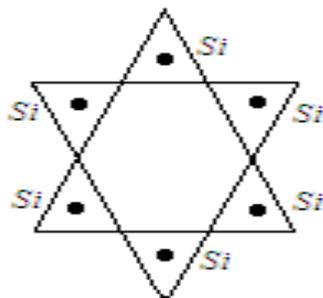


Рис. 1.48. Структурное расположение кремнекислородных тетраэдров в кольцевом силикате

Цепочечные силикаты. У минералов этой группы кремнекислородные тетраэдры соединены в бесконечные цепочки, в формуле обозначаемые как $\text{Si}_2\text{O}_6^{4-}$ (рис.1.49).

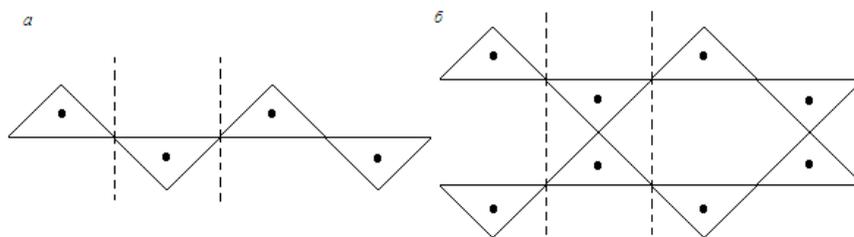


Рис. 1.49. Структурное расположение кремнекислородных тетраэдров в цепочечных (а) и ленточных (б) силикатах

В группу этих силикатов входят железомagneзиальные силикаты семейства пироксенов, среди которых различают моноклинные (кальцийсодержащие) и ромбические (бескальциевые).

Кальцийсодержащие пироксены образуют изоморфный ряд от геденбергита ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) до диопсида ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$). Один из самых распространённых промежуточных членов этого ряда – алюмосодержащий пироксен – авгит ($\text{Ca, Na}(\text{Mg, Fe, Al})[(\text{Si, Al})_2\text{O}_6]$), являющийся основным компонентом таких магматических пород, как базальт и габбро (рис. 1.50., а, б). В этом минерале осуществляется как изоморфное замещение магния на железо и алюминий в катионной группе, так и замещение кремния на алюминий в тетраэдрах. Авгит имеет кристаллы зеленовато-черного цвета с восьмиугольным сечением и блестящими гранями.

Бескальциевые пироксены образуют изоморфный ряд от ферросилита $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]_6$ до энстатита $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]_6$. В этом изоморфном ряду выделяются следующие индивидуальные минералы: энстатит (содержание Fe от суммы магния и железа 0–12 %), бронзит (Fe 12–30 %), гиперстен (Fe 30–50 %), феррогиперстен (Fe 50–70 %), эулит (Fe 70–88 %) и ферросилит (Fe 88–100 %). Ферросилит встречается в природе редко, остальные же минералы этого ряда распространены широко, входя в состав основных и ультраосновных пород.



Рис. 1.50. Авгит (а), кристаллы авгита (б)

Пироксены образуются в качестве первичных минералов из расплавов основного состава, весьма распространены в породах габбровой группы и в базальтах, реже встречаются в метаморфических породах, скарнах и в близких им типах пород. Их доля в составе земной коры достигает 6-8 %.

Ленточные силикаты. В ленточных силикатах бесконечные цепочки тетраэдров соединены попарно, что отражается в формуле как блок $\text{Si}_4\text{O}_{10}^{6-}$ (рис. 1.49., б). В некоторых пособиях они объединяются в один класс с цепочечными силикатами.

Наиболее распространенными представителями этих силикатов являются амфиболы, которые входят в состав магматических и метаморфических горных пород. Амфиболы по цвету, облику кристаллов, твердости и плотности близки к пироксенам и визуально трудно от них отличимые. Однако существуют различия в характере блеска, форме кристаллов и спайности. В отличие от пироксенов у большинства амфиболов шелковистый блеск, вытянутые столбчатые, часто игольчатые кристаллы шестиугольного сечения, более совершенная спайность, плоскости которой пересекаются под углом $124^\circ(56^\circ)$, тогда как у пироксенов этот угол близок к прямому (87°). Их химический состав непостоянен и сложен.

Большинство амфиболов относится к группе роговой обманки. К ней относится ряд важнейших породообразующих минералов, имеющих переменный химический состав.

Роговая обманка – твердый раствор, в кристаллической структуре которого в различных пропорциях могут находиться атомы разных металлов: магния, железа, алюминия, марганца, титана; атомы кальция, натрия, калия; кремний может замещаться алюминием. Состав роговой обманки может быть выражен формулой $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$. Роговая обманка имеет светло-темно-зеленый и буровато-черный цвет. От авгита отличается волокнистостью и шелковистым блеском вытянутых столбчатых кристаллов. Кроме собственно роговой обманки, у амфиболов выделяется изоморфный ряд тремолита $(\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2)$ - актинолита $(\text{Ca}_2\text{Fe}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2)$ и группа щелочных амфиболов (с повышенным содержанием натрия). Нетрудно заметить, что формулы актинолита и тремолита являются частными случаями формулы роговой обманки, поэтому этот изоморфный ряд многие исследователи тоже включают в группу роговой обманки.

Актинолит - лучистый амфибол светло-зеленого цвета встречается в горных породах метаморфического происхождения. Для него типична игольчатая форма кристаллов (рис. 1.51.а).

В зернистых известняках и доломите встречается тремолит (грамматит): длинные, линейковидные и лучистые агрегаты от белого до серого цвета (рис. 1.51.б).



Рис. 1.51. Актинолит (а), тремолит (б)

Слоистые силикаты. У слоистых силикатов кремнекислородные тетраэдры образуют бесконечные слои. Это определяет макроскопический облик минералов: они обычно имеют пластинчатое или чешуйчатое строение. Для минералов этой группы характерна весьма совершенная спайность в одном направлении и небольшая твердость.

Характерной особенностью слоистых силикатов является сочетание слоев, составленных кремнекислородными тетраэдрами с бесконечными же слоями, состоящими из октаэдров, в центре которых находится алюминий, магний или железо, а в вершинах – гидроксильные группы (рис. 1.52.).

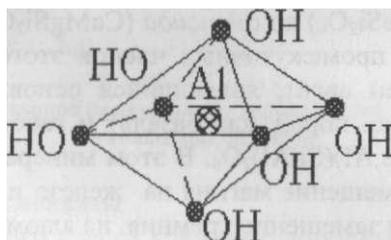


Рис. 1.52. Схематическое изображение алюминиевого октаэдра

Простейшая для слоистых силикатов структура отмечается для каолинита $\text{Al}_4(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$ и его магниезного аналога серпентина (змеевика) $\text{Mg}_6(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$ (рис. 1.53. *а, б*).

аб

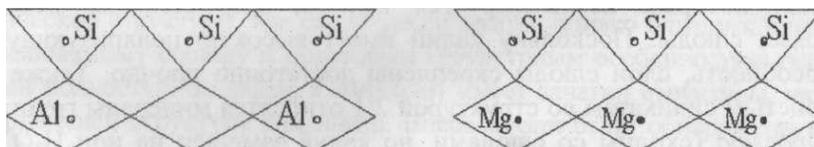


Рис. 1.53. Схематическое строение кристаллической решётки слоистых силикатов структуры 1:1 (проекция перпендикулярна бесконечному слою):
а – каолинит; *б* – серпентин

На один тетраэдрический слой приходится один октаэдрический; в этом случае говорят о структуре 1:1. В случае каолинита и серпентина заряд тетраэдров полностью компенсируется зарядом октаэдров.

Изоморфного ряда серпентин и каолинит не образуют. Однако у серпентина отмечается изоморфное замещение магния железом. Серпентин образует различные формы: массивная (лизардит), листоватая (антигорит) и волокнистая (хризотил, серпентин-асбест). Кроме того, встречается серпентин с высоким содержанием никеля (гарниерит). Горная порода, состоящая из минерала серпентина $\text{Mg}_3(\text{OH})_4[(\text{Si}_2\text{O}_5)]$ называется серпентинитом или змеевиком – по зеленой пятнистой окраске. Волокнистая разновидность серпентина – асбест. Серпентинит возникает в результате метаморфического изменения магматических, в основном оливиновых пород. Асбест используют для изготовления огнеупорных тканей. Каолинит $\text{Al}_2(\text{OH})_4[(\text{Si}_2\text{O}_5)]$ формируется при химическом выветривании алюмосиликатов магматических пород на поверхности Земли. Он входит в состав многих глин. Землистые рыхлые массы каолинита называются каолином. Употребляется в строительном деле, керамическом производстве, бумажной промышленности и как огнеупорный материал.

У слоистых силикатов, содержащих в октаэдрических позициях двухвалентные катионы (Mg^{2+} , Fe^{2+}), все октаэдрические позиции заполнены, а у содержащих трёхвалентные катионы (Al^{3+} , Fe^{3+}) – только две из трёх, а каждый третий октаэдр пустой. Поэтому минералы с железисто-магниезным октаэдрическим слоем называют триоктаэдрическими (три из трёх октаэдров заполнены), а с алюминиевым – диоктаэдрическими (два из трёх октаэдров заполнены).

Более сложное строение имеют минералы со структурой 2:1. Такая структура характерна для пирофиллита $\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})$ и талька $\text{Mg}_3(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})$. Схематически она представлена на рис. 1.54, *аб*.

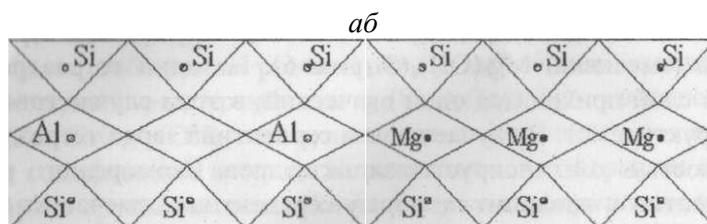


Рис. 1.54. Схематическое строение кристаллической решётки слоистых силикатов структуры 2:1 (проекция перпендикулярна бесконечному слою):
a– пиррофиллит; *б*– тальк

Такое же строение имеют слюды: мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ и биотит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH}, \text{P})_2$. Слюды отличаются от пиррофиллита и талька тем, что в их тетраэдрах часть четырёхвалентного кремния замещена на трёхвалентный алюминий. В результате на слое образуется отрицательный заряд, который компенсируется калием, закреплённым между слоями слюды. Поскольку калий имеет высокую поляризующую способность, слои слюды скреплены достаточно прочно.

Тальк – магнезиальный листовый силикат (рис. 1.54, *a*). Плотная разновидность талька называется жировиком, а горная порода, состоящая из талька, – горшечным камнем или талькифом. Образуется этот минерал в верхних частях земной коры в результате действия воды и углекислоты на ультраосновные и основные породы, богатые магнием (перидотиты, амфиболиты и др.). Тальк применяется в бумажной, резиновой, парфюмерной, фармацевтической, кожевенной и фарфоровой промышленности.

Слюды – листовые алюмосиликаты, входящие в состав многих магматических и метаморфических пород. Общее количество слюд в породах земной коры ≈ 4 . Мусковит и биотит относятся к важнейшим породообразующим минералам. Мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ – бесцветная или слабо окрашенная желтоватая, зеленоватая прозрачная калиевая слюда. Применяется как изоляционный материал, а его порошок (скрап) служит для изготовления огнестойких строительных материалов, бумаг, красок, автомобильных шин.

Биотит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH}, \text{P})_2$ – магнезиально-железистая слюда зеленовато или коричнево-черного цвета.

Бурая магнезиальная слюда, похожая на биотит, но не ломкая, называется флогопитом. Она широко используется в электротехнике.

Также к слоистым силикатам со структурой 2:1 относятся минералы группы гидрослюды (сходны со слюдами, но калий замещён на ион H_3O^+), вермикулитов $(\text{Mg}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3 [(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (рис. 49, *б*) и смектитов $(\text{Mg}_3, \text{Al}_2)(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Отличие минералов этих групп от слюд заключается в том, что у них кремний в меньшей степени замещён на алюминий в тетраэдрических позициях, и заряд на слое также меньше: уменьшение заряда на слое идёт в ряду слюды-гидрослюды-вермикулиты-смектиты. Уже гидрослюды не способны удерживать калий между слоями и гораздо менее прочны, чем слюды. У вермикулитов связь между слоями ещё более ослабевает, и межплоскостное расстояние равно не 1,0 нм, как у слюд и гидрослюды, а 1,4 нм. При нагревании вермикулиты сжимаются до 1,0 нм. В смектитах связь между слоями ещё слабее: при нагревании они сжимаются с 1,4 до 1,0 нм, а при насыщении водой или внедрении органических молекул межплоскостное расстояние увеличивается до 1,8 нм.

a



б



Рис. 1.55. Тальк (а), вермикулит (б)

Каждая из перечисленных групп включает множество индивидуальных минералов благодаря значительному изоморфному замещению в октаэдрических позициях. Например, в группе смектитов выделяется монтмориллонит (содержащий преимущественно алюминий и магний), бейделлит (содержащий преимущественно алюминий), нонтронит (содержащий Fe^{3+}) и др.

Распространенной группой минералов экзогенного и метаморфического происхождения являются хлориты (рис. 1.56.). Они имеют структуру 2:2, то есть в них присутствует дополнительный слой октаэдров.



Рис. 1.56. Хлорит

Хлориты - водные алюмосиликаты магния и железа. Название этим минералам дано по своеобразному зеленому цвету ("хлорос" – зеленый). Минералы данной группы представляют собой изоморфный ряд соединений состава $Mg_5(OH)_8[Si_4O_{10}]$ и $Mg_4Al_2(OH)_8[Al_2Si_2O_{10}]$, в которых Mg^{2+} и Al^{3+} могут замещаться соответственно Fe^{2+} и Fe^{3+} . Благодаря сильно развитому изоморфному замещению в тетраэдрах и октаэдрах эта группа крайне разнообразна по химическому составу: в ней выделяется около двух десятков индивидуальных минералов. Хлориты развиты в основном в метаморфических породах, в которых они формируются за счет магнезиально-железистых силикатов. Некоторые из хлоритов содержат до 36 % железа и используются как железные руды (шамозит).

Глауконит $K(Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg)_{2-3}(OH)_2[AlSi_3O_{10}]_n \cdot nH_2O$ относится к группе гидрослюд. Химический состав глауконита очень изменчивый. Он образуется в неглубоких морских бассейнах и широко распространен в песках, глинах, опоках, известняках и других осадочных породах, где встречается в виде скрытокристаллических зернышек округлой формы. Используется как калийное удобрение в сельском хозяйстве и для смягчения жесткости воды.

К слоистым силикатам относят обычно и аморфные минералы аллофан, имоголит, имеющие условную формулу $nAl_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot pH_2O$ и непостоянный состав. Аллофан имеет форму крохотных (размером около 5 нм) шариков, а имоголит - волокон длиной до 100 нм. Строго говоря, эти минералы должны выделяться в отдельный класс, поскольку не имеют кристаллической структуры, как слоистые силикаты, однако близки к ним по химическому составу и некоторым структурным особенностям. Аллофан полностью аморфный, а имоголит имеет зачатки структуры, напоминающей структуру каолинита. Впервые они были об-

наружены как продукт изменения вулканических пеплов. Слоистые силикаты практически всегда присутствуют в значительных количествах в почвах и во многом определяют их химические свойства.

Каркасные силикаты. Минералы этого подкласса являются самыми распространёнными, составляя 65 % от массы земной коры. В их кристаллической решетке кремнекислородные тетраэдры соединены в единый каркас. Структурная ячейка каркасных силикатов имеет формулу Si_4O_8 . Эта формула соответствует и кварцу; именно поэтому его иногда причисляют к каркасным силикатам. Заряд такой элементарной ячейки равен нулю, однако во всех каркасных силикатах часть кремния замещена на алюминий, благодаря чему образуется заряд, компенсируемый другими катионами. Главными представителями этой группы являются полевые шпаты. Для них характерны довольно высокая твердость (5-6), светлая окраска и плотность 2,5-2,7 г/см³. Полевые шпаты подразделяют на группу кальциево-натриевых полевых шпатов, или плагиоклазов, и на группу калий-натриевых, или просто калиевых КПШ - (щелочные полевые шпаты).

Плагиоклазы представляют из себя изоморфный ряд от чисто натриевой разности - альбита $Na[AlSi_3O_8]$ до чисто кальциевой анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$. В изоморфном ряду выделяется шесть минералов по относительному содержанию альбитовой и анортитовой составляющих. Минерал, содержащий от 0 до 10 % анортита, называется альбит, от 10 до 30 % - олигоклаз, от 30 до 50 % - андезин, от 50 до 70 % - лабрадор, от 70 до 90 % - битовнит, а от 90 до 100 % - анортит. Так как натриевые разности содержат кремния больше, чем кальциевые то, по аналогии с горными породами, альбит и олигоклаз называют кислыми плагиоклазами, андезин и лабрадор - средними, а битовнит и анортит - основными. По внешнему виду все разновидности плагиоклазов очень сходны друг с другом за исключением лабрадора, для которого характерна иризация (синие и зеленые переливы на плоскостях спайности). От калиевых полевых шпатов плагиоклазы отличаются белой, голубоватой или зеленовато-серой окраской, тонкой параллельной штриховкой на плоскостях спайности; последние образуют угол 67° (отсюда название: греч. "плагиоклаз" - косоколющийся).

Калиевые полевые шпаты имеют более постоянный химический состав. В них возможно только некоторое замещение калия на натрий. Калиевые полевые шпаты, имеющие формулу $K(AlSi_3O_8)$, в зависимости от незначительных колебаний в строении кристаллической решетки, называются микроклин или ортоклаз. Эти минералы имеют желтовато-розовую и мясо-красную окраску. Ортоклаз образует прямоугольные сколы по спайности в двух направлениях. С этим свойством связано и название минерала - от греческого "ортоклаз" - прямоколющийся. Калиевый полевой шпат, имеющий формулу $(Na,K)(AlSi_3O_8)$ называется анортоклазом.

Помимо полевых шпатов к подклассу каркасных силикатов относят группу фельдшпатоидов (т. е. похожих на полевые шпаты). Фельдшпатоиды по химическому составу сходны с полевыми шпатами, но беднее их кремнекислотой. Они как бы замещают полевые шпаты в некоторых магматических породах, бедных кремнекислотой, но богатых щелочами, и поэтому играют существенную роль в составе щелочных пород. Альбиту (натриевому полевому шпату) соответствует фельдшпатоид нефелин $KNa_3[AlSiO_4]$ по характерному жирному блеску называемый также элеолитом (масляным камнем). Он входит в состав бескварцевых щелочных магматических пород - нефелиновых сиенитов - и применяется в стекольной, керамической и химической промышленности, а также для производства алюминия.

Преимущественно калиевый фельдшпатоид называется лейцитом $[AlSi_2O_6]$ или $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$. Название происходит от греческого слова "лейкос" - светлый. Лейцит - породообразующий минерал в некоторых богатых щелочами и относительно бедных кремнеземом эффузивных породах (лейцитовых базальтах, фонолитах, трахитах и др.). Каркасные силикаты используют преимущественно как строительные материалы, сырьё для изготовления эмалей и керамики; некоторые полевые шпаты используются как поделочные и декоративные камни. На рис. 1.57. представлены наиболее распространенные каркасные силикаты.





Рис. 1.57. Альбит (а), лабрадор (б), ортоклаз (в), нефелин (г)

1.5.5.2. Методика определения главных породообразующих и рудных минералов.

[На оглавление](#)

Существует много специальных методов определения минералов, применяемых в минералогии: кристаллографический, рентгенометрический, химический, микроскопический и др. В данном курсе для диагностики минералов используется макроскопический метод (табл. 1.4.). Этот метод, обычно применяемый и в полевых условиях, основан на изучении внешних физических свойств минералов, видимых невооруженным глазом, а также форм их нахождения в природе.

При макроскопическом определении минералов необходимо учитывать весь комплекс их физических и химических свойств. Следует также иметь в виду, что свойства наиболее отчетливо фиксируются в крупном кристалле или зерне минерала. В мелких вкрапленниках и в мелкозернистых агрегатах точное определение ряда свойств затруднено или вообще невозможно.

Таблица 1.4.

Простейшая схема макроскопического определения главных породо- и рудообразующих минералов

| Твердость | Цвет | Цвет черты | Блеск | Спайность | Минерал и его формула | Дополнительные признаки |
|---------------------|--------------------|---------------|-------------------|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Очень мягкие 1,0 | Серый, темно-серый | Серый | Полуметаллический | Весьма совершенная по одному направлению | Графит C | Чешуйчатые агрегаты, плотные массы, жирные на ощупь |
| | Бледно-зеленый | Белый | Стеклообразный | То же | Тальк $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ | То же |
| | Белый | Белый | Матовый | То же, визуально неразличима | Каолинит $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ | Землистые, порошковые массы, легкие, впитывают влагу |
| Мягкие 1,5-2,5 | Желтый | Светло-желтый | Жирный, алмазный | Несовершенная | Сера S | Канифолоподобные массы, гнезда, прожилки, друзы. Плавится и загорается в пламени спички |
| | Бесцветный, белый | Белый | Стеклообразный | Весьма совершенная по одному направлению | Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | Таблитчатые индивиды, двойники, параллельно-волокнистые агрегаты |
| | Белый иногда | Белый | То же | Совершенная по трем направлениям | Галит NaCl | Зернистые массы, кубические кристаллы, вкус соленый |
| Мягкие 1,5-2,5 | Красный | Белый | Стеклообразный | То же | Сильвин KCl | Горько-соленый вкус |
| | Бесцветный | Белый | Стеклообразный | Весьма совершенная по одному направлению | Мусковит $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ | Листоватые агрегаты, гибкие упругие листочки |
| | Черный, бурый | Белый | Стеклообразный | То же | Биотит $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,$ | То же |

| | | | | | | |
|-------------------------|---|---------------|-------------------|---|--|--|
| | | | | | F_2 | |
| | Зеленый | Белый | Стекланный | То же | Хлорит $Mg_6Al(AlSi_3O_{10})(OH)_4$ | Листочки гибкие и неупругие |
| | Зеленый | Белый | Матовый | Визуально не различима | Глауконит $K(Mg,Al,Fe)(AlSi_3O_{10})$ | Округлые зерна в осадочных породах |
| | Желтовато-зеленый | Белый | Стекланный | То же | Серпентин $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ | Плотные массы, параллельно-волнистая разновидность – асбест |
| | Серый | Серый | Металлический | Совершенная по трем направлениям | Галенит PbS | Зернистые агрегаты, кубические кристаллы, высокая плотность |
| | Красный | Красный | То же | Несовершенная | Медь Cu | Дендриты, высокая плотность, ковкость, окисление |
| Средней твердости 3-5,5 | Желтый, коричневатый, черный | Коричневый | Алмазный | Совершенная по шести направлениям | Сфалерит ZnS | Зернистые агрегаты, реакция с HCl |
| | Латуно-желтый | Зелено-черный | Металлический | Несовершенная | Халькопирит $CuFeS_2$ | Сплошные выделения, побежалость, окисление |
| | Бесцветный, белый, желтый, розовый | Белый | Стекланный | Совершенная по трем направлениям | Кальцит $Ca(CO_3)$ | Зернистые агрегаты, ромбоэдры, бурно реагируют с HCl в образце |
| | То же | Белый | То же | То же | Доломит $Ca, Mg(CO_3)_2$ | Реагирует с HCl в порошке |
| | Белый, сероватый, голубоватый, желтоватый | Белый | То же | Визуально плохо различима | Ангидрит $CaSO_4$ | Зернистые агрегаты, переходит в гипс |
| | То же | Белый | То же | Несовершенная | Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$ | Натечные агрегаты с раковистым изломом |
| | Зеленый, голубоватый, бесцветный | Белый | То же | Несовершенная | Апатит $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl)$ | Зернистые массы, призматические кристаллы, гексагон в поперечном сечении |
| Твердые 5,5-7 | Светло-желтый | Черный | Металлический | Несовершенная | Пирит FeS_2 | Кристаллы кубической и пентагондодекаэдрической формы, штриховка |
| | Черный | Черный | Полуметаллический | Несовершенная | Магнетит $FeFe_2O_4$ | Сильномагнетен, кристаллы октаэдрической формы или зернистые массы |
| | Черный (у кристаллов) красный (у сплошных масс) | Красный | Полуметаллический | Несовершенная | Гематит Fe_2O_3 | Таблитчатые кристаллы, натечные агрегаты, землистые массы |
| | Бесцветный розовый, красный | Белый | Стекланный | Совершенная по двум направлениям | Микроклин $KAlSi_3O_8$ | Крупнозернистые агрегаты, пертитовые вроски |
| | Белый | То же | То же | То же | Плагиоклаз алюмосиликат Ca и Na | Двойниковая штриховка, иризация |
| | Серый, зеленый, красный | То же | Жирный | Несовершенная | Нефелин $Na_3K(AlSiO_4)_4$ | Ассоциация с апатитом, эвдиалитом |
| | Темно-зеленый, черный | То же | Стекланный | Средняя по двум направлениям под углом 90° | Авгит $(Ca,Mg)(Al,Ti)Si_2O_6$ | Зернистые агрегаты, короткостолбчатые |
| | То же | То же | То же | То же | Эгирин $NaFeSi_2O_6$ | Игольчатые индивиды, радиально-лучистые агрегаты |
| | То же | Зеленоватая | То же | Совершенная по двум направлениям под углом 120° | Роговая обманка Fe-амфибол | Шестовитые агрегаты |
| | Зеленый | Зеленоватая | Стекланный | Несовершенная | Оливин $(Mg,Fe)_2(SiO_4)$ | Зернистые агрегаты |

| | | | | | | |
|----------------------|---|---|-------|-------|--|--|
| | Бесцветный, белый, серый | - | То же | То же | Кварц SiO_2 | Призматические кристаллы, халцедон открытокристаллический, натечный |
| Очень твердые > 7 | Разнообраз. (чаще красный, зелен., коричн.) | - | То же | То же | Гранат $\text{Me}^n_3\text{Me}^{\text{ni}}_2(\text{SiO}_4)_3$ | Кристаллы ромбододекаэдрической и тетрагонтриоктаэдрической формы |
| | Разнообразный (чаще черный) | - | То же | То же | Турмалин $\text{XY}_3\text{Z}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$ (X=Ca,Na; Y=Mg,Mn,Li,Al; Z=Al,Fe ³⁺) | Призматические кристаллы с поперечным сечением сферического треугольника |
| | Зеленый разных оттенков | - | То же | То же | Берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ | Призматические кристаллы гексагонального сечения |
| | Бесцветный (синеватый, розоватый) | - | То же | То же | Топаз $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{F}_2$ | Призматические кристаллы с продольной штриховкой |
| | Бесцветный (серый, синеватый) | - | То же | То же | Корунд Al_2O_3 | Пирамидально-призматические кристаллы с горизонтальной штриховкой |

1.6. Горные породы

1.6.1. Основные понятия и определения.

[На оглавление](#)

Горными породами называют естественные ассоциации минералов более или менее устойчивого состава, возникшие в глубинах Земли или на ее поверхности в результате различных геологических процессов. Горные породы, содержащие полезные компоненты и отдельные минералы, извлечение которых экономически целесообразно, называют полезными ископаемыми. Изучением горных пород занимается наука петрография.

Геологические процессы, приводящие к образованию горных пород, называются процессами петрогенеза. Таких процессов три:

- кристаллизация природных силикатных расплавов (магм или лав) - магматизм
- разрушение ранее существовавших горных пород в поверхностных условиях, отложение продуктов разрушения в водоемах и на поверхности суши - осадкоаккумуляция;
- перекристаллизация горных пород любого происхождения в результате изменения физико-химических условий (повышения температуры и давления) - метаморфизм.

Вещественными составляющими горных пород могут являться: 1) зерна минералов; 2) вулканическое стекло; 3) обломки ранее существовавших минералов и пород; 4) органические остатки; 5) космическая пыль.

Вещественный состав горных пород характеризуется их химическим и минеральным составом. Валовый химический состав горных пород определяется содержанием (массовых долей) оксидов Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O , H_2O и выражается в процентах. Среднее содержание каждого из указанных оксидов более 1 %. Минеральный состав, который тоже выражается в процентах, но определяется содержанием (объемных долей) главных породообразующих минералов, играет решающую роль при выявлении типа горной породы (химический состав может быть одинаковым у пород совершенно разных типов). Минералы, из которых состоит порода, делятся на *главные* (каждый занимает более 5 % объема породы), *второстепенные* (менее 5 %) и акцессорные (незначительное количество минералов в породе). Минералы классифицируются на первичные и вторичные. *Первичные* минералы образуются в процессе формирования горной породы. *Вторичные* - при последующих изменениях породы и при широком развитии могут повлиять на ее название.

Среди породообразующих минералов различают светлоцветные - силикатные, содержащие много кремния и алюминия и темноцветные - мафические, содержащие много магния и железа. К силикатным минералам относятся плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, кварц, кальцит, мусковит, фельдшпатоиды (нефелин). К группе мафических - амфиболы, пироксены, оливины, биотит, магнетит.

Если горные породы состоят из одного главного минерала, их называют *мономинеральными*, когда из нескольких - *полиминеральными*. Последние распространены в земной коре более широко. Кроме породообразующих и второстепенных минералов в магматических породах иногда присутствуют ксеногенные (чуждые), или случайные, минералы. Они попадают в горные породы извне и не связаны с процессом кристаллизации магматического расплава. Детальное минералогическое исследование горных пород проводят при микроскопическом изучении их тонких срезов - *шлифов*. Все характеристики горных пород тесно связаны с их происхождением. По способу и условиям образования горные породы делятся на магматические (изверженные), осадочные и метаморфические. Внутреннее строение горных пород характеризуется их структурой и текстурой.

Структура - это совокупность признаков строения породы, обусловленных размерами, формой и взаимоотношениями ее составных частей. Под структурой понимают размеры и форму слагающих породу зерен минералов, стекла и т.д. Структура отражает строение минерального агрегата, характеризуемое: а) степенью кристалличности, б) абсолютной величиной входящих в агрегат минералов, в) относительной величиной минералов, г) формой минералов, д) степенью огранки минералов, зависящей от взаимного влияния входящих в агрегат элементов и от способности приобретать в разных условиях более или менее правильную огранку.

По степени кристалличности различают полнокристаллические, полукристаллические и стекловатые структуры. Полнокристаллические структуры характерны для глубинных пород, образовавшихся при медленном охлаждении магмы, а также для большинства метаморфических пород, полукристаллические и стекловатые структуры бывают в излившихся породах.

В зависимости от размеров зерен структуры бывают: крупно- (размеры зерен более 5 мм), средне - (2-5 мм) и мелкозернистые (менее 2 мм).

При близких по размерам зернах минералов, слагающих породу, структура является равномернозернистой, в противном случае – неравномернозернистой. Типичными разновидностями неравномернозернистых являются порфиоровые структуры, характеризующиеся наличием в породе стекловатой или тонкозернистой основной массы, в которой рассеяны отдельные крупные кристаллы – вкрапленники.

Текстуру породы определяет распределение ее составных частей в пространстве, и её можно охарактеризовать как совокупность признаков строения горной породы, обусловленных ориентировкой и относительным расположением и распределением составных частей породы.

Текстура магматических пород зависит от особенностей кристаллизации, от способа заполнения пространства массой породы вследствие процессов, происходящих в расплаве до застывания или во время кристаллизации, и от формы отдельности, возникающей вследствие охлаждения застывшего расплава или под влиянием внешних воздействий во время кристаллизации и после её окончания.

В осадочных породах выделяют текстуры первичные - возникающие в период седиментации (например, слоистые) или в ещё не отвердевшем, пластичном осадке (например, подводноползневые) и вторичные – образующиеся в стадию превращения осадка в горную породу, а также при её дальнейших изменениях (диагенез, катагенез, начальные стадии метаморфизма).

Первичные текстуры осадочных пород образуются в результате воздействия на осадки механических факторов (абиогенные текстуры). Среди первичных выделяют текстуры, приуроченные к поверхности напластования преимущественно мелкообломочных пород (знаки ряби, трещины усыхания, следы жизнедеятельности организмов).

При расположении минералов в породе без всякого порядка получается массивная текстура, встречающаяся в породах магматических, метаморфических и осадочных. Последние имеют часто слоистую текстуру.

Слоистая текстура выражается в чередовании, иногда очень тонком и резком, слоев различного состава, что характерно для осадочных пород.

Для большинства метаморфических пород свойственна сланцеватая или полосчатая текстура, обусловленная параллельным расположением минералов, в строении которых должно быть ясно выражено направление – линейность или пластичность.

Флюидальная текстура эффузивных пород, напоминающая отчасти линейную текстуру кристаллических сланцев и показывающая бывшее течение магмы, наблюдается в породах, состоящих из призматических минералов, которые могут запечатлеть течение лавы, и не видна там, где в тех же условиях отвердевания расплавленной массы минералы имеют изометричную форму.

По способу заполнения пространства различаются плотные и пористые текстуры. При полном заполнении минералами (в том числе стеклом) породы занимаемого ею пространства получают плотные текстуры; в противном случае имеют место пористые текстуры. Строение порового пространства определяется морфологическими особенностями пор.

Плотная – самая распространенная текстура метаморфических и интрузивных магматических пород.

Пористые текстуры более свойственны эффузивным и осадочным породам. Степень пористости или ее отсутствие у плотных пород, определяется по впитыванию воды в породу, по прилипанию к языку в случае капиллярной пористости, по весу породы (объемному весу) и рыхлости. На больших глубинах и под большим давлением пористость исчезает.

Если пустоты заполнены вторичным (чаще всего) материалом, то получают миндалекаменные текстуры.

Иногда текстурные и структурные признаки бывает трудно разграничить, например, в оолитовом известняке, где форма и размеры оолитов определяют структуру горной породы, а строение оолитов, обусловленное концентрическим расположением вокруг какого-либо ядра оболочек, состоящих из совокупности минеральных зёрен, является текстурным признаком.

В зависимости от того, видна текстура или нет невооруженным глазом, различают микро- и макро-текстуры.

Термин текстура в мировой геологической литературе трактуется различно. В американской, английской и частично французской литературе понятие текстура равнозначно нашему термину структура и, наоборот, под структурой у них понимается то, что у нас называется текстурой.

Светлоцветные минералы горных пород. Кварц может иметь белый, дымчатый и темно-серый цвет, но он никогда не бывает розовым, светло-желтым, светло-коричневым и светло-голубым. Чаще всего

встречается кварц серого цвета, всегда несколько более темного, чем у полевых шпатов. Даже в выветрелых породах кварц имеет свежий вид.

Зерна кварца могут в краях просвечивать и имеют хорошо выраженный стеклянный блеск. Форма их в большинстве случаев неправильная, лишь вкрапленники в излившихся породах имеют сечения дипирамиды, края которых часто разрушены, корродированны (рис. 1.58.а, б).

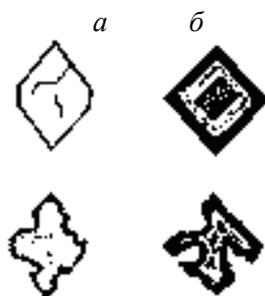


Рис. 1.58.. Формы вкрапленников:
 а- корродированное зерно кварца, кристаллографически
 ограниченного;
 б- корродированное зерно минерала из группы содолита,
 кристаллографически ограниченного

Особо важным отличием кварца от полевых шпатов является отсутствие у него спайности. Поэтому его зерна никогда не имеют ровных площадок, а при попадании света на кварце не бывает отсвечивающих ровных поверхностей.

Среди полевых шпатов по внешнему виду трудно отличить калиевые (ортоклаз, микроклин) от натриево-кальциевых – плагиоклазов (альбит, андезит, анортит). Безошибочно определяется лишь ортоклаз, сдвойникованный по карловарскому (карлсбадскому) закону, который образует крупные вкрапленники в некоторых светлых породах.

Плагиоклаз, однако, можно иногда определить с помощью лупы, если на нем заметна полосчатость (тонкие частые параллельные бороздки).

Цвет полевых шпатов может быть белым, светло-серым до серого, светло-желтым, светло-розовым до светло-красного, светло-бурым или светло-голубым (изменение цвета характерно для плагиоклазов).

Калиевый полевой шпат имеет, как правило, светлую окраску, которая в породах светлее, чем у кварца. Подобную светлую окраску имеет только кислый плагиоклаз, остальные плагиоклазы серые или темно-серые.

Невыветрелые полевые шпаты имеют стеклянный, а иногда и перламутровый блеск, выветрелые зерна блеска не имеют. В излившихся породах полевые шпаты иногда имеют стеклоподобный вид и кажущуюся черной окраску.

Важным отличием полевых шпатов от кварца является их спайность. Большинство их зерен обладает ровными плоскостями спайности, которые отражают свет одновременно от целой плоскости.

В соляной кислоте полевые шпаты не разлагаются.

Нефелин является фельдшпатидом, и он не может встречаться одновременно с кварцем в породе. Это объясняется тем, что магма, из которой формировалась порода, имела малое содержание оксида кремния SiO_2 , и при ее затвердевании он был израсходован на образование силикатов, а на образование кварца ничего не осталось. В глубинных породах зерна нефелина имеют белесый и светло-серый с зеленоватым или красноватым оттенком цвет и отличаются жирным блеском. В излившихся породах вкрапленники могут быть и бесцветными, но в большинстве случаев они белые или светло-серые и образуют короткие столбики с квадратными, ромбовидными или прямоугольными сечениями.

Спайность нефелина несовершенная, на зернах не видно ровных площадок в отличие от полевых шпатов, которые находятся в породе совместно с нефелином.

В соляной кислоте нефелин разлагается без шипения с образованием геля.

Лейцит также фельдшпатид и поэтому не может встречаться в породе совместно с кварцем. Цвет его от белого до серовато-белого, изредка серо-желтый или красновато-серый. Может быть просвечивающим и даже прозрачным, но в приповерхностных условиях чаще выветрелый и непрозрачный. Блеск стеклянный, выветрелые зерна, без блеска.

Характерным признаком лейцита является изометричная форма зерен округлого сечения. Если в излившихся породах он образует вкрапленники, то они часто имеют кристаллографические ограничения (в лаве Везувия они имеют форму тетрагонтриоктаэдров). Спайность у лейцита несовершенная. В соляной кислоте разлагается с образованием геля.

Минералы группы содалита являются фельдшпатами и также не могут встречаться в породе совместно с кварцем. К этой группе относятся три минерала - содалит, нозеан и гаюин – с примерно одинаковыми внешними признаками. Цвет их белый, пепельно-серый, светло-желтый, зеленовато-серый и очень часто голубой. Образуют одинаковые по размерам зерна без заметной спайности, имеющие неровные, раковистые поверхности. Как правило, их можно встретить только в виде вкрапленников в излившихся породах, где они имеют характерный признак - темную краевую полосу и часто корродированны (см. рис. 1.58, б). В соляной кислоте разлагаются без шипения с образованием геля.

Вулканическое стекло, если оно не выветрелое, имеет стеклянный блеск и раковистый излом. Некоторые стекла по виду напоминают смолы. В случае, когда порода не сплошь сложена стеклом, его можно наблюдать через лупу. Стекло выполняет мелкие полости среди основной тонкозернистой массы и имеет коричневый или черно-коричневатый цвет. В большинстве случаев, однако, стекло в породе не видно, так как оно преобразуется во вторичные продукты, не имеющие внешних отличительных черт стекла.

Каждая горная порода образует объемное геологическое тело (слой, линза, массив, покров и др.), имеет определенный вещественный состав и обладает специфическим внутренним строением, обусловленным условиями формирования. Условия образования горных пород, определяющие их состав и внешний облик, называют фаціальными условиями (лат. "фацио" - вид, облик, лицо). Фация - это однородный по составу комплекс горных пород, образовавшихся в сходных условиях.

1.6.2. Возраст горных пород

[На оглавление](#)

В истории формирования и развития Земли выделяют два этапа - догеологический и геологический. Геологический этап охватывает отрезок от начала формирования земной коры до настоящего времени. За длительную геологическую историю планеты образовались мощные толщи горных пород. В практических целях необходимо знать, какие из слагающих изучаемую территорию пород моложе, а какие древнее, в какой последовательности они формировались, к каким интервалам геологической истории относится время их образования, а также уметь сопоставлять по возрасту удалённые друг от друга толщи горных пород.

Учение о последовательности формирования и возрасте горных пород называется геохронологией. Для определения последовательности образования слагающих земную кору геологических объектов и, в первую очередь, горных пород используется серия методов, среди которых выделяют методы определения относительного и абсолютного возраста.

1.6.2.1. Относительная геохронология

[На оглавление](#)

К методам определения относительного возраста горных пород относятся такие, которые лишь фиксируют последовательность образования горных пород относительно друг друга. Эти методы базируются на нескольких простых принципах. В 1669 г. Николо Стено сформулировал принцип суперпозиции, гласящий, что в ненарушенном залегании каждый вышележащий слой моложе нижележащего. В определении подчёркивается применимость принципа только в условиях ненарушенного залегания.

Метод определения последовательности образования слоёв, базирующийся на принципе Стено, часто называют стратиграфическим. Стратиграфия - раздел геологии, занимающийся изучением последовательности образования и расчленением толщ осадочных, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород, слагающих земную кору.

Следующий важнейший принцип, известный как принцип пересечений, сформулирован Джеймсом Хаттоном. Этот принцип гласит, что любое тело, пересекающее толщу слоев, моложе этих слоев. Нужно отметить и ещё один важный принцип, гласящий, что время преобразования или деформации пород моложе, чем возраст образования этих пород.

Рассмотрим использование этих принципов на примере толщ осадочных пород, прорванных несколькими секущими магматическими телами (рис.1.59.). Последовательность событий следующая. Первоначально происходило накопление осадочных толщ нижнего слоя (1), затем, последовательно накопление вышележащих слоев (2, 3, 4, 5), каждый из которых моложе нижележащего. Накопление осадочных пород в подавляющем большинстве случаев происходит в форме горизонтально лежащих слоев, так первоначально залегали и сформированные слои (1-5). Позднее эти толщи были деформированы (6), и в них внедрилось тело магматических пород 7. Затем, вновь горизонтально, началось накопление вышележащего слоя, залегающего на и внедрившемся магматическом теле. При этом, учитывая, что образующийся слой лежит на выровненной горизонтальной поверхности, очевидно, что его накоплению предшествовало выравнивание территории - её размыв (8). Вслед за размывом территории накопился следующий слой (9). Наиболее молодым образованием является магматическое тело.

Подчеркнём, что, рассматривая историю геологического развития территории, разрез которой изображён на рисунке, мы пользовались исключительно относительным временем, определяя лишь последовательность образования тел.

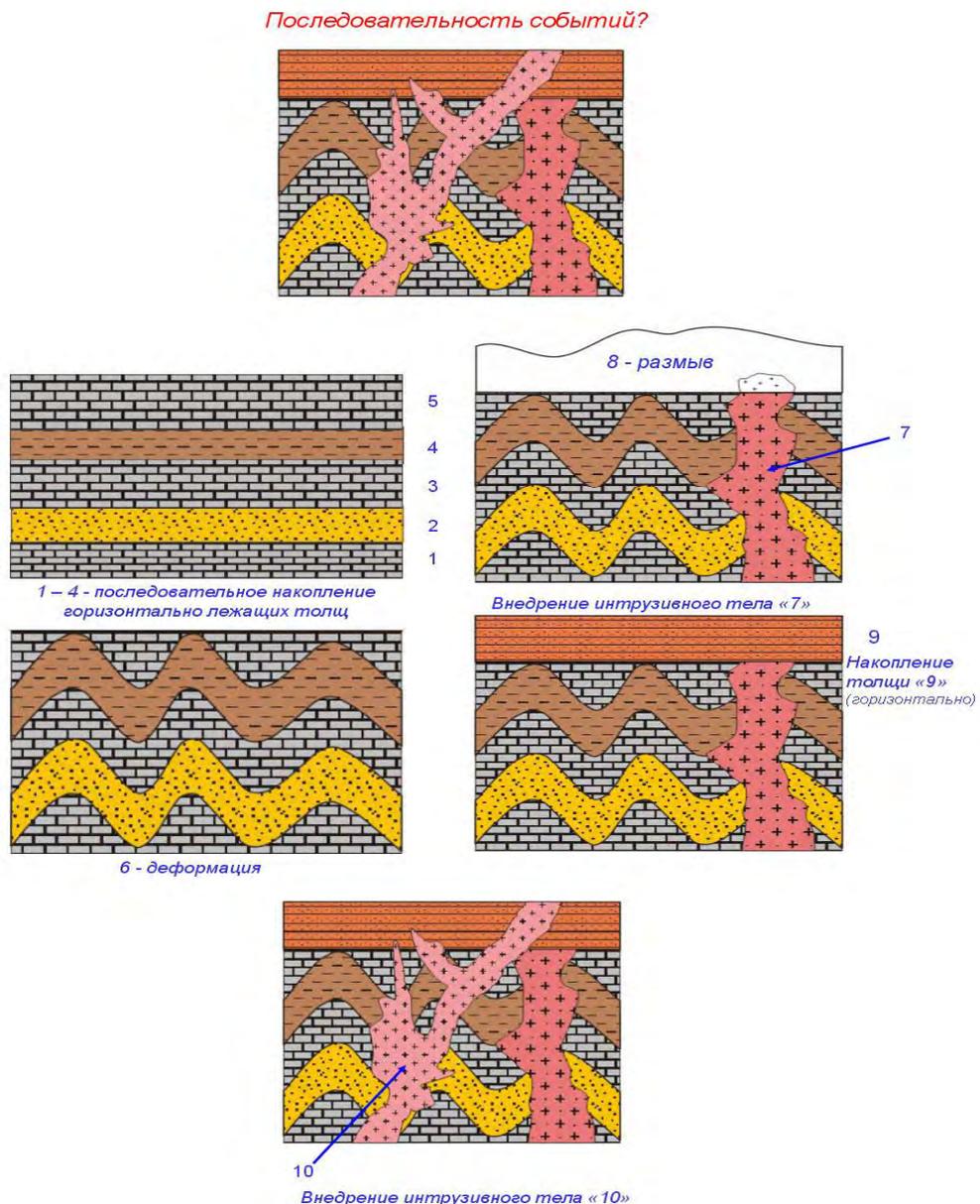


Рис.1.59.Определение относительного возраста горных пород

Ещё одна большая группа методов относительной геохронологии - биостратиграфические методы (рис.1.60). Эти методы основаны на изучении окаменелостей - ископаемых остатков организмов, заключённых в слоях горных пород: в разновозрастных слоях пород встречаются разные комплексы остатков организмов, характеризующие развитие флоры и фауны в ту или иную геологическую эпоху. В основе

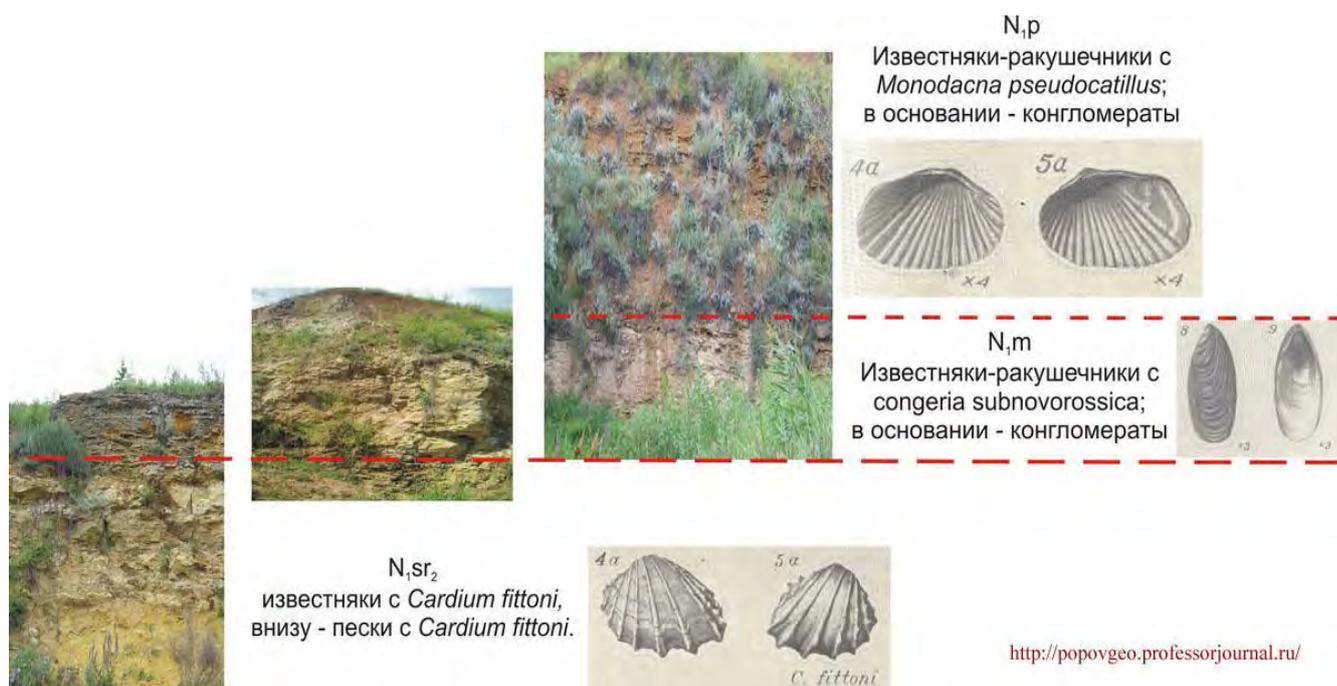
методов лежит принцип, сформулированный Уильямом Смитом: одновозрастные осадки содержат одни и те же или близкие остатки ископаемых организмов. Этот принцип дополняется ещё одним важным положением, гласящим, что ископаемые флоры и фауны сменяют друг друга в определённом порядке. Таким образом, в основе всех биостратиграфических методов лежит положение о непрерывности и необратимости изменения органического мира - закон эволюции Ч. Дарвина. Каждый отрезок геологического времени характеризуется определёнными представителями флоры и фауны. Определение возраста толщ горных пород сводится к сравнению найденных в них ископаемых с данными о времени существования этих организмов в геологической истории.

В качестве грубой аналогии сущности метода можно привести всем известные методы определения возраста в археологии: если при раскопках обнаружены только каменные орудия труда, то культура относится к каменному веку, присутствие бронзовых орудий даёт основание для её отнесения к бронзовому веку и т.п.

Среди биостратиграфических методов долгое время оставался важнейшим метод руководящих форм. Руководящими формами называют остатки вымерших организмов соответствующие следующим критериям:

- эти организмы существовали короткий промежуток времени,
- были распространены на значительной территории,
- их окаменелости часто встречаются и легко определяются.

При определении возраста среди найденных в изучаемом слое ископаемых выбираются наиболее для него характерные, затем они сопоставляются с атласами руководящих форм, описывающими, какому интервалу времени свойственны те или иные формы. Первый из таких атласов был создан ещё в середине XIX века палеонтологом Г. Бронном.



Одновозрастными являются слои, содержащие одинаковый комплекс окаменелостей.

Рис.1.60.Биостратиграфический метод

На сегодняшний день основным в биостратиграфии является метод анализа органических комплексов. При применении этого метода вывод об относительном возрасте строится на сведениях обо всём комплексе окаменелостей, а не на находках единичных руководящих форм, что значительно повышает точность.

В ходе геологических исследований стоят задачи не только расчленения толщ по возрасту и отнесения их к какому-либо интервалу геологической истории, но и сопоставления – корреляции – удалённых друг от друга одновозрастных толщ.

Наиболее простым методом выявления разновозрастных толщ является прослеживание слоёв на местности от одного обнажения к другому. Очевидно, что этот метод эффективен только в условиях хорошей обнажённости.

Более универсальным является биостратиграфический метод сопоставления характера органических остатков в удалённых разрезах – разновозрастные слои обладают одинаковым комплексом окаменелостей. Этот метод позволяет проводить региональную и глобальную корреляцию разрезов.

Принципиальная модель использования окаменелостей для корреляции удалённых разрезов отражена на рисунке.

1.6.2.2. Абсолютная геохронология

[На оглавление](#)

Методы абсолютной геохронологии позволяют определить возраст геологических объектов и событий в единицах времени. Среди этих методов наиболее распространены методы изотопной геохронологии, основанные на подсчёте времени распада радиоактивных изотопов, заключённых в минералах (или, например, в остатках древесины или в окаменелых костях животных).

Сущность метода заключена в следующем. В состав некоторых минералов входят радиоактивные изотопы. С момента образования такого минерала в нём протекает процесс радиоактивного распада изотопов, сопровождающийся накоплением продуктов распада. Распад радиоактивных изотопов протекает самопроизвольно, с постоянной скоростью, не зависящей от внешних факторов; количество радиоактивных изотопов убывает в соответствии с экспоненциальным законом. Принимая во внимание постоянство скорости распада, для определения возраста достаточно установить количество оставшегося в минерале радиоактивного изотопа и количество образовавшегося при его распаде стабильного изотопа. Эта зависимость описывается главным уравнением геохронологии:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{N_k}{N_t} + 1 \right), \text{ где}$$

N_k – число изотопов конечного продукта распада;

N_t – число радиоактивных изотопов, не распавшихся по прошествии времени t ,

λ – постоянная распада – доля распавшихся ядер данного изотопа за единицу времени, является известной для каждого изотопа величиной.

Для определения возраста используются многие радиоактивные изотопы: ^{238}U , ^{235}U , ^{40}K , ^{87}Rb , ^{147}Sm и др. Названия изотопно-геохронологических методов обычно образуются из названий радиоактивных изотопов и конечных продуктов их распада: уран-свинцовый, калий-аргоновый и т.д. Результаты определения возраста геологических объектов выражаются в 10^6 и 10^9 лет, или в значениях Международной системы единиц (СИ): Ma и Ga. Эта аббревиатура означает, соответственно, «млн.лет» и «млрд. лет» (от лат. *Megaanna* – млн. лет, *Gigaanna* – млрд. лет).

В настоящее время наиболее точным считается самарий – неодимовый метод, принятый в качестве стандарта, с которым сравниваются данные других методов. Это связано с тем, что в силу геохимических особенностей данные элементы наименее подвержены влиянию наложенных процессов, часто значительно искажающих или сводящих на нет результаты определений возраста. Метод основан на распаде изотопа ^{147}Sm с образованием в качестве конечного продукта распада ^{144}Nd .

Калий – аргоновый метод основан на распаде радиоактивного изотопа ^{40}K . Этот метод давно и широко используется для определения возраста всех генетических типов горных пород. Он наиболее эффективен при определении времени формирования осадочных пород и минералов, например, глауконита. Применительно к магматическим и особенно метаморфическим породам, затронутым наложенными изменениями, этот метод часто даёт «омоложенные» датировки, что связано с потерей подвижного аргона.

Радиоуглеродный метод основан на распаде изотопа ^{14}C , образующегося в верхних слоях атмосферы в результате воздействия космического излучения на атмосферные газы (азот, аргон, кислород). В результате ^{14}C , как и нерадиоактивный изотоп углерода, образует углекислый газ CO_2 , и в его составе вовлекается в фотосинтез, оказываясь таким образом в составе растений и, далее, пищевой цепочке передается животным. В гидросферу ^{14}C попадает в результате обмена CO_2 между атмосферой и Мировым океаном, далее он оказывается в костях и карбонатных раковинах водных обитателей. Интенсивное перемешивание воздушных масс в атмосфере и активное участие углерода в глобальном круговороте химических элементов приводит к выравниванию концентраций ^{14}C в атмосфере, гидросфере и биосфере. Для живых организмов равновесное состояние достигается при удельной активности ^{14}C , составля-

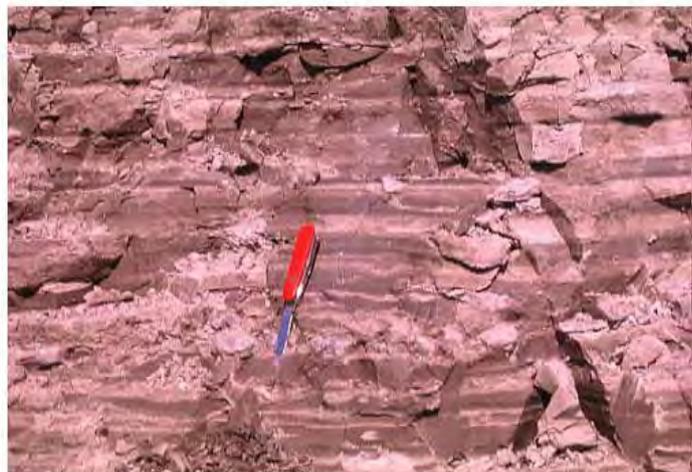
ющей $13,56 \pm 0,07$ распадов в минуту на 1 грамм углерода. Если организм умирает, то прекращается поступление ^{14}C ; в результате радиоактивного распада (перехода в нерадиоактивный ^{14}N) удельная активность ^{14}C уменьшается. Измерив значение активности в пробе и сопоставив её со значением удельной активности в живой ткани, несложно рассчитать время прекращения жизнедеятельности организма. Радиоуглеродное датирование позволяет определять возраст образцов, содержащих углерод (кости, зубы, раковины, древесина, уголь и т.д.) возрастом до 70 тыс. лет. Это ограничение определяет его использование в четвертичной геологии и, особенно, в археологии.

В завершение рассмотрения методов изотопной геологии следует отметить, что, несмотря на получение «абсолютных», выраженных в годах, датировок, мы имеем дело с модельным возрастом - полученные результаты неизбежно содержат некоторую ошибку и, более того, продолжительность астрономического года в ходе длительной геологической истории менялась.

Ещё одна группа методов абсолютной геохронологии представлена сезонно-климатическими методами.

Примером такого метода служит варвохронология – метод абсолютной геохронологии, основанный на подсчёте годовых слоёв в «ленточных» отложениях приледниковых озёр (рис.1.61). Для приледниковых озёр характерными отложениями служат так называемые «ленточные глины» - чётко слоистые осадки, состоящие из большого числа параллельных лент. Каждая лента – результат годового цикла осадконакопления в условиях озёр, находящихся большую часть года в замерзшем состоянии. Она всегда состоит из двух слоёв. Верхний - зимний слой представлен глинами темного цвета (за счёт обогащения органикой), образованного под ледяным покровом; нижний – летний слой сложен более грубозернистыми светлоокрашенными осадками (в основном тонкими песками или алевро-глинистыми отложениями), образованными за счёт приносимого в озеро тальми ледниковыми водами материала. Каждая пара таких слоёв соответствует 1 году.

Изучение ритмичности ленточных глин позволяет не только определять абсолютный возраст, но и проводить корреляцию расположенных неподалёку друг от друга разрезов, сопоставляя мощности слоёв.



Обладают правильной сезонной слоистостью с чередованием *песчаных* (весенних и летних) и *глинистых, обогащённых органикой*, (осенних и зимних) прослоев

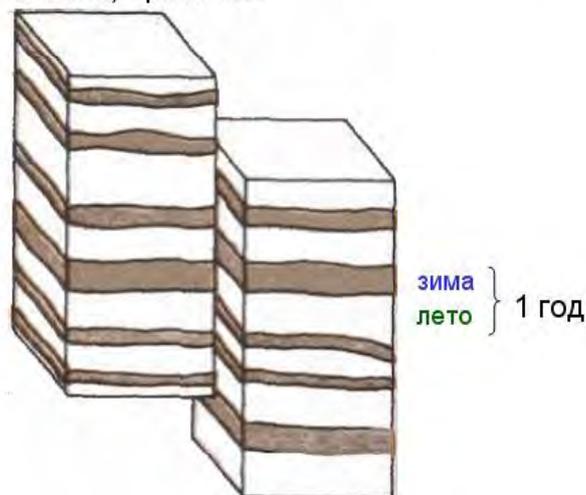


Рис.1.61.Сезонно-климатический метод оценки возраста горных пород

На сходном принципе основан и подсчёт годовых слоёв в осадках соляных озёр, где летом, за счёт повышения испарения, происходит активное осаждение солей.

К недостаткам сезонно-климатических методов следует отнести их неуниверсальность.

1.6.2.3. Периодизация геологической истории. Стратиграфическая и геохронологическая шкалы

[На оглавление](#)

Оперируя категорией относительного времени необходимо иметь универсальную шкалу периодизации истории. В геологии, для этих целей разработаны Международная геохронологическая шкала и Международная стратиграфическая шкала.

Основную информацию о геологической истории Земли несут слои горных пород, в которых, как на страницах каменной летописи, запечатлены происходившие на планете изменения и эволюция органического мира (последняя «запечатлена» в комплексах окаменелостей, содержащихся в разновозрастных слоях).

Слои горных пород, занимающие определённое положение в общей последовательности напластований и выделяемые на основании присущих им особенностей (чаще - комплекса ископаемых), являются стратиграфическими подразделениями. Горные породы, слагающие стратиграфические подразделения, формировались на протяжении определённого интервала геологического времени, и, следовательно, отражают эволюцию земной коры и органического мира за этот промежуток времени.

Стратиграфическая шкала – шкала, показывающая последовательность и соподчинённость стратиграфических подразделений, слагающих земную кору и отражающих пройденные землёй этапы исторического развития. Объектом стратиграфической шкалы являются слои горных пород. Основа современной стратиграфической шкалы была разработана ещё в первой половине XIX века и была принята в 1881 г. на II сессии Международного геологического конгресса в Болонье. Позднее стратиграфическая шкала была дополнена геохронологической шкалой.

Геохронологическая шкала – шкала относительного геологического времени, показывающая последовательность и соподчинённость основных этапов геологической истории Земли и развития жизни на ней. Объектом геохронологической шкалы является геологическое время. Всем стратиграфическим подразделениям соответствуют подразделения геохронологической шкалы (табл. 1.5).

Таблица 1.5

| Стратиграфические подразделения | Геохронологические подразделения |
|---------------------------------|----------------------------------|
| эонотема | эон |
| эратема (группа) | эра |
| система | период |
| отдел | эпоха |
| ярус | век |
| зона | фаза |
| звено | пора |

При этом практически все стратиграфические подразделения крупнее яруса имеют единые общепринятые международные наименования (табл. 1.6).

Наиболее крупными стратиграфическими подразделениями являются эонотемы. Эонотема - это отложения, образовавшиеся на протяжении самой крупной геохронологической единицы - зона, длительностью которого составляет сотни миллионов и более лет.

Выделяют три эонотемы:

архейскую,
протерозойскую

фанерозойскую. Архейскую и протерозойскую эонотемы объединяют под названием «докембрий» (т. е. толщи пород, накопившиеся до кембрийского периода – первого периода фанерозоя) или «криптозой».

Рубежом докембрия и фанерозоя служит появление в слоях горных пород остатков скелетных организмов.

В докембрии органические остатки редки, поскольку мягкие ткани быстро разрушаются, не успев захорониться.

Сам термин «криптозой» образовано при слиянии корней слов «криптос» - скрытый и «зоэ» - жизнь.

При расчленении докембрийских толщ на эонотемы и более дробные стратиграфические подразделения важнейшую роль имеют методы изотопной геохронологии, поскольку органические остатки редки или вообще отсутствуют, определяются с трудом и, главное, не подвержены быстрой эволюции (однотипные комплексы микрофауны остаются неизменными на протяжении огромных интервалов времени, что не позволяет расчленять толщи по этому признаку).

Эонотемы включают в свой состав эратемы. Эратема или группа - отложения, образовавшиеся в течение эры; продолжительность эр в фанерозое составляет первые сотни миллионов лет. Эратемы отражают крупные этапы развития Земли и органического мира. Границы между эратемами соответствуют переломным рубежам в истории развития органического мира.

В фанерозое выделяют три эратемы: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую.

Эратемы, в свою очередь, включают в свой состав системы. Система – это отложения, образовавшиеся в течение периода; длительность периодов составляет десятки миллионов лет. Одна система от другой отличается комплексами фауны и флоры на уровне надсемейств, семейств и родов. В фанерозое выделяются 12 систем: кембрийская, ордовикская, силурийская, девонская, каменноугольная (карбоновая), пермская, триасовая, юрская, меловая, палеогеновая, неогеновая и четвертичная (антропогеновая). Названия большинства систем происходят от географических названий тех местностей, где они были впервые установлены.

Для каждой системы на геологических картах приняты определенный цвет, являющийся международным, и индекс, образованный начальной буквой латинского названия системы.

Отдел - часть системы, соответствующая отложениям, образовавшимся в течение одной эпохи; длительность эпох обычно составляет первые десятки миллионов лет. Отличия между отделами проявляются в различии фауны и флоры на уровне родов или групп. Названия отделов даны по положению их в системе: нижний, средний, верхний или только нижний и верхний; эпохи соответственно называют ранней, средней, поздней.

Таблица 1.6.

Стратиграфические подразделения

| Эонотема | Эратема (группа) | Система | Временной промежуток |
|---------------|------------------|-----------------|----------------------|
| фанерозойский | кайнозойская | четвертичная | 65 Ма - ныне |
| | | неогеновая | |
| | | палеогеновая | |
| | мезозойская | меловая | 251 - 65 Ма |
| | | юрская | |
| | | триасовая | |
| | палеозойская | пермская | 535 - 251 Ма |
| | | каменноугольная | |
| | | девонская | |
| | | силурийская | |
| | | ордовикская | |
| | | кембрийская | |

| | | | |
|----------------|----------------------------------|----------|----------------|
| протерозойская | верхнепротерозойская | вендская | 600 - 535 Ma |
| | (1650-600 Ma рифейская) | | 1650 - 600 Ma |
| | нижнепротерозойская (карельская) | | 2500 - 1650 Ma |
| архейская | верхнеархейская (лопийская) | | 3150 - 2500 Ma |
| | нижнеархейская (саамская) | | 4000 - 3150 Ma |

В составе отдела выделяются ярусы. Ярус - отложения, образовавшиеся в течение века; продолжительность веков составляет несколько миллионов лет. Решающим критерием для выделения яруса и обоснования его границ служат данные биостратиграфического анализа: каждый ярус характеризуется только ему присущими родами и видами организмов. В составе ярусов иногда выделяют подъярусы: нижний, средний и верхний или только нижний и верхний.

Зона является частью яруса и охватывает отложения, образовавшиеся в течение одной фазы, продолжительность около 1-3 млн. лет. Зона выделяется по комплексу видов быстро эволюционировавших ископаемых организмов, Название зоны и соответствующей фазы дается по наиболее характерному виду ископаемых организмов (вида-индекса).

В составе четвертичной системы (табл. 1.7) выделяется специфичное стратиграфическое подразделение – звено. В звено объединяют горные породы, сформированные во время одного цикла климатических изменений: похолодания (ледниковье) и потепления (межледниковье).

Временным аналогом звена в геохронологической шкале является пора. Четвертичная система включает четыре звена: нижнее, среднее, верхнее и современное. Необходимость выделения пор и звеньев связана со специфичностью четвертичного периода, заключающейся в следующем:

- малая длительность периода (1,65 млн. лет), объясняемая его незавершённостью;
- присутствие в отложениях четвертичной системы останков человека и следов его материальной культуры;
- резкие и многократные изменения климата;
- повсеместное распространение четвертичных отложений на суше и дне морей и океанов;
- быстрое изменение их литологического состава и небольшая мощность.

Нужно отметить, что при расчленении четвертичных отложений используются два подхода: климатостратиграфический и биостратиграфический. Четвертичный период, или антропоген — геологический период, современный этап истории Земли, завершает кайнозой. Начался 2,6 миллиона лет назад, продолжается по сей день. Наряду с основными подразделениями стратиграфической и геохронологической шкал применяются региональные и местные подразделения. К региональным стратиграфическим подразделениям относятся горизонт и лона.

Таблица 1.7

Четвертичная система

| система | отдел | ярус | Возраст, млн лет назад |
|--------------|------------|---------|------------------------|
| Четвертичный | Голоцен | | 0—0,0117 |
| | Плейстоцен | поздний | 0,0117—0,126 |

| | | | |
|--------|---------|------------|-----------------|
| | | средний | 0,126— 0,781 |
| | | ранний | 0,781— 1,806 |
| | | Гелазский | 1,806— 2,588 |
| Неоген | Плиоцен | Пьяченцкий | больше |
| | | | |

Горизонт - основное региональное подразделение стратиграфической шкалы, объединяющее одно-возрастные отложения, характеризующиеся определенным комплексом литологических и палеонтологических признаков. Горизонтам присваиваются географические названия, соответствующие местам, где они наиболее хорошо представлены и изучены. Геохронологическим эквивалентом служит время. Например, хапровский горизонт, распространённый на побережье Таганрогского залива Азовского моря, соответствует толще речных песков, сформировавшихся в конце неогенового периода. Стратотип (наиболее представительный разрез стратиграфического горизонта, являющийся его эталоном) этого горизонта расположен у ст. Хапры. Добавим, что термин «горизонт» употребляется ещё в двух смыслах:

- 1) горизонт без географического названия - слой или пачка слоёв, выделяемые на основании каких-либо особенностей (палеонтологических или литологических), обозначение свободного пользования;
- 2) применительно к стратиграфии четвертичных отложений, горизонт - это отложения, сформированные на протяжении одного ледниковья или межледниковья и имеющие межрегиональное распространение.

Лона является частью горизонта выделяемой по комплексу фауны и флоры, характерному для данного региона, и отражает определенную фазу развития органического мира данного региона. Название лоны даётся по виду-индексу.

Геохронологическим эквивалентом лоны является время.

Местные стратиграфические подразделения представляют собой толщи пород, выделяемые по ряду признаков, в основном по литологическому или петрографическому составу.

Комплекс - самое крупное местное стратиграфическое подразделение. Комплекс имеет очень большую мощность, сложный состав горных пород, сформированных в течение какого-то крупного этапа развития территории. Комплексу присваивается географическое название по характерному месту его развития. Чаще всего комплексы выделяются при расчленении метаморфических толщ.

Серия охватывает достаточно мощную и сложную по составу толщу горных пород для которых имеются какие-то общие признаки: сходные условия образования, преобладание определенных типов горных пород, близкая степень деформаций и метаморфизма и т.д. Серии обычно соответствуют единому крупному циклу развития территории.

Основной единицей из местных стратиграфических подразделений является свита. Свита представляет собой толщу пород, образованных в определенной физико-географической обстановке и занимающих установленное стратиграфическое положение в разрезе. Главные особенности свиты - наличие устойчивых литологических признаков на всей площади ее распространения и четкая выраженность границ. Свое название свита получает по географическому местонахождению стратотипа.

Границы местных стратиграфических подразделений часто не совпадают с границами подразделений единой стратиграфической шкалы.

В процессе работы геологом часто приходится использовать также вспомогательные стратиграфические подразделения - толща, пачка, слой, залежь, и т. д., называемые обычно по характерным породам, цвету, литологическим особенностям или по характерным органическим остаткам.

1.6.3. Формы залегания горных пород

[На оглавление](#)

Важной характеристикой горных пород, изучаемой в полевых условиях, является форма их залегания. Под формами залегания горных пород понимаются формы геологических тел, образуемых ими в земной коре. Знание форм залегания имеет важное теоретическое и практическое значение, поскольку они являются либо месторождениями полезных ископаемых, либо вмещающей их средой.

1.6.3.1. Слой и слоистость

[На оглавление](#)

Осадки и образующиеся при их диагенезе осадочные породы накапливаются в понижениях рельефа (на дне океанов и морей, озёр, в речных долинах, межгорных депрессиях и пр.) и, как правило, первоначально обладают горизонтальным залеганием.

Образуемые ими уплощенные геологические тела называют слоями.

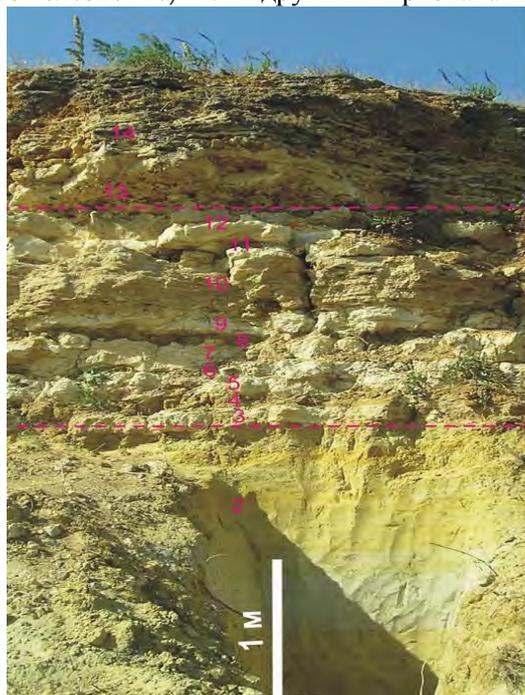
Слой – это уплощенное геологическое тело относительно однородное по составу и строению, ограниченное приблизительно параллельными поверхностями раздела.

Верхняя граница слоя называется кровлей, нижняя - подошвой.

Примечание. Помимо термина «слой», часто употребляется термин «пласт», имеющий аналогичное значение, но обычно применяемый для полезных ископаемых, например угля, известняка и др.

Расстояние между кровлей и подошвой слоя определяет мощность данного слоя. Различают два вида мощности: истинную мощность - кратчайшее расстояние между кровлей и подошвой пласта (по перпендикуляру) и видимую мощность - любое другое (не кратчайшее) расстояние между подошвой и кровлей. Чередование слоёв определяет слоистое строение толщ осадочных пород.

Группы слоёв, обладающие некоторой общностью признаков, отличающих их от смежных по разрезу слоёв (или групп слоёв) объединяют в пачки (рис. 62). Такая общность может быть связана с особенностью строения (повторяющееся на некоторой мощности разреза переслаивание двух или более разновидностей пород), отличием в литологическом составе (обогащённость минеральными компонентами, железнение) или другими признаками, визуальными выделяющими группу слоёв из общей толщи.



Слой 14.

Пачка известняков-ракушечников.

Возраст: N_1m .

Слой 13. **Конгломерат.** Возраст: N_1m .

Слои 3-12.

Пачка несоответствующего переслаивания

известняков белых органогенно-детритовых и глин серых карбонатных с мелкодетритовыми обломками.
Возраст: N_1sr_2 .

Слой 2.

Пески от белого до серого-жёлтого цвета, тонкозернистые, неслоистые, с примесью алевритового и глинистого материала.
Возраст: N_1sr_2 .

<http://popovgeo.professorjournal.ru/>

Группы слоёв объединены в пачку.

Рис.1.62. Фрагмент обнажения с горизонтально залегающими слоями.

Внутри слоёв нередко отмечается тонкое строение, выражающееся в чередовании частых тонких слойков (толщиной от долей мм до 1-2 см), различающихся по структуре составляющих породу компонентов, их минеральному составу или примесям. Такой элемент внутреннего строения слоёв называют слоистостью (или слойчатостью). Форма слоистости отражает характер движения среды, в которой происходит накопление осадка.

Выделяют четыре основных типа слоистости: параллельную (горизонтальную), волнистую, косую, линзовидную (рис.1.63).

Параллельная слоистость, когда поверхности наслоения параллельны, свидетельствует об относительной неподвижной среде, в которой накапливался осадок. Такие условия возникают в озёрах или морских бассейнах ниже уровня действия волн и течений.

Волнистая слоистость имеет волнисто-изогнутые поверхности наслоения. Она формируется при движениях, имеющих периодическую смену в одном направлении, например при отливах, приливах, прибрежных волнениях в мелководных зонах моря.

Линзовидная слоистость образуется при быстром и изменчивом движении водной или воздушной среды, например в речных потоках или приливно-отливной полосе моря. Она характеризуется разнообразием форм и изменчивостью мощности отдельных слоёв. Часто происходит выклинивание слоя, что приводит к его разобщению на отдельные части или линзы. Генетически тесно связана с волнистой.

Косой слоистостью называют слоистость с прямолинейными и криволинейными поверхностями наслоения и с различными углами мелкой слоистости внутри слоя. Она образуется при движении среды в одном направлении, например реки, потока, морского течения или движения воздуха. В речных потоках косая слоистость имеет общий наклон в сторону движения воды. Дельтовая разновидность косой слоистости более крупная и отличается плавным причленением косых слоёчков к подошве слоя, а у кровли косые слоёчки исчезают, и появляется более грубый материал. Косая слоистость морских отложений характеризуется также более крупными размерами и сравнительно небольшим наклоном. На мелководье образуется очень тонкая, переплетающаяся косая слоистость, ориентированная в различных направлениях.

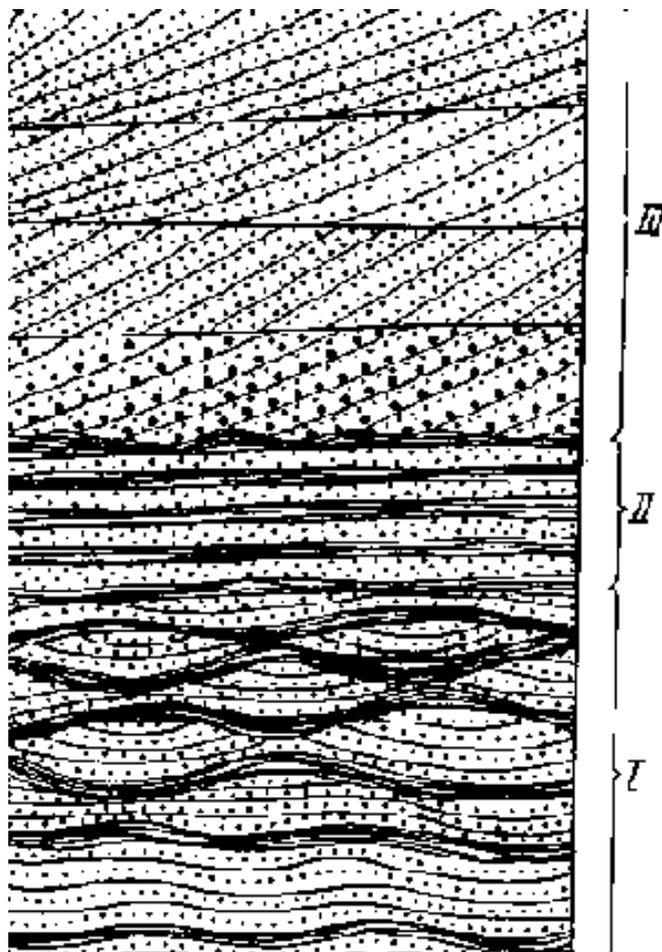


Рис.1.63. Типы слоистости: I - волнистая (вверху - линзовидная), II - горизонтальная, III - косая

Информация об условиях накопления исходного осадка отражается и в текстурных особенностях поверхности напластовых слоёв. К числу таких особенностей относятся: ископаемые знаки ряби, первичные трещины усыхания, следы жизнедеятельности организмов, отпечатки дождевых капель, кристаллов льда и др.

Формы залегания делятся на:

- первичные (ненарушенные),
- вторичные (нарушенные), возникшие в результате дислокаций первичных форм. Дислокации возникают в результате тектонических процессов.

1.6.3.2. Первичное и нарушенное залегание слоёв

[На оглавление](#)

Большая часть осадков образуется в морских или континентальных водоёмах или на прибрежных равнинах. Залегание осадков при этом практически горизонтальное (угол наклона не более 1°). Такое залегание называют первичным. Первичное залегание с более крутым залеганием пород, достигающем $3-4^\circ$, а иногда 10° может возникнуть на склонах наземных и подводных возвышенностей, каньонов, уступов. Первичное залегание осадочных пород сохраняется сравнительно редко и нарушается последующими тектоническими движениями, что приводит к их наклонному залеганию, образованию складчатых и разрывных нарушений (рис.1.64).

Слои могут иметь согласное и несогласное залегание по отношению друг к другу. В случае согласного залегания каждый вышележащий слой, без каких-либо следов перерыва в накоплении осадков налегает на нижележащие породы. Несогласное залегание образуется тогда, когда между вышележащим и подстилающим слоями отмечается перерыв в осадконакоплении и стратиграфическая последовательность нарушена. Несогласное залегание может быть параллельным, когда пласты, несмотря на перерыв в отложении осадка, сохраняют параллельное залегание и угловым, когда одна толща лежит с перерывом по отношению к другой под определённым углом. Например, когда на смятом в складки пласте известняка горизонтально залегает слой песчаника.



Рис.1.64. Тектонические нарушения

Выявление стратиграфических несогласий является одной из наиболее важных задач геологического картирования и проводится с использованием следующих признаков:

- характерное строение поверхности несогласия, имеющей неровности, вымоины, уступы;
- угловое несогласие между слоями разного возраста;
- резкий возрастной разрыв между фауной в выше- и нижележащих слоёв;
- резкое различие в степени метаморфизма двух соприкасающихся слоёв;
- присутствие базального конгломерата в основании несогласно залегающей серии пород;
- резкий переход от морских к континентальным отложениям и наоборот;
- следы выветривания на поверхности несогласия.

1.6.3.3. Тектоносфера и тектонические дислокации

[На оглавление](#)

Тектоносфера включает в себя земную кору и верхнюю мантию. В пределах тектоносферы развиваются и взаимодействуют тектонические, магматические и метаморфические процессы. Тектоническая активность связана с мантийным магматизмом. Установлена зависимость между типом тектонического режима и структурой земной коры, тепловым потоком, строением мантии.

Тектонические движения проявляются в поднятиях и прогибах отдельных участков литосферы, в деформациях первичных форм залегания горных пород, в их горизонтальных и вертикальных перемещениях и в образовании крупных элементов рельефа - континентов и океанов, гор и глубоководных впадин. О характере тектонических движений далекого прошлого можно судить по условиям залегания горных пород. Например, горизонтальное или пологое залегание является первичным залеганием горных пород, накапливающихся в областях опускания земной коры. В пределах поднятий происходит размыв горных пород и вынос разрушенного материала. Вторичное, нарушенное, залегание горных пород появляется в результате воздействия последующих тектонических движений. Типизация тектонических движений к настоящему времени однозначно не решена.

Широким признанием пользуется концепция тектоники плит, базирующаяся на гипотезах дрейфа материков - спрединга (раздвигания океанического дна). Согласно этой концепции жесткие литосферные плиты толщиной 70-100 км, залегающие на пластичной астеносфере, перемещаются происходящими в ней конвекционными потоками материи с большой горизонтальной составляющей в противоположные стороны от зон раздвига, совпадающих со срединно-океаническими хребтами.

По времени проявления тектонические движения делятся на современные, новейшие и древние. Современные движения доступны непосредственному изучению и поддаются количественной оценке с помощью геодезических, инженерных, археологических методов. Новейшие колебательные движения изучаются с помощью геоморфологических и геологических методов и их количественная оценка делается весьма приближенно. Для изучения древних движений рельеф уже не имеет значения, а исследуются мощности и фации отложений.

Неотектонические движения или новейшие тектонические движения - это движения земной коры, проявившиеся в неогеновый и четвертичный (антропогенный) периоды. Они приводят к переустройству рельефа земной поверхности, возникновению новых его форм и влияют на развитие экзогенных процессов.

Землетрясения. При внезапной разрядке напряжений в земной коре или мантии, вызванной тектоническими движениями, возникают кратковременные колебания земной коры - землетрясения. При наиболее сильных землетрясениях в их очаге, гипоцентре. Выделяется энергия до 10 Дж. Землетрясения оказывают влияние на рельеф земной поверхности. Образуются многокилометровые трещины, сбросы и сдвиги, обвалы и оползни. Наиболее активно землетрясения проявляются в областях самой молодой (альпийской) складчатости. Интенсивность землетрясений определяется по 12-балльной шкале, учитывающей характер деформации почвы, степень повреждения различных сооружений и др. Моретрясения вызываются теми же причинами, что и землетрясения, отличаются от последних расположением гипоцентра на морском дне. Под действием волн упругости в водной среде возникают видимые громадные волны (цунами) высотой до 25 м, производящие опустошительное разрушение побережья.

Тектонические нарушения земной коры — это проявление глубинных эндогенных процессов, захватывающих все твердые оболочки Земли. Они выражаются в форме необратимых дислокаций – пликативных (складчатых) или разрывных (дизъюнктивных).

1.6.3.4. Пликативные дислокации горных пород

[На оглавление](#)

В результате действия пластических деформаций горных пород возникает нарушенное залегание слоев земной коры без видимого разрыва их сплошности. Такие формы нарушений называют пликативными дислокациями. К ним относится образование моноклиналей, складок и флексур.

Моноклиналиное залегание образуется тогда, когда горизонтально залегающие породы в результате тектонических движений приобрели наклон под одним углом на значительном пространстве. Моноклинали это наиболее простая форма пликативных дислокаций, широко проявлена в чехлах молодых и древних платформ. Существуют слабонаклонные (до 15°), пологие (16-30°), крутые (30-75°), поставленные на голову (80-90°) моноклинали. Флексуры - дислокации имеющие коленообразный изгиб.

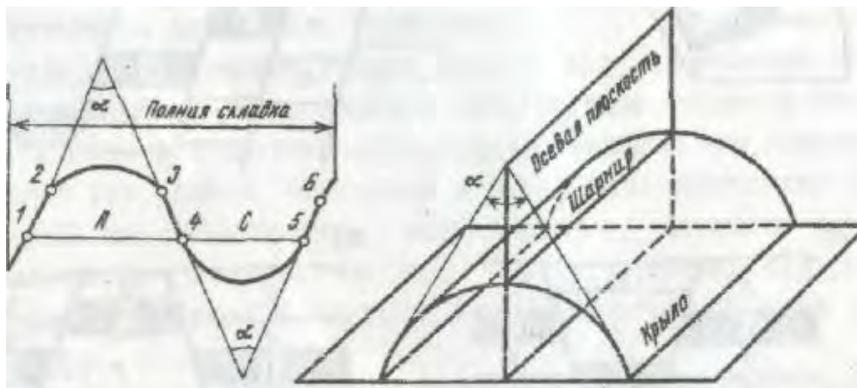


Рис.1.65. Геометрические элементы складок: 2-3 - замок антиклинали (А); 4-5 - вомок синклинали (С); 1-2, 3-4, 5-6 - крылья складок; α - угол складки

Складчатые деформации или складки - это волнообразные изгибы пластов без разрыва сплошности пород. Этот тип дислокаций проявлен наиболее широко. Во всех типах складок различают несколько основных элементов.

Основными геометрическими элементами складок являются крылья, ядро, замок, шарнир, угол, осевая поверхность и ось (рис.1.65;1.66).

Часть складки в месте перегиба слоёв называется замком, сводом или ядром. Крылья - боковые части складок, примыкающие к своду. Угол складки - угол, образованный линиями, являющимися продолжением крыльев складки. Осевая поверхность складки - воображаемая плоскость, проходящая через точки перегиба слоёв и делящая угол складки пополам. Осевая линия (ось складки) - линия пересечения осевой поверхности с горизонтальной плоскостью или с поверхностью рельефа. Осевая линия характеризует ориентировку складки в плане и определяется азимутом простирания. Шарнир складки - линия пересечения осевой поверхности складки с поверхностью одного из слоёв, составляющих складку. Он характеризует строение складки вдоль осевой поверхности (по вертикали) и определяется азимутом и углом погружения или воздымания. Размеры складок характеризуются длиной, шириной, высотой. Длина складки - это расстояние вдоль осевой линии между смежными перегибами шарнира. Ширина складки - расстояние между осевыми линиями двух соседних антиклиналей или синклиналей. Высотой складки называется расстояние по вертикали между замком антиклинали и замком смежной с ней синклинали.

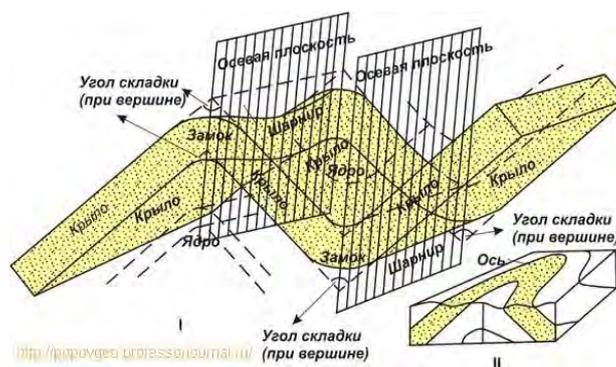


Рис.1.66.Элементы залегания складок

Складки, пласты которых выгнуты кверху, называются антиклиналями. У этих складок в ядре на дневной поверхности обнажаются более древние породы, а на крыльях - более молодые и они наклонены от ядра. Складки, пласты которых прогнуты книзу, называются синклиналими. У них в ядре обнажаются более молодые породы, и крылья наклонены к ядру. Это две основные формы складок (рис.1.67).



Рис.1.67. Антиклинальная и синклиналная складки.

В зависимости от положения осевой поверхности в пространстве выделяют следующие разновидности складок.

Прямые складки - осевая поверхность вертикальна, а крылья падают в разные стороны под одинаковыми углами.

Наклонные складки - осевая поверхность наклонена к горизонту, а крылья падают в разные стороны под разными углами.

Опрокинутые складки - осевая поверхность круто наклонена, а крылья падают (наклонены) в одну сторону под разными углами. В этих складках различают нормальное и опрокинутое крылья.

Лежачие складки - осевая поверхность параллельна горизонтальной поверхности. Крылья наклонены в одну сторону под одним углом.

Совокупность складок, проявляющаяся в определенных участках земной коры, называется складчатостью.

Форма складок зависит также от соотношения крыльев и замка. В зависимости от этого складки могут быть острыми, когда крылья образуют острый угол (до 90°), тупыми, с углом более 90° , изоклинальными, с параллельным расположением крыльев и тупым замком, веерообразными, с пережимом крыльев, сундучными с пологим широким замком.

В продольном сечении складки бывают линейными, у которых длина превышает ширину более чем в три раза, брахиформными, с отношением длины к ширине меньше трёх и куполовидными, с примерно одинаковыми размерами длины и ширины складки.

Шарнир складки по простиранию часто испытывает погружение или воздымание и представляет не прямую, а волнистую линию. Это явление называется ундуляцией. В этом случае наблюдается замыкание складки, когда одно крыло вдоль оси постепенно переходит в другое. В антиклинальных складках такое замыкание называется периклинальным, а в синклиналиных - центриклинальным.

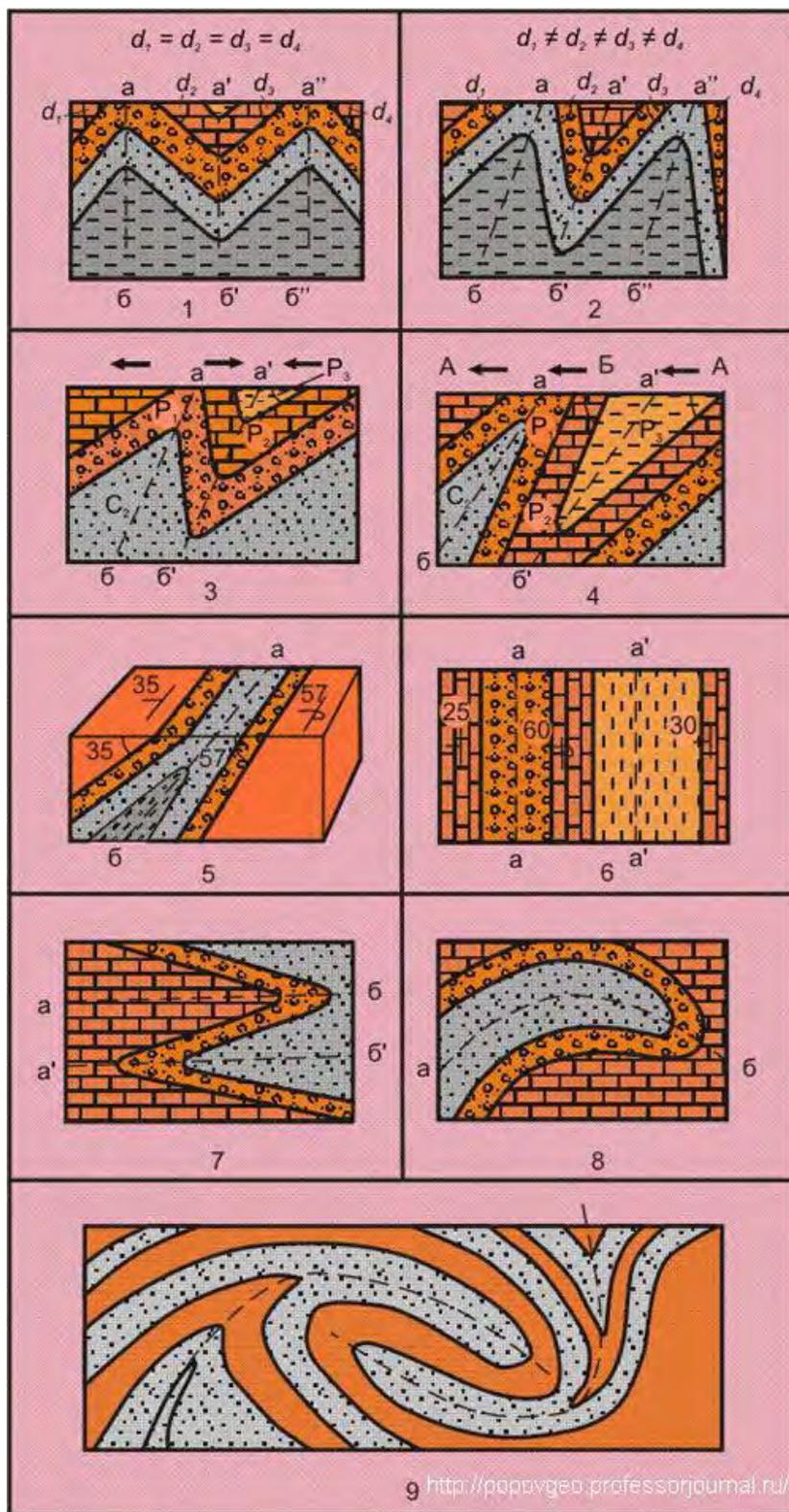


Рис.1.68.Классификация складок зависимости от положения осевой поверхности

Формы складок очень многообразны. Классификация их основана на различных признаках.

I - по положению осевой плоскости;

II - по форме замка и соотношению между крыльями;

III - по соотношению основных размеров: линейные - длина значительно превышает ширину (1);

брахискладки - длина больше ширины в 2-5 раз

(2а, 20); купола - антиклинальные складки (3а); мульды - синклинальные

складки/ в которых длина превышает ширину менее чем в 2 раза (3б).

Разновидностями антиклинальных складок являются диапировые складки и соляные купола (рис. 1.69). Их образование связано с присутствием в ядрах этих складок пластичных пород (глин, солей, гипса), которые, под действием огромного давления вышележащих пород, выжимаются и внедряются в эти породы, образуя пологий свод и крутые боковые поверхности.

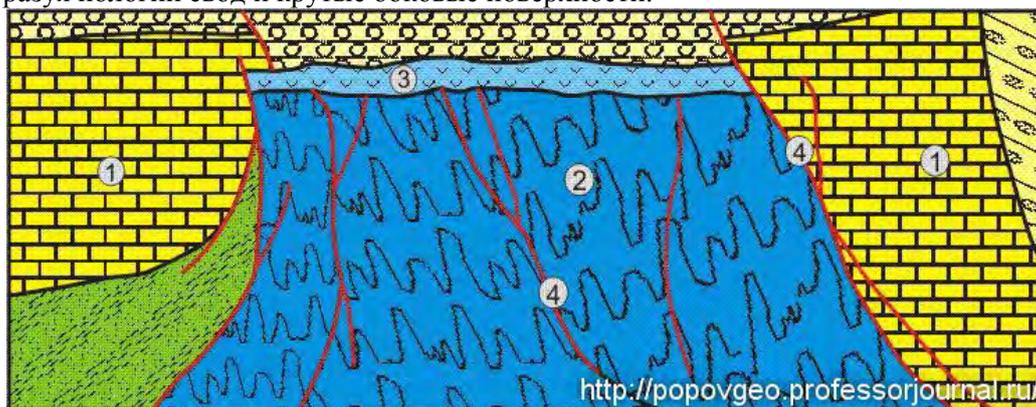


Рис.1.69. Диапировая складка: 1 - вмещающие породы, 2 - пластичные породы ядра, 3 - соляная шляпа, 4 - разрывные нарушения

Наиболее широко развитыми разновидностями диапировых складок являются соляные купола (рис.1.70.) и глиняные диапиры. В соляных куполах различают ядро, сложенное пластичными породами и более хрупкие вмещающие породы. Ядро носит черты активного протыкания, а вмещающие породы пассивно приспособляются к движению ядра. Очень часто соль в ядре имеет форму цилиндрического столба, образуя «соляной шток». При внедрении соляных масс свод купола подвергается растяжению и в нём, могут возникнуть многочисленные трещины и разломы. С соляными куполами часто связаны промышленные скопления нефти и газа. Формирование диапировых складок, по данным Ю.А.Косыгина, а также американских исследователей Бартона, Нельтона и других, происходит лишь там, где мощность пластичных пород составляет не менее 120 м, а глубина их залегания превышает 300 м. Пластичные породы, будучи вовлечены в процесс сжатия, в месте с окружающими их хрупкими породами выжимаются из крыльев в ядра антиклиналей. При благоприятных условиях они могут прорвать перекрывающие породы и образовать диапировые складки.

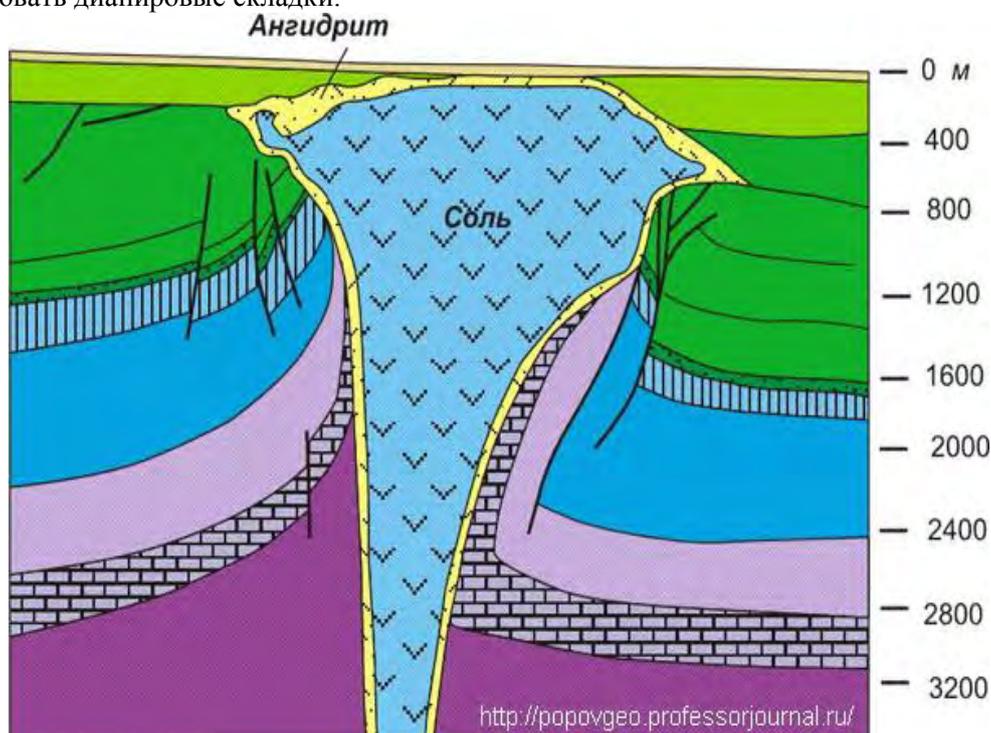


Рис.1.70. Соляной купол (по Бенцу)

Складки часто собраны в группы и образуют параллельные, кулисообразные, четковидные, пучкообразные сообщества. Сложные линейно-складчатые структуры образуют синклинии и антиклинории.

Антиклинории – это крупные, сложнопостроенные антиклинальные структуры, протяженностью сотни и даже тысячи километров. Они включают множество более мелких антиклинальных и синклинальных складок. Примером является мегантиклинорий Большого Кавказа.

Синклинии – это такие же крупные, сложнопостроенные, но в целом синклинальные структуры, осложненные синклинальными и антиклинальными складками более низких порядков. Сочетание антиклинорий и синклинорий образует горные хребты и горные системы, такие как Альпы, Кавказ, Тянь-Шань и др.

Разновидностью крупных складок являются флексуры, которые представляют собой коленообразные или ступенчатые перегибы слоёв или пластов. В области перегиба мощности слагающих флексуру пластов несколько уменьшаются и часто возникают разрывы. Части флексуры, расположенные по обе стороны от перегиба называются крыльями. Выделяется смыкающее крыло, оставшееся на месте и нижнее - опущенное крыло. Вертикальная амплитуда смещения может составлять десятки, и даже сотни метров. Флексуры обычно ограничивают крупные платформенные структуры, такие как синеклизы, краевые прогибы и др.

1.6.3.5. Разрывные нарушения (дизъюнктивные дислокации)

[На оглавление](#)

Тектонические движения иногда приводят к разрыву сплошности пластов горных пород и образованию разрывных нарушений или дизъюнктивных дислокаций. Различают нарушения без существенного смещения по ним и нарушения со смещениями.



Рис.1.71. Разрывные нарушения без смещения

Нарушения без смещения и с незначительными перемещениями, не более нескольких сантиметров, называются трещинами (рис.1.71). В совокупности они образуют трещиноватость в горных породах. Различают трещины, образовавшиеся в связи с внутренними процессами измерения вещества породы, так называемые первичные трещины, и трещины, которые образованы в связи с внешними воздействиями на породы – трещины тектонического происхождения и экзогенного происхождения (трещины, оползней, обвалов, отслаивания и др.).

Первичная трещиноватость осадочных толщ является следствием литификации (в связи с увеличением объема горной породы при гидратации составляющих породу минералов, либо в связи с уменьшением объема при высыхании первоначально влажных осадочных отложений и пр.). В результате этого каждый слой осадочной породы обычно расчленяется трещинами отрыва, субперпендикулярными плоскости напластования, которые в совокупности с границами раздела слоев образуют естественную отделенность.

Первичная трещиноватость пород магматической серии является прототектонической, обусловленной главным образом развитием трещин в остывающем магматическом теле. Протектоническая трещиноватость в зависимости от состава и условий кристаллизации магматического расплава дает различные формы отдельности: матрацевидную в гранитах, подушечную в диабазах, плитообразную в лавовых потоках кислых пород, столбчатую или призматическую в базальтах.

Тектонические трещины являются результатом деформации горных пород. При внешнем воздействии на тело последнее подвергается пластической деформации («течению»), а при превышении предела прочности – хрупкой деформации с образованием трещин. В геологической среде пластические деформации проявляются в образовании складчатости (перекристаллизации при метаморфизме и пр. явлениях), хрупкие – в образовании трещин и разломов. К нарушениям со смещением относятся сбросы, взбросы, сдвиги и надвиги. В любом разрывном нарушении со смещением выделяют геометрические элементы (рис.1.72).

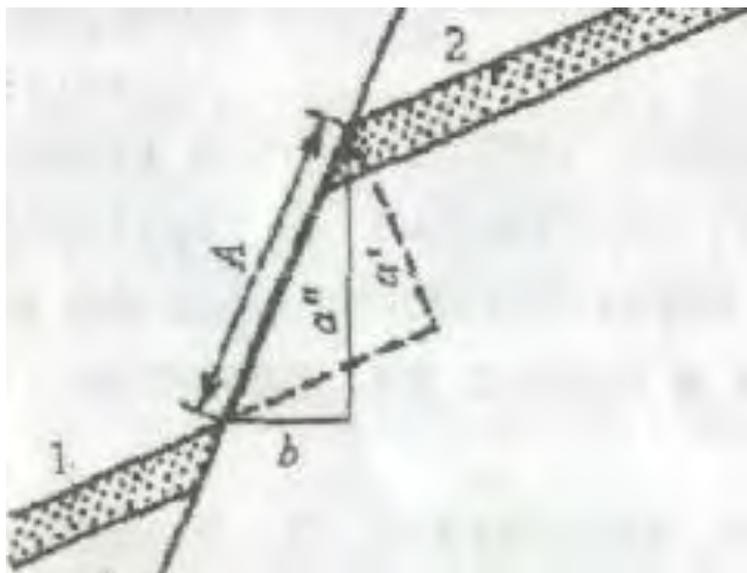


Рис.1.72. Геометрические элементы сброса: А - наклонная амплитуда; а'' - стратиграфическая амплитуда; b - горизонтальная амплитуда; 1 - висячее крыло; 2 –лежащее крыло

Элементами тектонических нарушений являются: сместитель, крылья, угол наклона сместителя амплитуды смещения.

Сместитель - это плоскость, по которой происходит смещение. Угол наклона сместителя может варьировать от нескольких градусов до 80-90°. Крылья - блоки пород, расположенные по обе стороны сместителя. При наклонном положении сместителя крыло, которое располагается над ним, называется висячим крылом, а расположенное под ним - лежащим. Важное значение имеет определение амплитуды смещения. Амплитуда смещения - величина относительного перемещения пластов. Различают амплитуду смещения по сместителю, вертикальную, горизонтальную, стратиграфическую.

Одной из наиболее характерных форм разрывных нарушений является сброс. Это нарушение, у которого сместитель наклонён в сторону опущенного крыла (независимо от того, является оно висячим или лежачим).

Если же сместитель наклонен в сторону приподнятых пород и уходит под них, то такое нарушение называется взброс.

В отличие от описанных типов нарушений сдвигом называется разрывное нарушение, у которого перемещение происходит преимущественно в горизонтальном направлении, а сместитель расположен вертикально. Часто (или почти всегда) сбросы и сдвиги проявляются совместно и называются сбросо-сдвигами и сдвиго-сбросами.

Надвигом называется дислокация с разрывом пластов и надвиганием одного крыла на другое по относительно пологой или горизонтальной плоскости. Это нарушение взбросового типа, возникающее обычно вместе со складчатостью. Выделяют крутые (более 45°), пологие (менее 45°) и горизонтальные надвиги. Эти структуры широко проявлены в складчатых областях. Надвиг с большим горизонтальным перемещением называется шарьяжем, у которого висячее крыло может перемещаться на многие километры и даже на десятки километров.

Сбросовые нарушения часто проявляются в виде систем сбросов и взбросов. При этом образуются своеобразные структуры. Грабен - опущенный участок земной коры ограниченный параллельными сбросами значительной протяжённости. Горст - приподнятый участок земной коры, заключенный между параллельными разломами.

Основные виды разрывных нарушений: сбросы (а), взбросы (б), надвиги (в), сдвиги (г), ступенчатые сбросы (д), горсты(ж), грабены(е,з) - представлены на рис.1.73.

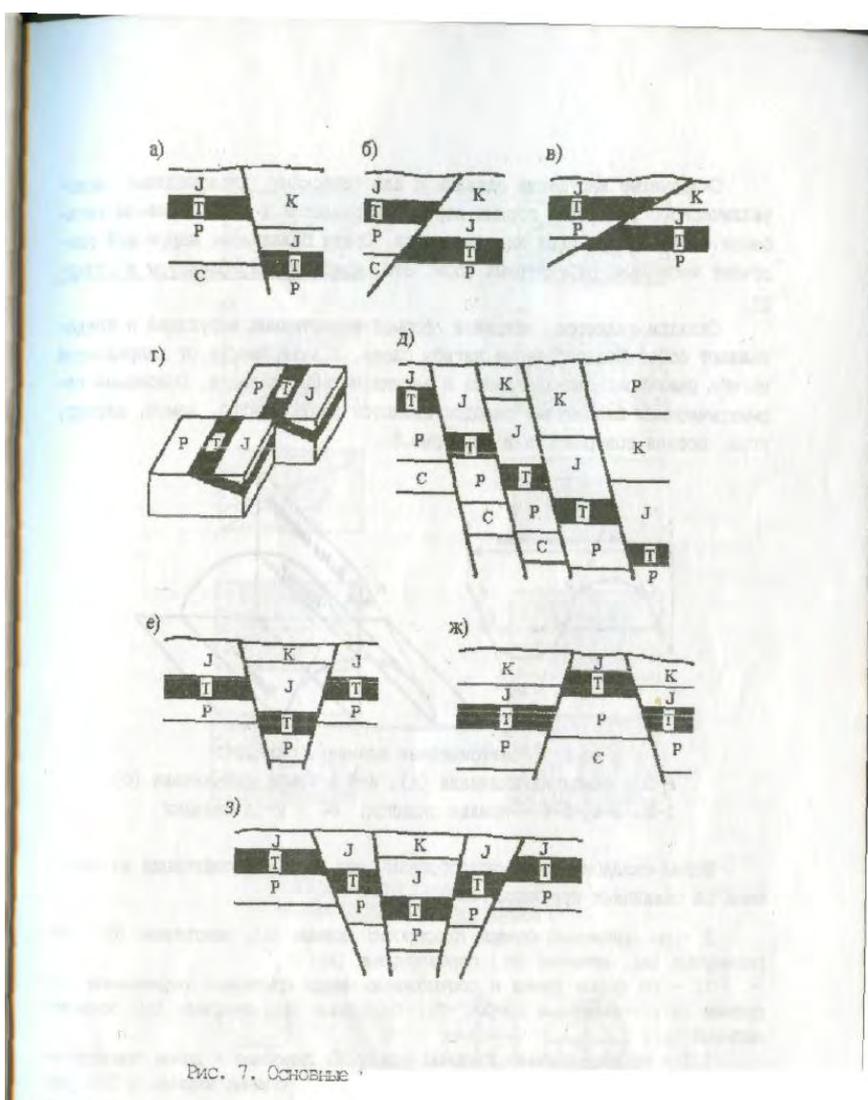


Рис.1.73. Основные виды разрывных тектонических нарушений со смещением.

Несколько параллельных ступенчато расположенных грабенов образуют сложный грабен. Это относится к структурам Великих африканских озёр (Танганьика, Альберта, Рудольфа), рифту Красного моря, рифту озера Байкал, Рейнскому грабену и др. Наиболее крупные надвиги и шарьяжи, характеризующиеся перемещениями пород на десятки километров по пологим, горизонтальным и волнистым поверхностям называются покровами. В покровах выделяются перемещённые массы висячего крыла, называемые аллохтоном, и оставшееся на месте лежачее крыло, называемое автохтоном. Покровы развиваются в областях со сложным покровно-складчатым строением (в Альпах, Апеннинах, Гималаях, Карпатах, на Большом Кавказе и других областях).

1.6.3.6. Причины выхода на поверхность коренных пород

[На оглавление](#)

Процессы осадконакопления (седиментации) в ходе геологического времени протекают более или менее непрерывно, хотя крайне неравномерно в различных районах Земного шара. Поэтому следовало бы ожидать, что древнейшие геологические напластования должны повсеместно залегать под слоями более молодых осадков, притом на большой глубине. В действительности, наблюдается совершенно иная картина: древнейшие (например, докембрийские) породы во многих районах выходят на земную поверхность и нередко на огромных площадях (например, на щитах и в горно-складчатых районах).

Выход (обнажение) древних геологических образований на земную поверхность объясняется явлениями денудации и тектоническими движениями земной коры. Как известно, в процессе денудации имеют место смыв, размыв и перенос продуктов разрушения горных пород текучими водами, ледниками и другими агентами денудации. При этом сносятся верхние, молодые напластования и обнажаются подстилающие их более древние породы.

Известно, что процессы денудации особенно интенсивно протекают в областях, высоко приподнятых над уровнем Мирового океана и характеризующихся высокой энергией рельефа (большой разностью высотных отметок поверхности).

Основное условие денудации - разность высотных отметок поверхности — постоянно возобновляется тектоническими движениями земной коры. Области, испытывающие поднятие, вместе с тем являются областями денудации. Напротив, области, испытывающие погружение, характеризуются преобладанием процессов седиментации. Вследствие дифференциации земной коры на области преимущественного поднятия (и денудации) и на области преимущественного погружения (и седиментации) появляются территории, в пределах которых процессы денудации обнажили древнейшие горные породы, и территории, которые характеризуются глубоким залеганием древнейших пород под толщей более молодых напластований. Поэтому степень и глубина обнажения древнейших горных пород зависят от длительности и интенсивности процессов поднятия и связанных с ним явлений денудации. Интенсивностью и длительностью процессов погружения определяется глубина залегания древнейших пород на данной территории.

Таким образом, степень обнаженности и глубина залегания горных пород определяются совместным действием колебательных движений земной коры и тесно связанных с ними денудационных и седиментационных процессов.

Общую картину обнажения горных пород значительно усложняют дислокационные движения земной коры - складчатые и разрывные нарушения первоначального залегания горных пород. Пестрота рисунка выходов древних пород на земную поверхность связана также с различной глубиной вреза эрозионной сети (оврагов, балок, долин рек, горных ущелий) и сложной (в плане) конфигурацией самой эрозионной сети. Естественно, что в долинах рек, глубоко врезанных в толщу горных пород, будут обнажены более древние напластования и на большую мощность. В бортах неглубоких оврагов будут выходить более молодые напластования.

1.6.3.7. Элементы залегания горных пород и их измерение

[На оглавление](#)

Во всех случаях, когда залегание различных геологических тел и, в частности, пластов горных пород отличается от горизонтального, для определения их ориентировки в пространстве вводится понятие об *элементах залегания*. К ним относятся: простирание, падение и угол падения.

Простира́ние пласта (или любой наклонной плоскости) - это его протяженность (положение) по отношению к странам света на горизонтальной плоскости. Направление простира́ния может быть выражено линией простира́ния. *Линия простира́ния* - это линия пересечения поверхности пласта с горизонтальной плоскостью, т.е. любая горизонтальная линия в плоскости пласта. Положение линии простира́ния относительно стран света определяется азимутом простира́ния. *Азимут простира́ния* - это правый горизонтальный векториальный угол, отсчитываемый от северного направления географического меридиана до линии простира́ния. Азимут может меняться от 0 до 360°. Так как любая линия простира́ния имеет два взаимно противоположных направления, то азимут простира́ния может быть выражен двумя значениями, различающимися на 180°.

Паде́ние пласта - его положение по отношению к плоскости горизонта. Оно определяется линией падения. *Линия падения* - это линия пересечения плоскости пласта с вертикальной плоскостью, направленная в сторону его наибольшего наклона. Таким образом, линия падения и линия простира́ния взаимно перпендикулярны. В отличие от линии простира́ния линия падения является вектором. Направление падения пласта также определяется азимутом. *Азимут падения* - угол между проекцией линии падения на горизонтальную плоскость и северным направлением географического меридиана. Азимут падения может изменяться от 0 до 360° и всегда имеет только одно значение.

Угол падения - это двугранный угол, образованный плоскостью пласта и горизонтальной плоскостью (или угол между линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость). Угол падения изменяется при наклонах пласта от 0 до 90°. Запись элементов залегания производится следующим образом: пр. ЮЗ 225; пд. ЮВ 135, < 32.

В полевых условиях определение элементов залегания геологических тел производится с помощью горного компаса. Горным компасом определяются как горизонтальные (азимутальные), так и вертикальные углы. Элементы залегания наклонного пласта и их измерение с помощью горного компаса показаны на рис. 1.74.

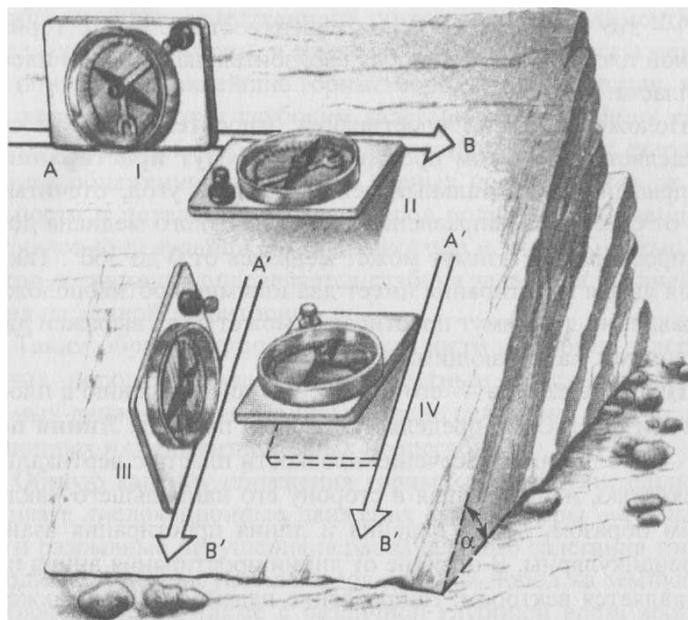


Рис. 1.74. Элементы залегания пласта и их определение с помощью горного компаса: АВ — линия простира́ния; А' В' — линии падения; α — угол падения; I — нахождение линии простира́ния; II — определение азимута простира́ния; III — определение угла падения; IV — определение азимута падения.

Горный компас состоит из алюминиевой или медной пластинки, длинная сторона которой ориентирована параллельно направлению с севера на юг, и укрепленного на пластинке лимба. В центре лимба на металлическую иглу насажены магнитная стрелка и отвес соответственно для определения азимутов и угла падения. Для удобства работы лимб разделен на 360° в направлении, обратном движению часовой стрелки; переставлены и индексы запада и востока. Это позволяет наносить данные измерений азимутов падений, и простира́ний на карту без какого-либо пересчета. При определении элементов залегания слоя можно воспользоваться следующим, достаточно распространенным способом. На поверхности слоя, для которого надо установить элементы залегания, расчищают небольшую ровную площадку и на

ней сначала определяют положение линии падения и значение угла падения. С этой целью к расчищенной плоскости слоя прикладывают длинную сторону вертикально расположенного компаса так, чтобы отвес был направлен вниз (см. рис. 1.74). Вертикальное положение компаса определяется по свободному качанию отвеса. Магнитная стрелка при этом должна быть закреплена. Удерживая компас в таком положении, вращают его по поверхности слоя, выбирая по показанию отвеса клиномера на полулимбе наибольший отсчет. Это и будет истинный угол падения слоя. По направлению длинной стороны компаса на площадке прочерчивают или мысленно проводят на плоскости слоя прямую, которая и соответствует направлению линии падения.

Для определения азимута падения компас поворачивают до совмещения его основания с плоскостью слоя. Короткая сторона компаса в этот момент показывает направление линии простирания. Вращая компас вокруг этой линии, приводят его (по уровню компаса) в горизонтальное положение, но так, чтобы северная сторона компаса была направлена в сторону падения слоя. Затем отпускают стопор стрелки и по ее северному концу на лимбе компаса снимают значение азимута падения. Азимут простирания отличается от азимута падения на 90° , поэтому его можно не измерять, а вычислить. Для этого следует прибавить (или отнять) к величине азимута падения 90° . Например, если азимут падения северо-восток 40° , то азимут простирания будет юго-восток 130° и северо-запад 310° . Из этих двух значений берут то, которое находится в северной половине — северо-запад 310° . При записи элементов залегания обязательно указывается четверть квадранта, в которой расположен этот угол; применяется буквенное выражение (СВ, ЮВ, СЗ, ЮЗ). Элементы залегания записываются следующим образом:

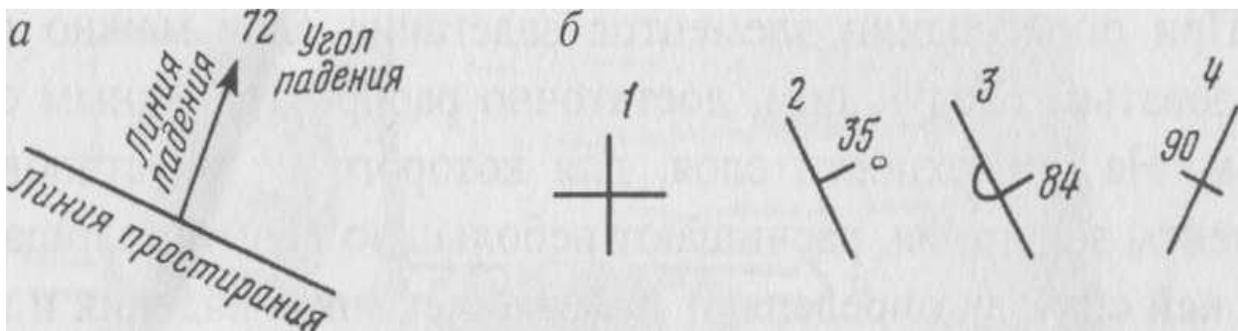


Рис.1.75. Схема изображения элементов залегания (а) и условные знаки для изображения элементов залегания. На геологической карте (б). Залегание: 1 — горизонтальное, 2 — нормальное наклонное, 3 — перевернутое (опрокинутое), 4 — вертикальное
аз.пад. $320 < 42$; аз. пр. СВ 50.
ЮЗ 230

Знак градуса не ставится, чтобы не спутать его с нулем. На геологических картах элементы залегания слоев показываются специальными условными знаками (рис. 1.75).

1.6.3.8. Графическое моделирование участков земной коры

[На оглавление](#)

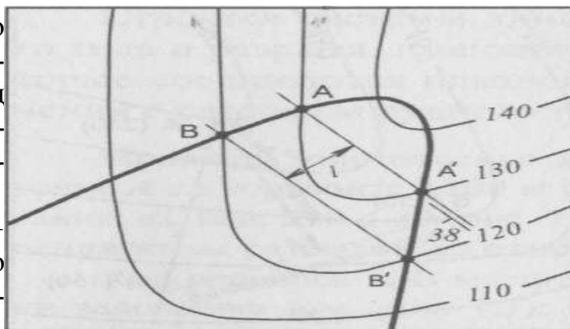
Горизонтальное залегание горных пород. При горизонтальном залегании слоев различного возраста и литологического состава рисунок геологической карты зависит от расчлененности рельефа и мощности слоев, образующих соответствующий участок земной коры. Границы (контакты) пластов следуют изгибам рельефа, так как в силу горизонтального залегания подошва и кровля каждого пласта имеют определенную и постоянную высотную отметку. В этом случае выходы пластов на поверхность будут изображаться в виде полос, вытягивающихся параллельно горизонталям местности. Ширина этих полос зависит от мощности пластов и величины уклона поверхности. Очевидно, чем мощнее пласт и положе склон, тем шире будут полосы выходов пластов и наоборот.

Признак горизонтального залегания пород на геологической карте - постоянство отметок поверхностей разделов геологических тел и подобие геологических границ горизонталям рельефа поверхности.

По геологической карте можно не только установить, какие породы выходят на поверхность Земли (или под покров четвертичных отложений), но также получить представление о геологическом строении

участка. Для этого строение геологического залегания пород

По топографическому заданному направлению или слабокарты мелкий, то волнистый характер таких случаев про- сти разреза может быть принят прямолинейным.



составляется геологический разрез. Почеческого разреза при горизонтальном состоит в следующем:

ческой основе геологической карты по лению АБ составляется топо- профиль. Если местность равнинная пересеченная, а масштаб геологической топографический профиль будет иметь тер, мало отличающийся от прямой. В филь местности без ущерба для точно-

Рис.1.76. Определение элементов залегания пласта выходящего на поверхность

Наносятся с геологической карты на топографический профиль границы толщ пород, пересекаемые заданным направлением разреза.

Изображаются границы распространения толщ на глубину путём проведения горизонтальных линий исходя из стратиграфического положения слоев (более молодые отложения перекрывают более древние).

Моноклиналиное залегание пластов. Моноклиналиным называется залегание, когда слои или толщи пород в пределах участка наклонены в одном направлении и под одним углом. Соответственно признаком моноклиналиного залегания пород на участке является постоянство элементов залегания, к которым относят азимут простирания, азимут падения и угол падения. Выходы одинаково (моноклиналино) наклоненных пластов в условиях равнинной местности будут иметь вид параллельных друг другу полос. Если местность неровная, то полосы выходов пластов будут пересекать горизонталь местности. Ширина полос выходов зависит от мощности, угла наклона и уклона на поверхности местности.

Признак моноклиналиного залегания пород на геологической карте - закономерное пересечение границами пород горизонталей рельефа в направлении, перпендикулярном простиранию пород (вкрест простирания возраст пород сменяется в соответствии со стратиграфической шкалой).

Рассмотрим варианты определения элементов залегания графическим способом по плану или геологической карте. Например, на поверхность выходит пласт угля (рис. 1.76); поскольку линия выхода пласта пересекает горизонталь рельефа, пласт залегает наклонно. Обозначим буквами точки пересечения пласта с горизонталями: точки А и А' лежат на горизонтали 130 м, В и В' — на горизонтали 120 м. Прямая, соединяющая точки А и А', есть линия простирания с абсолютной отметкой 130 м. Аналогично, линия ВВ' — линия простирания с отметкой 120 м. Следовательно, пласт наклонен и имеет падение на юго-запад от линии АА' к линии ВВ'. Нанесем значок элементов залегания рядом с линией выхода пласта (около точки А) и определим (компасом или транспортиром) азимуты падения и простирания, которые соответственно равны: аз.пад. 220 ЮЗ; аз. пр. 130 ЮВ (310 СЗ).

Для определения угла падения пласта необходимо построить треугольник заложения АВ"А". В этом треугольнике АА" — величина сечения между горизонталями (10 м); А"В" = l — расстояние между линиями простирания АА' и ВВ' в горизонтальной плоскости, т.е. проекция линии падения на горизонтальную плоскость. Соединив точки А и В", получим угол наклона пласта А"В"А = 30°.

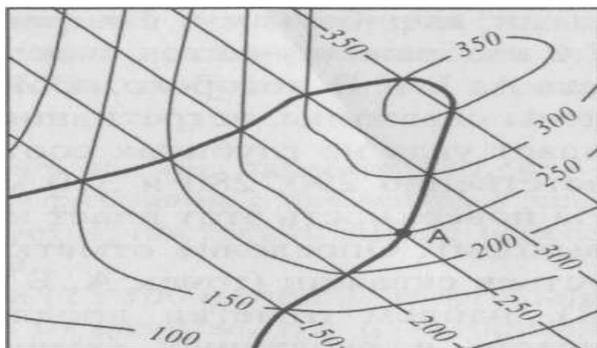


Рис. 1.77. Построение линии выхода пласта на поверхность по заданным (измеренным) элементам залегания

Если для наклонного пласта известны элементы залегания и точка его выхода на поверхность, то по этим данным можно построить линию выхода пласта на поверхность. На рис. 1.77. приведен топографический план участка, в точке А которого выходит пласт с аз.пад. 240 и углом падения 40°.

Чтобы построить линию выхода, надо найти серию точек, в которых отметка пласта и отметка поверхности рельефа одинаковы. Одна точка известна, это точка А. В этой точке отметка поверхности пласта равна 250 м, т.е. линия простираения, проведенная через эту точку, будет иметь отметку 250; так как пласт падает на ЮЗ, то на СВ от этой линии отметки поверхности пласта увеличиваются, а на ЮЗ — уменьшаются. Проведем линии простираения с отметками, соответствующими горизонталям рельефа. Для определения расстояния между ними построим треугольник заложения. Величину заложения (проекцию линии падения) определим по формуле: $l = k / a$ (k — величина сечения между двумя линиями простираения, a — угол падения пласта). Затем необходимо найти точки пересечения линий простираения и горизонталей местности, имеющие одинаковые отметки, и соединить их плавной линией, которая и будет линией выхода пласта. Если наклонная плоскость не выходит непосредственно на поверхность, то определить ее элементы залегания графически можно при условии, что она на глубине пересечена тремя горными выработками.

На рис.1.78. изображен участок, в точках А, Б и В которого пройдены скважины, встретившие пласт угля на глубинах соответственно 290, 280 и 310 м. На поверхность этот пласт не выходит. Определив отметки устьев скважин (точек А, Б и В), найдем отметки кровли пласта в скважинах (вычитаем из отметки устья глубину подсечения кровли пласта соответствующей скважиной). Они будут равны 210 м (т.А), 140 м (т.Б) и 150 м (т.В). Соединим прямой линией точки с наивысшей и наименьшей отметками (для рис. 7.6 - т. А и т. Б) и найдем на этой прямой точку В' с отметкой, равной отметке кровли

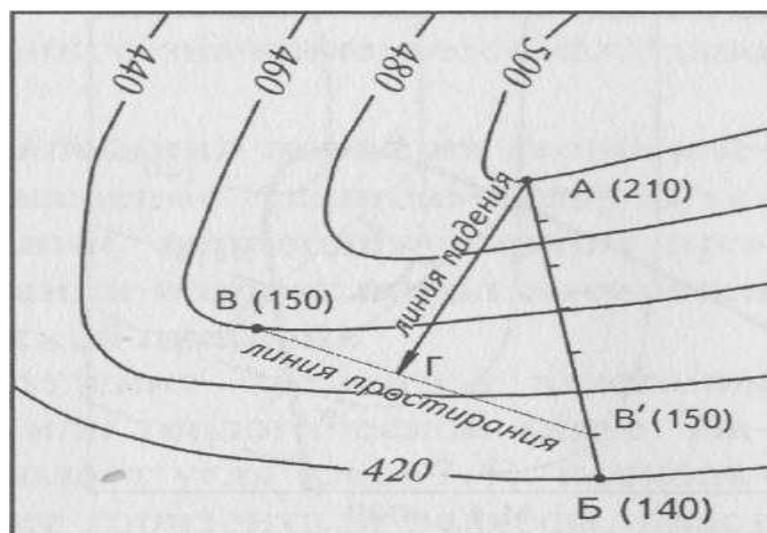


Рис. 1.78. Определение элементов залегания пласта, вскрытого горными выработками

пласта в т.В. Линия ВВ' является линией простирания пласта. Если теперь из т. А опустить на линию простирания перпендикуляр, то получим горизонтальную проекцию (заложение) линии падения. Обозначим пересечение на рис. 1.78. точкой Г. Теперь можно определить азимуты линий простирания и падения.

Для определения угла падения следует построить треугольник заложения, катетами которого будут горизонтальная проекция линии падения АГ и превышение т. А над т. Г (для нашего случая превышение составит $210 - 150 = 60$ м). Угол этого треугольника и будет углом падения пласта (рис. 1.79).

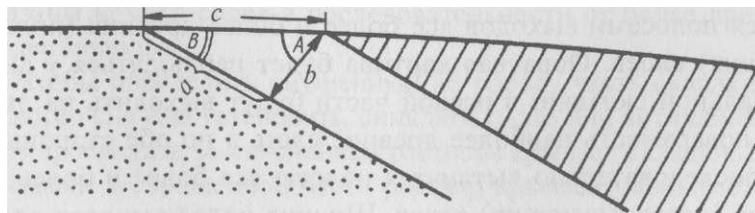


Рис. 1.79. Определение угла падения пласта по мощности слоя и ширине полосы выхода слоя породы

Складчатое залегание. Все складчатые образования могли бы четко проследиваться и в рельефе, и на поверхности, если бы не было процессов денудации. Однако, эти процессы, которые протекают почти одновременно с образованием складок, разрушали («срезали») возвышенные участки рельефа, т.е. замковые части антиклинальных и крылья синклиналиных складок. В результате на дневной поверхности обнажаются более древние образования, залегающие в ядрах антиклинальных складок, и более молодые породы, сохраняющиеся в ядрах синклиналиных складок.

На геологических картах районов, характеризующихся складчатым строением земной коры с сильно денудированной поверхностью, разновозрастные слои пород имеют различное расположение: это могут быть вытянутые параллельные, сходящиеся и расходящиеся, зигзаго- и дугообразные, а также концентрические полосы, которые сужаются, расширяются, а иногда и выклиниваются. На геологической карте основным признаком складчатого залегания является симметрично повторяющееся расположение полос (слоев) горных пород относительно центральной непарной полосы или участка, соответствующего внутренней части складки - ядру структуры.

Антиклинальные складки на геологической карте устанавливаются по симметричному расположению полос более молодых пород относительно центрального, непарного участка с более древними породами, слагающими ядро складки. У синклиналиных складок в ядре находятся более молодые породы, вокруг которых симметрично по обе стороны располагаются более древние образования.

Разберем пример, когда шарнир складки параллелен ее оси, а местность плоская, равнинная (рис. 1.80).

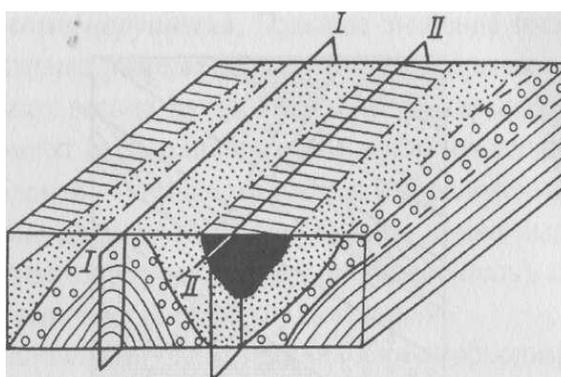


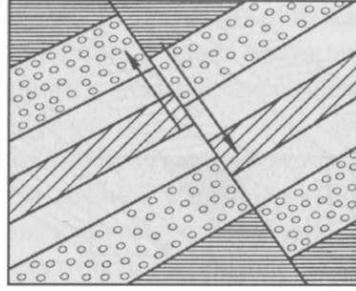
Рис. 1.80. Блок-диаграмма линейных складок с горизонтальными шарнирами /- / и // - //

В этом случае выходы пластов будут вытянуты в виде полос, параллельных осям складки. Наиболее молодые отложения, расположенные в осевой части синклинали, по обе стороны от нее будут сменяться полосами выходов все более и более древних (подстилающих) слоев. Обратная картина будет наблюдаться у антиклинальной складки: в осевой части будут выходить на дневную поверхность наиболее древние слои, а по обе стороны от нее последовательно вытянутся полосы все более и более молодых

(перекрывающих) слоев. Ширина полос выходов слоев, как и в предыдущих случаях, зависит от мощности пластов и угла их наклона.

Если местность будет уже не параллель- степени, чем сложнее

Брахискладки, как (брахиантиклиналь) или нием слоев. При пересечении получатся системы кон-



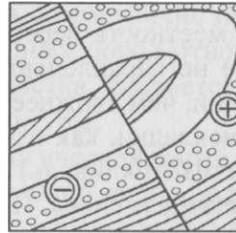
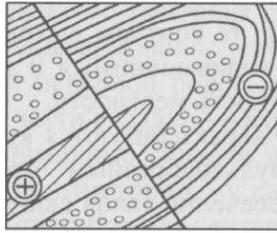
ресеченная, то контуры выходов пластов будут бунными, а извивающимися и тем в большей поверхности местности.

известно, характеризуются куполообразным мульдообразным (брахисинклиналь) залеганием таких складок поверхностью Земли

центрически замыкающихся слоев. При этом в ядре (в центре) брахиантиклинали будут выходить наиболее древние, а по краям — более мо-

лодые наслоения. В центральной части брахисинклинали, наоборот, будут наиболее молодые, а по периферии — более древние наслоения.

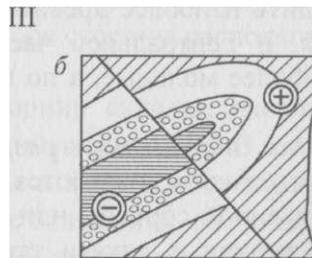
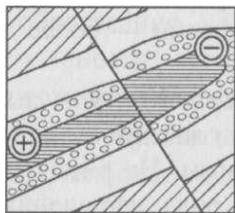
Складки, выходов пламы имеют дело или сдвигом. пичные случаи показаны но- более древних



нарушенные разрывами. Контурсы слоев значительно усложняются, если со складкой, разорванной сбросом. На рис. 1.81. показаны наиболее типичного рода нарушений, цифрами мера слоев в последовательности от к более молодым.

Чтобы определить опущенную по сначала установить, синклиналь это или антиклиналь, а затем проследить за изменением раствора крыльев складки. У антиклинали в сбросу уменьшается, у (под раствором складки в сесте).

сбросу часть складки, необходимо шенной части раствор крыльев синклинали, наоборот, возрастает крыльев складок понимают ширину чении, нормальном к осевой плоско-



а

1

а

б

11

111

а

Рис. 1.81. Характерные случаи нарушений:

I- антиклиналь, разорванная сдвигом; II- то же, сбросом; III- синклиналь, разорванная сбросом; а- опущено северо-восточное крыло; б- опущено юго-западное крыло; отложения; стрелками показаны направления смещения по горизонтали; «плюс» и «минус» - соответственно поднятые и опущенные блоки

Разрывные нарушения. Большое значение имеет правильное изображение разрывных нарушений. Разрывы в горных породах бывают весьма разнообразными по характеру и масштабам. Они могут быть одиночными и многочисленными, а перемещения блоков - незначительными и сравнительно сильными относительно друг друга. В нарушениях важно выделить главные элементы: поверхность разрыва (сместитель), сместившиеся блоки и величину (амплитуду) смещения.

При составлении геологических карт необходимо знать, как обозначаются разрывные нарушения на картах и разрезах. Это особенно важно для наиболее распространенных разрывных нарушений со смещением - сбросов, взбросов, горстов, грабенов, сдвигов и надвигов.

Для определения характера разрывного нарушения и его элементов необходимо знать важнейшие признаки нарушений. К ним относятся: внезапное исчезновение горизонтов и пачек пород при их прослеживании в поле или по карте, а также «утыкание» горизонтов одних пород в другие; это свидетельствует о несогласном залегании пород (что не имеет отношения к разрывам), тектонических контактах или оползневых явлениях; наличие зон брекчий, залегающих согласно со слоистостью пород; резкое изменение элементов залегания пород; прямолинейность долин рек, резкие ограничения озер, коленообразные изменения речных долин; линейное расположение блюдцевидных понижений, болот, озер и др.; выступающие в рельефе гряды, гребни или отрицательные формы рельефа, отражающие нарушения, выполненные жильными дайковыми образованиями, или фиксирующие вулканические постройки; наличие сравнительно узких и протяженных полос с более обильной растительностью на фоне бедной растительностью территории.

1.7. Магматизм. Магматические горные породы

1.7.1. Общее представление об эффузивном и интрузивном магматизме

[На оглавление](#)

Магматизмом называется совокупность процессов образования магмы, ее извержения и последующих затвердевания и кристаллизации. Магма - природный силикатный подвижный горячий расплав, возникающий в нижних слоях земной коры или верхней мантии, насыщенный различными газами и парами. По мере продвижения к земной поверхности магма теряет большую часть летучих компонентов. Вышедшая на поверхность магма - лава. Явления, обусловленные извержением лавы, называются эффузивным магматизмом или вулканизмом.

Извергаемые из магматического очага на земную поверхность продукты (лава и пирокластические материалы) создают вулканические постройки - вулканы. Их форма зависит от характера подводных каналов, состава и свойств извергаемых продуктов.

С трещинными извержениями связаны излияния базальтовых лав, распространяющихся на большую площадь в виде покровов и создающих обширные лавовые плато. Этот тип вулканов характерен для прошлых геологических эпох. В современное время они встречаются в Исландии, на Канарских и Азорских островах.

В результате извержения через центральные выводные каналы-жерла образуются пологовыпуклые щитовые и более крутонаклонные конические или куполовидные возвышенности - вулканы центрального типа. Щитовые вулканы формируются за счет излияний наиболее жидких базальтовых лав. Эти вулканы широко распространены на Гавайских островах и в Исландии. Конические и куполовидные вулканы слагаются более вязкими лавами среднего и кислого состава. Извержения этих лав часто сопровождаются взрывной деятельностью и выбросами обломочного (пирокластического) материала.

Интрузивный или глубинный магматизм охватывает процессы развития и внедрения магмы внутри литосферы с последующим образованием разнообразных по форме и составу магматических тел - интрузий (рис.1.82). Формы интрузий находятся в зависимости от условий их образования. В зависимости от формы и положения во вмещающих породах выделяют:

А - согласные интрузии:

силлы - пластообразные тела;

лакколиты - грибообразные тела с выпуклой кровлей;

лополиты - блюдцеобразные тела с вогнутой или плоской кровлей;

факолиты - чечевицеобразные изогнутые тела, приуроченные к сводам складок во вмещающих породах;

В - несогласные интрузии (приуроченные к секущим трещинам и каналам):

дайки - крутопадающие жилообразные тела;

жерловины или некки - трубообразные тела;

батолиты глубинные, наиболее крупные и близлежащие к магматическому очагу;

штоки - тела меньших размеров, чем батолиты, часто связанные последними на глубине.

Интрузивная деятельность вызывает изменения вмещающих горных пород на контакте их с интрузиями. К интрузиям приурочены определенные рудные комплексы полезных ископаемых.

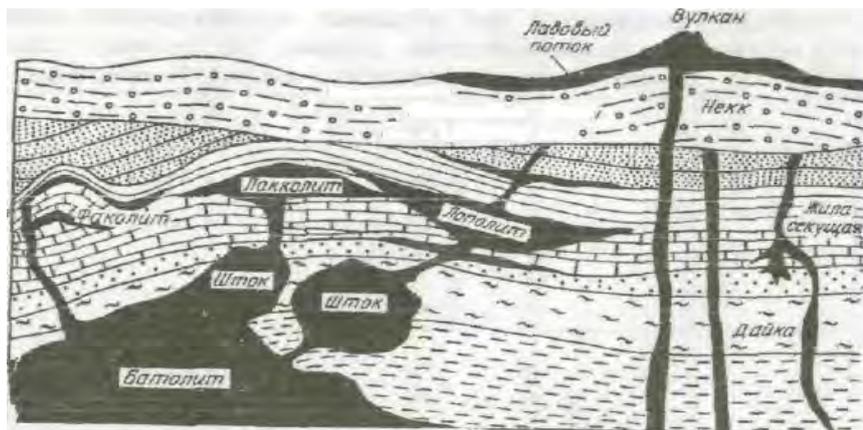


Рис.1.82. Формы залегания интрузивных магматических горных пород .

1.7.2. Магматические горные породы

[На оглавление](#)

Магматические горные породы обязаны своим происхождением затвердеванию природных, в подавляющем большинстве, силикатных расплавов как внутри Земли, так и на ее поверхности. В зависимости от условий формирования и залегания они подразделяются на:

Интрузивные. Породы полнокристаллические, с ясно видимыми кристаллами. Слагают батолиты, лакколиты, штоки, силлы, и другие интрузивные тела.

Эффузивные. Плотные или почти плотные порфировые. Слагают лавовые потоки, но также и субвулканические интрузии.

Жильные. Порфировидные или мелко- до микро- кристаллические. Слагают жилы, силлы, краевые части интрузий, мелкие интрузии.

Пирокластические. Вулканический туф, тефра. Слагают слои, покровы.

Среди эффузивных выделяют кайнотипные и палеотипные разновидности.

Кайнотипные породы (породы почти или совершенно свежие) содержат водянопрозрачные, стекловидные, полевошпатовые вкрапленники (основная масса неразличима), бесцветные или восково-желтые, имеют шероховатый на ощупь (вследствие мелкой пористости) излом и однородную (без пятен, потеков, ржавчины) окраску основной массы.

Палеотипные породы (породы измененные) имеют всегда плотную основную массу, часто неравномерно окрашенную, причем полевошпатовые вкрапленники здесь мутные и окрашенные.

Классификация магматических горных пород основана на установлении их минералогического и химического состава, структурных и текстурных особенностей. В табл. 1.8 приведено среднее содержание минералов в магматических породах по Т. Барту. Цифры таблицы представляют собой средние арифметические, рассчитанные из результатов анализов сотен пород.

Средний минеральный состав магматических горных пород

| Минералы | Содержание, % |
|-----------------------------|---------------|
| Кварц | 12,4 |
| Щелочные полевые шпаты | 31,0 |
| Плагиоклаз | 29,2 |
| Оливин | 2,6 |
| Пироксен | 12,0 |
| Роговая обманка | 1,7 |
| Биотит | 3,8 |
| Мусковит | 1,4 |
| Магнетит, гематит, ильменит | 4,1 |
| Нефелин | 0,3 |
| Апатит | 0,6 |
| Сфен | 0,3 |
| Хлорит и серпентин | 0,6 |
| Сумма | 100,0 |

Самыми распространенными минералами являются полевые шпаты, сумма которых составляет более 60 % от общего объема всех магматических пород.

Минеральный состав горных пород зависит от химического состава магмы и от условий ее кристаллизации. Условия кристаллизации определяют появление тех или иных минералов, в частности образование полиморфных разновидностей. Так, калиевый полевой шпат в эффузивных породах кристаллизуется в форме санидина, а в интрузивных породах – ортоклаза или микроклина. Роговые обманки кристаллизуются только в глубинных условиях, а при застывании лавы на земной поверхности вместо них образуются пироксены. Такой минерал, как лейцит, может образоваться лишь в эффузивных породах, а в интрузивных породах он заменяется смесью ортоклаза и нефелина.

В качестве главнейших классификационных признаков магматических пород используется также их химический состав. Средние содержания (массовая доля) главных породообразующих оксидов магматических пород (по Ф. Кларку и Г.Вашингтону) представлены в табл. 1.8.

Таблица 1.8.

Средние содержания породообразующих оксидов магматических пород

| Оксид | Содержание, % |
|--------------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 59,12 |
| Al ₂ O ₃ | 15,34 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,08 |
| FeO | 3,80 |
| MgO | 3,49 |
| CaO | 5,08 |
| Na ₂ O | 3,82 |
| K ₂ O | 3,13 |
| H ₂ O | 1,15 |
| Всего: | 98,01 |

Отношение суммы щелочей K₂O+Na₂O к глинозему Al₂O₃ определяет щелочность породы: если она меньше единицы, то порода принадлежит к нормальному ряду, а если больше, то к щелочному. Породы со значительным содержанием щелочей считают щелочными. Для отнесения породы к одной из этих групп обычно не обязателен химический анализ, так как химический состав пород отражается в их минеральном составе. Чем больше в породе кварца, тем она кислее, с возрастанием количества темноцветных минералов она переходит в средние, затем основные и ультраосновные. При этом в ней увеличивается содержание железа, магния, кальция и уменьшается кремнезема. Для пород щелочного ряда характерно

большое количество калиевого полевого шпата. В щелочных породах, как правило, присутствует нефелин и (или) лейцит - минералы, которые никогда не встречаются вместе с кварцем. По условиям образования магматические породы делятся на интрузивные и эффузивные. Интрузивные породы сформировались на относительно больших глубинах, эффузивные (излившиеся породы) затвердели непосредственно на дневной поверхности.

По степени вторичных изменений эффузивные породы делятся на кайнотипные - "молодые", неизменные и палеотипные - "древние", в той или иной степени измененные и перекристаллизованные главным образом под влиянием времени. Существенные вторичные изменения претерпевают полевые шпаты, биотит и амфиболы. Эти изменения устанавливаются микроскопическими исследованиями.

Визуальное определение магматических горных пород не представляет больших трудностей и осуществляется по главным отличительным признакам. По этим признакам в первую очередь следует установить, является порода интрузивной, жильной или эффузивной. Для этого, прежде всего, изучают их текстурные и структурные особенности.

Различаются три вида текстур, возникающих в процессе кристаллизации магмы без влияния внешних факторов: однородная, или массивная, такситовая (неоднородная, пятнистая) и шаровая.

Такситовая (неоднородная, пятнистая, или шлировая) текстура отличается неоднородным распределением составных частей пород в различных участках. Эти участки могут отличаться друг от друга как по составу (наличие скоплений мафических минералов), так и по структуре. Среди текстур, возникновение которых происходит под влиянием кристаллизации в движении или других причин, различают линейную, полосчатую, гнейсовидную, трахитоидную, флюидальную.

Линейная текстура проявляется в линейной ориентировке в пространстве призматических или столбчатых минералов.

Трахитоидная текстура связана с субпараллельным расположением в породе таблитчатых или уплощенно-призматических кристаллов полевых шпатов. Эта текстура образуется при кристаллизации расплава в движении.

Флюидальная текстура вулканитов характеризуется потокообразным расположением зерен, микролитов, кристаллитов. Породы с флюидальностью часто характеризуются тончайшим переслаиванием разноокрашенных полос вулканического стекла. Микрополосчатость вытянута в направлении движения лавы, обтекает вкрапленники, как правило, смята в мельчайшие складки. Флюидальность возникает при продвижении вязкой застывающей лавы.

Гнейсовидная текстура полнокристаллических интрузивных пород с субпараллельным расположением преимущественно мафических минералов появляется в процессе кристаллизации магмы под воздействием одностороннего давления.

Полосчатая текстура наблюдается у пород, сложенных чередующимися слоями разного состава или разной структуры. Образование такой текстуры в интрузивных породах может быть связано с гравитационной дифференциацией или с процессами ликвации (разделение магмы на фракции в жидком состоянии), предшествовавшими кристаллизации. Полосчатая текстура вулканитов представлена чередованием полос различной окраски (обычно маломощных – первые сантиметры, а чаще миллиметры), несущественно отличающихся друг от друга по химизму, структуре основной массы, составу стекол.

Пузыристая текстура обусловлена наличием в породе незаполненных полостей, которые ранее были заняты пузырьками газа. Они фиксируют процесс отделения от магмы летучих компонентов при ее извержении. Объем пузырей в породе, их форма и размеры связаны с составом магмы (а соответственно и флюидной фазы), а также зависят от приуроченности породы к той или другой части вулканического тела, иногда значительно отличающейся режимом охлаждения и отделения летучих компонентов.

При дальнейшем развитии пород пузырьковые полости выполняются вторичными минералами и образуется миндалекаменная текстура. Миндалины могут быть сложены одним минералом (например, хлоритом, карбонатом, кварцем) или двумя-тремя, тогда они имеют концентрически-зональное строение – стенки пустот выполнены одним минералом, а центральные части – другими.

В зависимости от степени охлаждения магм находится и степень их кристаллизации:

1) при кристаллизации расплавов и магм в условиях оптимума получают полнокристаллические структуры;

2) в наихудших условиях могут получиться совершенно или почти лишенные кристаллов стекловатые структуры;

3) в промежуточных условиях получают структуры неполнокристаллические.

С условиями кристаллизации магм связана величина зерна в полнокристаллических породах. Если магма отвердевает медленно, то условия наиболее благоприятны для получения или наиболее крупных кристаллов (небольшое количество центров, достаточно быстрый рост), или, во всяком случае, кристал-

лов более или менее равномерных. Получаемые в результате структуры называются равномернозернистыми. При этом по величине кристаллов различают структуры:

- – гигантокристаллические при величине кристалла свыше 2 см;
- – крупнокристаллические при размере кристалла выше 5 мм;
- – среднекристаллические с величиной кристалла от 1 до 5 мм;
- – мелко- и тонкокристаллические – кристаллы видны невооруженным глазом;
- – микрокристаллические - кристаллы видны в лупу или под микроскопом;
- – скрытокристаллические – в породах под микроскопом обнаруживается только кристаллическость, а отдельные зерна неразличимы.

При кристаллизации расплавов и, следовательно, при образовании горной породы сначала выделяется один минерал, который в дальнейшем растет, затем, при продолжающемся выделении этого минерала, начинает выделяться следующий и т.д. Кроме того, при наличии порядка кристаллизации отдельных минералов, совершенно неизбежно, что первые минералы, кристаллизуясь при более высокой температуре, находятся в более благоприятных условиях для роста, чем более поздние, выделяющиеся в более вязкой жидкости, и т.д. Наконец, может случиться и так, что часть магмы затвердевает в очень благоприятных для кристаллизации условиях на глубине, а не успевшая закристаллизоваться часть её вместе с выделившимися кристаллами изливается или в более высокие горизонты или на земную поверхность. Эти условия для кристаллизации менее благоприятны или весьма неблагоприятны как вследствие быстрого понижения температуры, так и вследствие выделения газов и паров.

Указанные обстоятельства, порознь или вместе, неизбежно влекут за собой неравномерность зерен минералов одних и тех же или разных видов в породе. Получается так называемая порфиристая структура, при которой минералы породы весьма сильно отличаются друг от друга по величине.

Во всякой порфиристой структуре различаются два элемента: более крупные кристаллы - порфиры или вкрапленники и мелкая масса, стекловатая или неполнокристаллическая, служащая как бы цементом для вкрапленников - основная масса.

Выделяют, кроме нормальной порфиристой структуры, еще структуру порфиривидную. Под порфиривидной понимают такую структуру, при которой полнокристаллическая основная масса имеет легко различимое зернистое строение. Оно по размерам может соответствовать среднезернистой породе, как, например, в порфиривидных гранитах.

Связь степени кристалличности и величины кристаллов с условиями отвердевания магмы определяется скоростью процесса остывания магмы. Магма затвердевает в породе не при определенной температуре, а в некотором интервале температур.

Неполнокристаллическую породу без четко выраженных крупных вкрапленников часто ют афировой.

Структура, в которой минералы прорастают друг друга, давая более или менее правильные грани называется письменная или пегматитовая. Если же при одновременном выделении минералы не прорастают друг друга, а соприкасаются, то получается структура аплитовая, в которой все минералы более или менее идиоморфны, более или менее изометричны. Эту структуру иногда называют сахаровидной.

Кластические структуры имеют такие породы как пирокластические вулканические туфы. В неизменных или мало измененных туфах встречаются часто обломки стекла, имеющие нередко характерную форму дужек, лунок (в разрезе), совершенно неправильных тонкопористых частиц (вулканический пепел), придающих породе под микроскопом своеобразный облик.

В туфовых структурах нередко встречаются прекрасно образованные кристаллы, а также вкрапленники - капли застывшей лавы, выброшенной силой взрыва из жерла вулканов.

По структуре и текстуре породы определяют интрузивная она или эффузивная. Все интрузивные породы имеют полнокристаллическую структуру, массивную или пятнистую текстуру, а эффузивные – преимущественно стекловатую, порфиристую, скрытокристаллическую структуру и массивную, шлаковую, миндалекаменную текстуры.

Лабораторная работа 1.7.2.1. «Изучение и описание отличительных признаков интрузивных пород».

[На оглавление](#)

Цвет. У интрузивных пород цвет самый разнообразный. Если некоторые минералы в породе образуют изолированные скопления, то окраска будет пятнистой, полосчатой и др. Породы, окрашенные в светлые тона, называются лейкократовыми (рис. 1.83, а), а темные – меланократовыми (рис. 1.83, б). Чем

больше в породе темноцветных минералов, тем больше цветное число (объемная доля, % темноцветных минералов).

аб

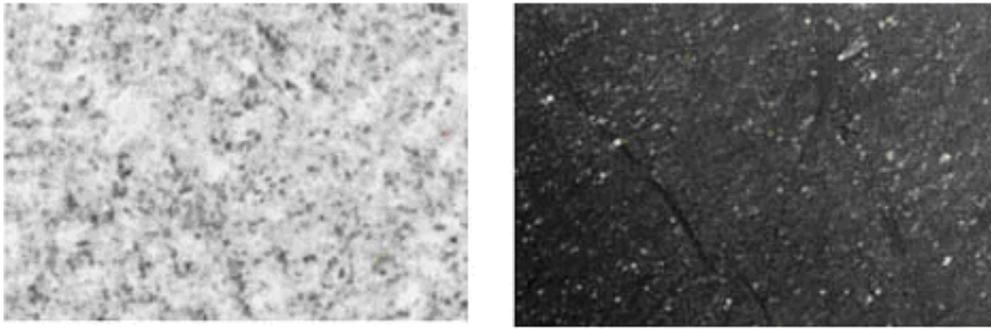


Рис. 1.83. Лейкократовая (а), меланократовая (б)

Текстура. Для интрузивных пород наиболее характерными являются массивная (рис. 1.84, а, б), слоистая, пятнистая (рис. 1.85) и др. хорошо различимые при макроскопическом исследовании.



Рис. 1.84. Полнокристаллическая структура, массивная текстура:
а–гранит; б– диорит

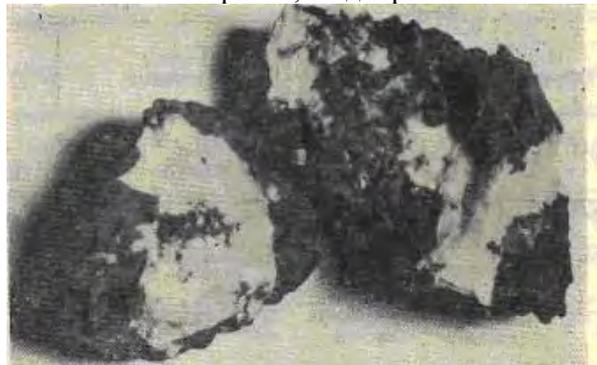


Рис. 1.85. Пятнистая текстура– светлые и темные минералы в породе сгруппированы отдельными пятнами. Габбро

Структура. У интрузивных пород без микроскопа хорошо различаются следующие структуры: афанитовая (отдельные зерна породы неразличимы); мелкозернистая (кристаллы видны невооруженным глазом); среднѐзернистая (от 1 до 5 мм); крупнозернистая (от 5 мм), гигантозернистая (более 2 см). Структуры могут быть равномерно-зернистыми и неравномерно-зернистыми, когда одни зерна по размерам резко отличаются от других. К последним относится и порфириовидная структура, образованная крупными кристаллическими зернами в мелкозернистом кристаллическом агрегате. Графическая структура или пегматитовая представляет собой закономерное прорастание калиевого полевого шпата кварцем. Такая структура характерна для пегматита – крупнокристаллического калиевого полевого шпата с закономер-

но ориентированными клиновидными вростками кварца, напоминающими древние письмена (рис. 1.86). Вростки кварца в полевом шпате обычно клиновидные.



Рис. 1.86. Графическая или пегматитовая структура. Пегматит

Минеральный состав. С достаточной степенью точности объемные соотношения минералов можно определить на глаз. Аксессуарными минералами часто бывают циркон, магнетит, апатит. Вторичные минералы – хлорит, серпентин и др.

Количественные соотношения главных минералов. Они выражаются в процентах по отношению ко всему объему породы.

Цветное число. Выражается в процентах.

Описание главных минералов. Это описание включает преобладающие размеры кристаллических зерен, их форму и те диагностические признаки, по которым можно безошибочно назвать минерал.

Лабораторная работа 1.7.2.2. «Изучение и описание отличительных признаков эффузивных пород».

[На оглавление](#)

Цвет. Описывается так же, как и при изучении интрузивных пород.

Текстура. Наиболее распространенные текстуры эффузивных пород: массивная, полосчатая, слоистая, пятнистая, пузыристая или миндалекаменная. Если пустоты, напоминающие по форме зерна миндаля, заполнены опалом, халцедоном, карбонатами, то текстура называется миндалекаменной (рис. 1.87).

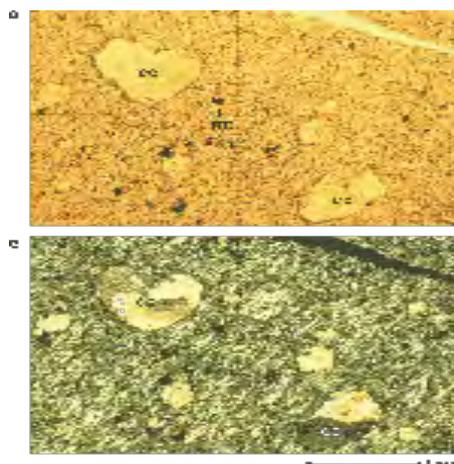


Рис. 1.87. Миндалекаменная текстура. Миндалекаменные базальты

В отличие от миндалекаменной пузыристая текстура характеризуется наличием пустот различной формы (рис. 1.88).

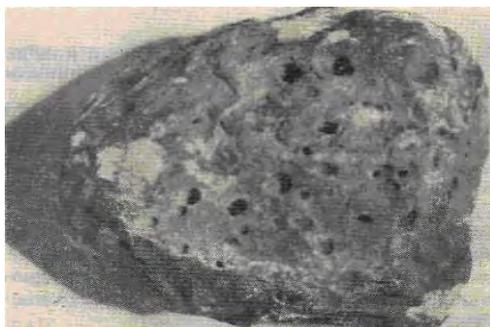


Рис. 1.88. Пузыристая текстура. Базальт

Если удлиненные по форме минералы ориентированы так, будто они находятся как бы в окаменевших потоках и струйках жидкой лавы или магмы, то текстура называется флюидальной, а будучи проявленной в щелочных лавах – трахитовой.

Следует быть внимательным, чтобы не принять за флюидальность тонкую слоистость осадочных пород или гнейсовидность – метаморфических: флюидальность отличается крайней невыдержанностью, отдельные "слои" здесь на небольшом расстоянии меняются по толщине, прерываются, изгибаются в различные складки.

Структура. Наиболее типичными являются порфировая структура, характеризующаяся наличием в очень мелкозернистой или скрытокристаллической основной массе отдельных, крупных кристаллов – вкрапленников (рис. 1.89), и афировая, свойственная порфировым породам, в которых нет вкрапленников.



Рис. 1.89. Порфировая структура (порфир)

Минеральный состав вкрапленников (если они есть в породе).

Характер распределения и количественные (объемные) соотношения (в%) вкрапленников друг с другом и с основной массой.

Описание вкрапленников. В описании должны быть отражены размеры вкрапленников, форма зерен и диагностические признаки минералов. Зеленые оттенки основной массы могут указывать на интенсивные вторичные изменения (палеотипные разновидности). Наличие стекла в основной массе, наоборот, свидетельствует о кайнотипном облике породы. Если нельзя уверенно отнести породу к кайнотипной или палеотипной, то ее следует определять как кайнотипную.

Лабораторная работа 1.7.2.3. «Разделение магматических горных пород на группы по содержанию оксида кремния».

[На оглавление](#)

Магматических пород насчитывается более 1000, но лишь немногие из них распространены в земной коре достаточно широко. Для интрузивных пород характерны различные формы полнокристаллических структур, эффузивные, как правило, обладают неполнокристаллическими структурами (табл. 1.9).

За основу большинства классификаций принято содержание оксида кремния (SiO_2), которое и служит критерием для подразделения пород на группы (табл. 1.10).

При макроскопической диагностике магматических пород после определения их структурных и текстурных характеристик изучается минералогический состав, который позволяет оценить содержание в породе оксида кремния.

Основные и ультраосновные породы обычно не содержат кварца (SiO_2). Цветное число основных пород достаточно велико, им свойственна окраска с преобладанием темно-серых тонов (лабрадор – полевой шпат основных пород – имеет темно-серый цвет, а ультраосновные породы обычно окрашены в цвета, близкие к черным или темно-зеленым).

У средних пород преобладает серая окраска, кварца мало или нет совсем. Средние породы распознаются по большому количеству калиевого полевого шпата.

Таблица 1.9

Структуры магматических горных пород

| Структура | | | | Породы |
|------------------------|------------------------|------------------------------------|------------|---|
| Полно-кристаллическая | Равномерно зернистая | Крупно-зернистая | более 5 мм | Интрузивные породы (глубинные, абиссальные) |
| | | Средне-зернистая | 5–3 мм | |
| | | Мелко-зернистая | 3–1 мм | |
| | | Афанитовая (скрытокристаллическая) | менее 1 мм | |
| | Неравномерно зернистая | Порфировидная | | Гипабиссальные (полуглубинные) |
| | | Пегматитовая | | |
| Неполнокристаллическая | | | | Эффузивные, главным образом палеотипные |
| Стекловатая | | | | Эффузивные |

Кислые породы светлоцветные, с большим количеством кварца. По мере увеличения кислотности пород содержания окислов железа и магния закономерно убывают.

Ультраосновные породы сложены только оливинами и пироксенами; в основных к ним присоединяется кальциевый плагиоклаз. К средним породам относятся главным образом полевошпатовые породы с небольшой примесью железомagneзиальных минералов. В кислых породах уменьшается содержание магнезиально-железистых и кальциевых силикатов и появляются щелочные полевые шпаты и кварц. В ультракислых породах доля кварца значительно возрастает.

Таблица 1.10

Группы магматических горных пород

| Группа пород | Содержание SiO_2 | Название пород |
|----------------|---------------------------------|--|
| Ультраосновные | $\text{SiO}_2 < 40 \%$ | Дунит, перидотит, пироксенит |
| Основные | $\text{SiO}_2 40\text{--}52 \%$ | Габбро, лабрадорит, базальт, диабаз |
| Средние | $\text{SiO}_2 52\text{--}67 \%$ | Сиенит, диорит, трахит, андезит, полевошпатовый порфир, порфирит |
| Кислые | $\text{SiO}_2 67\text{--}75 \%$ | Гранит, липарит, кварцевый порфир |

| | | |
|--------------|-------------------------|----------|
| Ультракислые | SiO ₂ > 75 % | Пегматит |
|--------------|-------------------------|----------|

Кислые породы.

Кислые интрузивные породы нормального ряда представлены гранитами. К этому основному названию обычно добавляется определение, которое дают по преобладающему темноцветному минералу – биотитовые, роговообманковые, и др. граниты. Разновидностью биотитовых или биотит - роговообманковых гранитов являются рапакиви, в которых калиево-натриевый полевой шпат образует крупные округлые фенокристаллы (овоиды), окруженные оболочкой зеленого олигоклаза. Разновидности пироксеновых гранитов представляют собой чарнокиты -гиперстен-биотитовые граниты. С гранитами тесно связаны гранодиориты, содержащие по сравнению с гранитами меньше кварца и значительно меньше калиевого полевого шпата. Граниты и гранодиориты, а иногда и диориты объединяют в группу гранитоидов.

К эффузивным породам кислого состава относятся липариты и их палеотипные разновидности – кварцевые порфиры. Структура этих пород, как правило, порфировая, вкрапленники представлены кварцем (присутствует постоянно), калиевым полевым шпатом и кислым плагиоклазом. В основной массе нередко отмечается стекло. Визуальное определение степени вторичных изменений кислых эффузивов затруднено, поэтому в первом приближении можно (учитывая редкость липаритов) все кислые излившиеся породы относить к кварцевым порфирам. Стекла кислого состава – обсидианы похожи на обычное стекло, окрашенное в различные, часто очень темные (до черного) цвета. К стеклам относятся также пехштейн, имеющий жирный смоляной блеск, и пемза – легкая, очень пористая порода.

Средние породы.

Средние интрузивные породы нормального ряда – диориты в "чистом" виде встречаются редко. От гранитов отличаются отсутствием или низким (<5 %) содержанием калиевого полевого шпата и большим (до 20) цветным числом. Кварцевые диориты, содержащие более 5 % кварца, представляют собой породы, переходные от диоритов к гранодиоритам. Средние эффузивные породы нормального ряда - андезиты и андезитовые порфириты – имеют порфировую структуру, вкрапленники в виде зерен плагиоклаза и темноцветных минералов; косвенным признаком для отнесения породы к андезитовым порфиритам может служить зеленый оттенок основной массы. Средние интрузивные породы щелочного ряда - сиениты - содержат большое количество калиевого полевого шпата и, в отличие от гранитов, практически лишены кварца. Средние эффузивные породы щелочного ряда -трахиты и ортофиры имеют порфировую или афировую структуру и почти целиком состоят из калиевого полевого шпата.

Щелочные породы.

Щелочные интрузивные породы - нефелиновые сиениты - внешне похожи на средние, но содержат нефелин. Нефелин можно легко спутать с кварцем, поэтому следует помнить, что кварц и нефелин в породах никогда не встречаются вместе.

Основные породы.

К основным интрузивным породам относится габбро – темноокрашенные крупнокристаллические породы, в состав которых входит плагиоклаз. Разновидностью основных интрузивных пород является лабрадорит, состоящий из темно-серых кристаллов лабрадора, которые при определенных поворотах к свету начинают иризировать – светиться синим цветом.

Эффузивные породы основного состава распространены в земной коре очень широко. Базальты – породы с четко выраженной порфировой структурой, более темные, чем андезиты; вкрапленники базальтов на почти черном фоне основной массы выделяются очень резко, будучи представлены плагиоклазом и темноцветными минералами. Палеотипные разновидности базальтов, также как и андезитов, отличаются зеленым оттенком. Если в таких породах есть вкрапленники, то это будут базальтовые порфириты; аналогичные породы без вкрапленников с очень мелкозернистым, скрытокристаллическим строением именуется диабазами.

Ультраосновные породы (гипербазиты).

Эти породы практически не содержат полевых шпатов и состоят почти нацело из пироксенов, оливина и магнетита. Представители этих пород следующие: дуниты - массивные темно-зеленые породы, состоящие из оливина; перидотиты - более темные породы, где наряду с оливином встречаются пироксен; пироксениты - темно-серые, почти черные, мелкозернистые тяжелые породы, состоящие главным образом из пироксена. Разновидностью перидотитов по составу являются кимберлиты (в трубках взрыва).

1.7.2.4. Лабораторная работа. «Макроскопическое определение магматических пород».

[На оглавление](#)

Граниты и сиениты различаются макроскопически только по отсутствию кварца во вторых (в гранитах кварца должно быть не менее 20 %), представляют собой породы светлоокрашенные красного, розового, буроватого, желтого, светло-серого, иногда серовато-белого, почти никогда зеленовато-белого цвета, с небольшим (не более 10 %) количеством темноцветных, мафических, минералов, очертания которых легко улавливаются невооруженным даже лупой глазом.

Гранодиориты от гранитов отличить макроскопически почти невозможно, поэтому их в полевых исследованиях часто и не разделяют, называя гранитоидами. Необходимо иметь в виду, что в гранитах темных минералов не более 5-10 %, но лучше породы светлоокрашенные с зеленовато-белыми (исключительно) полевыми шпатами и кварцем называть кварцевыми диоритами, а те, в которых наряду с этими двумя минералами встречаются кое-где и розоватые, желтоватые и красноватые полевые шпаты, относить к гранодиоритам, если в этих породах окрашенных минералов около или более 10 %.

Диориты содержат обычно не менее 15–20 % окрашенных минералов, в числе которых находятся зеленовато-черные призмочки роговой обманки и часто также темнобурые блестящие листочки биотита. Общая окраска породы пестрая или темная; почти всегда полевые шпаты светлые, зеленоватые. В противоположность гранодиоритам, диориты кварца не содержат (не более 5 %).

Габбро - также обычно темные породы, в которых имеются светлорубые призмы и зерна пироксенов с металловидным блеском. В то время как диориты, содержащие большей частью 15-20 % мафических минералов, по преимуществу пестрые, габбро, содержащие обычно около 50 % темноцветных компонентов, являются породами темными, буровато- или зеленовато-темносерыми или черными. В габбро очень редко присутствует легко распознаваемый биотит, и поэтому одно только присутствие его в темной породе заставляет относить ее к диоритам. Плаггиоклазы часто бывают темными, но просвечивают в краях.

Нефелиновые сиениты отличаются от сиенитов и других пород наличием нефелина. Бесполовошпатовые интрузивные породы отличаются отсутствием полевых шпатов.

Зелено-черные и бурые с металлическим блеском, более светлые, породы относятся к пироксенитам, а типичные дуниты отличаются оливково-зеленым, до черного, цветом и с выветрелой поверхности бывают покрыты желто-бурой тонкой коркой выветривания. Все интрузивные породы должны быть полнокристаллическими, часто средне- и крупнозернистыми.

Определение эффузивных пород более сложное и невозможно без изучения шлифов пород под микроскопом. Порфиновые вкрапленники здесь часто бывают так малы, что они остаются макроскопически нераспознанными, так что часто бывает неизвестно, дацит, риолит или трахит находится перед исследователем. При этом породы кислые чаще всего светлоокрашены в белые, желтоватые и желтые, розовые и красные цвета, в то время как для остальных характерны серые, темносерые, шоколадные, зеленые и черные цвета. В частности, риолиты отличаются от трахитов только наличием (в риолитах) вкрапленников кварца, выглядящих наподобие стекляшек на фоне основной массы.

Андезиты и базальты - породы серые, темносерые или черные, шероховатые на ощупь, причем в базальтах могут быть заметны в лупу оливковые вкрапленники, иначе эти две породы в поле отличить трудно. Андезиты с темнозеленой или шоколадно-бурой основной массой имеют зеленовато-белые или реже белые (изредка и буроватые) полевешпатовые вкрапленники наряду с темноцветными; базальты (диабазы) - мелко- иногда среднезернистые породы, в которых на темном зеленоватом фоне, большей частью не расчленимом глазом, видны белые или чаще зеленовато-белые удлиненные прямоугольнички, брусочки плаггиоклазов.

Фонолиты - породы с серой или серой с буроватым оттенком основной массой, в которой можно заметить в лупу округлые или толстопрямоугольные разрезы соответственно изометричных лейцитов или толстотаблитчатых нефелинов.

Пикриты и авгититы черные или зеленовато-черные породы с большим удельным весом.

В большинстве случаев эмпирическое правило "Чем светлее, тем кислее" для эффузивных пород является главным способом предварительной диагностики. Что касается жильных пород, то среди них легко определяются пегматиты, имеющие крупное зерно и бросающиеся в глаза письменную или пегматитовую структуру. С пегматитами часто бывают связаны полезные ископаемые (драгоценные камни, слюда, редкоземельные минералы и пр.), и поэтому необходимо следить за составом этих пород. Особенно распространены гранитные пегматиты, состоящие из кварца и калиевого полевого шпата, находящихся во взаимном прорастании. Вообще же пегматитами часто называют крупно- и гигантозернистые породы, образующие обыкновенно неправильные пятна среди своих интрузивных аналогов или пересекающие последние в виде жил, часто неправильных, например, сиенит-пегматит, габбро-пегматит и т.д.

Так же связаны со своими аналогами и аплиты, мелкозернистые сахаровидные по структуре породы, лишенные или почти лишенные вкрапленников. От своих интрузивных аналогов, пересекаемых ими в виде жил, аплиты отличаются, кроме мелкой структуры, гораздо меньшим содержанием темноцветных

компонентов, так что гранит- и сиенит-аплиты почти лишены темноцветных минералов, габбро-аплиты содержат их в два-три раза меньше, чем само габбро, и т.п. В связи с мелкозернистостью аплитов часто возникают большие затруднения при их полевом определении.

Лампрофиры представляют собой антиподы аплитов, будучи, наоборот, сильно обогащены темноцветными компонентами – биотитом, амфиболом или пироксеном, по сравнению со своими интрузивными аналогами. Породы эти, так же как аплиты, мелкозернисты, почти без вкрапленников. Это породы красно-, темно- или черно-бурые, иногда черные, часто зеленые, с различной густоты и оттенков окраской.

В табл. 1.11 сведены классификационные характеристики и распространение магматических горных пород.

Таблица 1.11

Распространение магматических горных пород

| Содержание SiO ₂ | Группа пород | Ряд щелочности | Кол-во кварца, % | Цветное число, % | Интрузивные породы. Структуры полнокристаллические | Эффузивные породы. Структуры порфировые | | Жильные породы | Главные и второстепенные (в скобках) минералы (в некоторых разностях указанные второстепен. минералы могут быть главными) |
|-----------------------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------|--|---|--------------------------------|---|---|
| | | | | | | кайнотипные (молодые) | палеотипные (древние) | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 75-67 | Кислая | нормальный и щелочной | до 50 | 5 | граниты | липариты, пемзы, стекла (обсидиан) | кварцевые порфиры | Жильные граниты, аплиты, пегматиты, гранит-порфиры; | кварц, калиевый полевой шпат, кислый плагиоклаз (слюды, амфиболы) |
| 67-52 | Средняя | нормальный | < 5 (до 0) | 20 | диориты | андезиты, пемзы, стекла (обсидиан) | адезитовые порфириты | диорит-порфиры, кварц | средний плагиоклаз, роговая обманка (кварц, калиевый полевой шпат, слюды) |
| | | щелочной | нет | 20 | сиениты | трахиты, стекла (обсидиан) | ортофиры | | |
| | | | нет | до 50 | нефелиновые сиениты | <u>крайне редки</u> фонолиты, финолитовые и лейцитовые порфиры | | щелочные жильные породы | калиевый полевой шпат, нефелин, лейцит, кислый плагиоклаз, слюды, щелочные амфиболы и пироксены |
| 52-40 | основная | нормальный и щелочной | нет | до 50 | габбро | базальты, стекла | базальтовые порфириты, диабазы | крайне редки | основной плагиоклаз, пироксены (слюды, амфиболы, оливин, магнетит) |
| менее 40 | ультраосновная | | | до 100 | <u>дуниты</u> перидотиты | крайне редки | | <u>оливин</u> оливин и пироксены | |
| | | | | | пироксениты | пикриты | пикритовые порфириты | крайне редки | Пироксены |

Описание основных магматических пород

Интрузивные породы.

Гранит (лат. granum - зерно) (рис. 1.90).

Кислотность. SiO_2 67-75 % - кислая порода.

Химический состав. Кварц, калиевые полевые шпаты, кислые плагиоклазы, примеси слюды, реже роговой обманки, авгита. Иногда встречается эпидот, турмалин и гранаты.

Цвет. Розовый, красноватый, светло-серый, желтоватый и др.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, средне- и крупнозернистая.

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 2,7.

Форма залегания. Залегают чаще всего в форме батолитов, штоков, реже образуют, дайки, лакколиты и жилы.

Отдельность. Характерна пластовая матрацевидная, столбчатая и параллелепипедная отдельности.

Месторождения. Россия, Украина, Беларусь (Микашевичи) и др.

Генезис. Интрузивная (плутоническая) порода.

Практическое значение. Используется для внешней облицовки зданий и сооружений, а также для скульптурных работ. С гранитными телами связаны месторождения различных ценных металлов (олова, вольфрама, молибдена, свинца, цинка и др.).

Разновидности. **Р а п а к и в и** (фин. - гнилой камень) - крупно-зернистые биотитороговообманковые граниты с крупными кристаллами ортоклаза (рис. 61). **Г р а н и т - п о р ф и р** - когда на фоне основной мелкозернистой массы гранита выделяются отдельные крупные кристаллы полевых шпатов. **Ч а р н о к и** - гиперстеновый гранит, часто встречается среди гранитов докембрийского возраста. **А л я с к и т** - характерно высокое содержание калиевых полевых шпатов, превышающее содержание плагиоклаза; практически отсутствуют темноцветные минералы, а если и встречается биотит, содержание его всегда, ниже 5 %; кварц составляет 35–40 % объема породы. **Г р а н о д и о р и т ы** - отличаются от гранитов тем, что плагиоклаз представлен не олигоклазом, а андезином, который всегда преобладает над калиевым полевым шпатом; кварц составляет порядка 20 %; из темноцветных минералов наряду с биотитом присутствует роговая обманка. **Т о н а л и т ы** - отличаются от гранодиоритов тем, что калиевый полевой шпат в них либо отсутствует, либо является второстепенным минералом. В их составе присутствует андезин, роговая обманка, реже биотит и кварц, составляющий 25–30 % объема пород. **П л а г и о г р а н и т ы** - в отличие от гранита практически не содержат калиевые полевые шпаты; в их состав входит кислый плагиоклаз, кварц, роговая обманка.

Диагностика. В отличие от схожего сиенита содержит кварц.



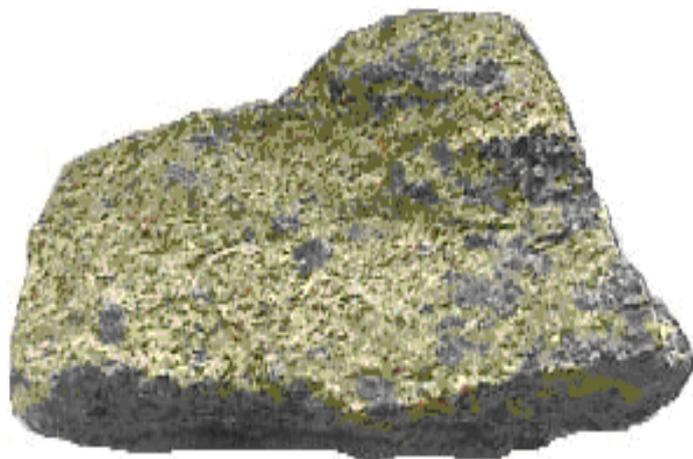
Рис. 1.90. Гранит



Рис.1.91.Рапакиви

Сиенит (от Syene– Сиена, греческое название древнеегипетского города Сун, ныне Асуан) (рис. 1.92, а, б).

а



б

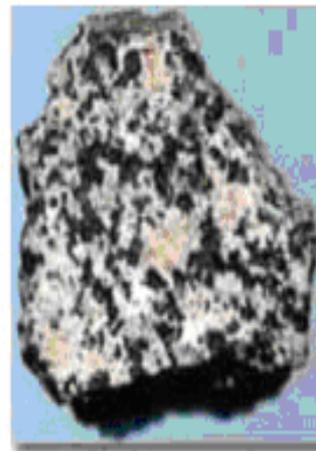


Рис. 1.92. Сиениты а, б

Кислотность. SiO_2 52-67 % - средняя порода.

Химический состав. Калиевый полевой шпат, плагиоклаз, с примесью цветных минералов: роговой обманки, биотита, пироксена, изредка оливина. В отличие от гранита практически не содержит кварца (менее 5 %). В зависимости от содержания цветных минералов сиениты называют роговообманковыми, слюдяными, кварцевыми и др. В химическом отношении сиениты характеризуются содержанием кремнезёма от 52 до 67 %, а по содержанию щелочей разделяются на нормальные и щелочные. В нормальных сиенитах плагиоклазы представлены олигоклазом и андезином; в щелочных присутствуют калиевые полевые шпаты, реже - альбит.

Цвет. Светлоокрашенные породы, сероватые и розоватые.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, иногда порфировидная, мелко- и среднезернистая.

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 2,6.

Форма залегания. Дайки, штоки.

Отдельность. Пластовая или параллелепипедальная.

Месторождения. Украина (Волынская область), Урал, Казахстан, Кавказ, Средняя Азия, США, Канада, Германия, Норвегия и др.

Генезис. Интрузивная (плутоническая) порода.

Практическое значение. Строительный материал.

Разновидности. При содержании кварца более 5% порода называется кварцевым сиенитом. Сиениты, содержащие щелочные пироксены и амфиболы, выделяются как щелочные сиениты, а фельдшпатоиды как фельдшпатоидные сиениты.

Диагностика. В отличие от гранита «не блестит», так как практически не содержит кварца.

Диорит (франц. diorite, греч. diorízo– разграничиваю, различаю) (рис. 1.93).

Кислотность. SiO_2 52-67 % - средняя порода.

Химический состав. Плагиоклаз (андезин или олигоклаз), роговая обманка, реже авгит и биотит, иногда присутствует кварц. Второстепенные минералы представлены титанитом, апатитом и магнетитом.



Рис.1.93. Диориты

Цвет. Обычно тёмно-зеленый или коричнево-зеленый.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, среднезернистая.

Текстура. Массивная.

Удельный вес – 2,7–2,9.

Форма залегания. Штоки, жилы, лакколиты и др. интрузивные массивы.

Отдельность. Пластовая, параллелепipedальная.

Месторождения. Северная Америка (Кордильеры). Распространен в Великобритании, Центральной Азии (Казахстан), России (Урал) и других районах мира.

Генезис. Интрузивная порода.

Практическое значение. Служит строительным материалом, используется для облицовки зданий, изготовления ваз, столешниц, постаментов и т.д. В Древнем Египте и древней Месопотамии использовался и как скульптурный материал (см. рис. 54). В связи с диоритами часто развиваются золотоносные кварцевые жилы.

Разновидности. Различают разновидности: кварцевые, бескварцевые, роговообманковые, авгитовые и биотитовые.

Диагностика. Окраска диорита более светлая, чем у габбро, иногда имеют совершенно лейкократовый облик.

Габбро (итал. gabbro) (рис. 1.94).

Кислотность. SiO_2 45–52 % – основная порода.

Химический состав. Плаггиоклаз, моноклинный пироксен, а в качестве аксессуарных присутствуют апатит, ильменит, магнетит, иногда хромит.

Цвет. Чёрная, тёмно-зелёная, иногда пятнистая порода.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, крупно- и среднезернистая.

Текстура. Массивная, иногда пятнистая, полосчатая.

Удельный вес. 2,9-3,1.

Форма залегания. Крупные лакколиты, лополиты, дайки, штоки.

Отдельность. Пластовая, параллелепipedальная.

Генезис. Интрузивная порода.



Рис. 1.94. Габбро

Месторождения. Распространены в различных районах Великобритании, в Северной Америке и вдоль побережья п-ова Лабрадор (Канада), в ЮАР, Франции, Шотландии (Великобритания) и др.; крупные массивы габбро известны на Урале, Украине, Кольском полуострове, в Закавказье и др.

Практическое значение. Габбро иногда содержат скопления рудных минералов и в этих случаях могут использоваться как руды меди, никеля и титана. Часто применяются в качестве строительного и облицовочного камня высокой прочности, для наружной и внутренней облицовки, преимущественно в виде полированных плит и для приготовления щебня и дорожного камня.

Разновидности. Анортозиты - лишены темноцветных минералов, нориты - состоят из плаггиоклаза и ромбических пироксенов, троктолиты - состоят из плаггиоклаза и оливина. Если в габбро вместе с пироксеном присутствует оливин, порода носит название оливиновые габбро. Богатые плаггиоклазом (85-90 %) габбро выделяются под названием плаггиоклазитов.

Диагностика. Более темная порода по сравнению с диоритом.

Лабрадорит (назван по месту первой находки - на п-ове Лабрадор в Северной Америке) (рис. 1.95).

Кислотность. SiO_2 , 45-52 % - основная порода.

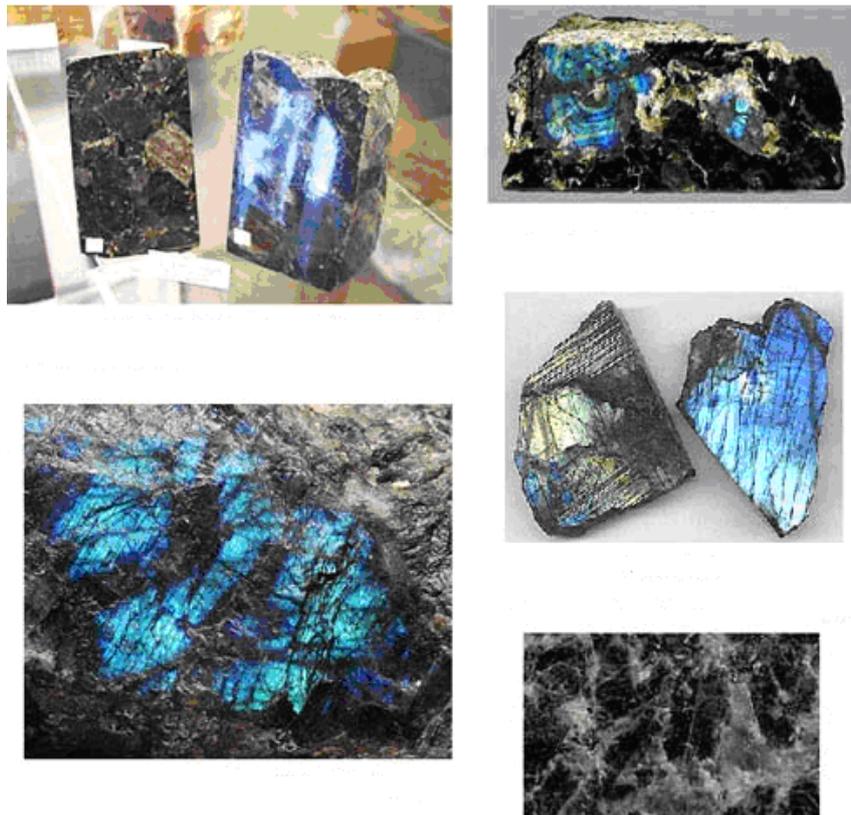


Рис. 1.95. Лабродориты

Химический состав. Состоит преимущественно из плагиоклаза - лабрадора с незначительной примесью (не более 5-7 %) пироксенов и рудных минералов.

Цвет. Обычно серый, коричневатый или почти черный. Но встречаются и светлые разновидности.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, крупнозернистая.

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 2,7.

Форма залегания. Лакколиты, лополиты, дайки, штоки.

Отдельность. Пластовая, параллелепipedальная.

Генезис. Интрузивная порода.

Месторождения. Один из наиболее распространенных минералов группы плагиоклазов, встречается в изверженных породах основного состава (анортозитах, габбро и др.). Распространен в горах Адирондак и Уичито (США). Крупные массивы лабрадорита имеются в Канаде (п-ов Лабрадор), Финляндии, в Украине.

Практическое значение. Применяется как высококачественный облицовочный камень в основном в монументальной архитектуре, хотя некоторые образцы с яркой голубой и зеленой иризацией используются как декоративно-поделочные камни.

Разновидности. Является разновидностью габбро.

Диагностика. Синий отлив на гранях слагающих кристаллов.

Дунит (назван по имени горы Дун (Dun) в Новой Зеландии) (рис.1.96).

Кислотность. $\text{SiO}_2 < 45\%$ - ультраосновная порода.

Химический состав. Почти мономинеральная оливиновая порода. В виде второстепенных примесей встречается хромит или магнетит, иногда платина. Случайные минералы - гранат, корунд. Почти всегда присутствует серпентин.

Цвет. Чёрный, тёмно- или светло-зелёный.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, среднезернистая.

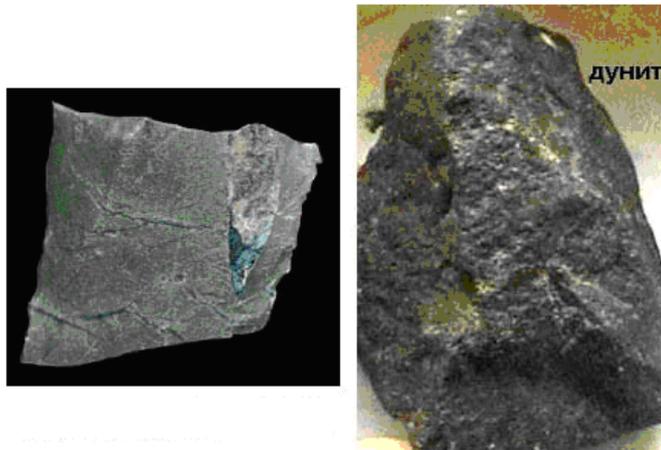


Рис. 1.96. Дуниты

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 3–3,25.

Форма залегания. Штоки.

Отдельность. Пластовая, параллелепipedальная.

Генезис. Интрузивная порода.

Месторождения. Урал, Кавказ, Англия, Южная Африка и др.

Практическое значение. Иногда содержат хромит и платину в промышленных масштабах.

Разновидности. Хромитовые дуниты – богатые хромитом дуниты. Сидеронитовый дунит – дунит с магнетитом.

Диагностика. Тёмно-зелёная окраска, связанная с большим количеством оливина.

Перидотит (от франц. Péridot- перидот, или оливин) (рис. 1.97).

Кислотность. $\text{SiO}_2 < 45\%$ - ультраосновная порода.

Химический состав. Состоит главным образом из оливина (70-30 %) и пироксенов (30-70 %), иногда с роговой обманкой. В виде второстепенных минералов встречаются: магнетит, ильменит, пирротин, хромит, шпинель, гранат и др.; иногда перидотиты содержат платину и некоторые никелевые минералы.



Рис. 1.97. Перидотит

Цвет. Порода тёмной окраски, чаще всего зелёного или зеленовато-серого цвета.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая.

Текстура. Массивная, часто афанитовая (плотная).

Удельный вес – 3,2.

Форма залегания. Штоки.

Отдельность. Пластовая, параллелепipedальная.

Генезис. Интрузивная порода.

Месторождения. Северная Шотландия и др.

Практическое значение. Перидотит в ассоциации с другими ультраосновными и основными породами образуют протяженные пояса и зоны, к которым приурочены месторождения хромита, платиновых и силикатных никелевых руд, хризотил-асбеста, талька и др. полезных ископаемых.

Разновидности. Перидотит с ромбическим пироксеном называется гарцбургитом (саксонитом), с моноклинным – верлитом; с моноклинным и ромбическим одновременно вебстеритом (лерцолитом).

Диагностика. Темно-зеленая окраска.

Пироксенит (от франц. *Péridot*- перидот, или оливин) (рис. 1.98 а,б).

Кислотность. $\text{SiO}_2 < 45\%$ - ультраосновная порода.

Химический состав. Пироксен, роговая обманка, из аксессуарных минералов присутствует оливин, биотит, магнетит, ильменит, иногда хромит.

Цвет. Тёмные, зеленовато-серые, иногда с буроватым оттенком, черные.

Структура. Полнокристаллическая, равномерно кристаллическая, средне- и крупнозернистая.

Текстура. Массивная, часто афанитовая (плотная), иногда порфировидная.

Удельный вес - 3,1-3,25.

Форма залегания. Небольшие массивы.

Отдельность. Пластовая, параллелепипедальная.

Генезис. Интрузивная порода.

Месторождения. Шотландия.

Практическое значение. К пироксенитам приурочены месторождения сульфидных руд, никеля.

Разновидности. **К о с ь в и т ы** – пироксениты, состоящие из моноклинного пироксена со значительной примесью магнетита.

Диагностика. По сравнению с перидотитами и дунитами более тёмно окрашены (почти чёрные), имеют более крупнокристаллическое строение.

а

б



Рис. 1.98. Пироксениты(а и б)

Эффузивные породы.

Кайнотипные (неизменённые).

Липарит (итал. *Lipari*- Липарские острова, где он впервые был обнаружен) (рис. 1.99).

Кислотность. SiO_2 67-75 % - кислая порода.

Химический состав. Вулканическое стекло, полевые шпаты. Кварц встречается и реже и практически незаметен. Из темноцветных минералов встречаются блестящие листочки биотита, реже удлинённые или игольчатые кристаллы роговой обманки. Тонкозернистый аналог гранита.

Цвет. Светлые, почти белые.

Структура. Порфировая или стекловатая.

Текстура. Стекловатая или порфировая.

Удельный вес 2,3-2,4.

Форма залегания. Встречается в виде лавовых потоков, вулканических куполов, пепловых накоплений.

Отдельность.

Генезис. Эффузивный аналог гранита. Кайнотипная порода.

Месторождения. Во всех вулканических областях мира.

Практическое значение. Используется для покрытия дорог и для строительных целей.

Разновидности. Р и о л и т ы (греч. *Rhúax*- поток, лава и *líthos*- камень), кайнотипная эффузивная горная порода, богатая кремнезёмом (68-77 %); обладает порфировой структурой, содержит вкрапленники кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, реже биотита или пироксена, погруженные в стекловатую основную массу обычно флюидальной текстуры (рис. 1.100). О б с и д и а н - стекловатая (почти без вкрапленников) разновидность липарита (рис. 1.101). Они часто темного, бурого, коричневого и черного цвета. П е р л и т ы - скорлуповатые разновидности обсидианов. П е м з ы - светлые, очень пористые, легкие кислые излившиеся породы (рис. 1.102). Пемзы - продукт подводных излияний. П е х ш т е й н ы - чёрные, красные, бурые, зеленоватые, иногда желтоватые, реже белые вулканические стёкла со смоляным блеском.

Диагностика. Неровный, шероховатый излом.

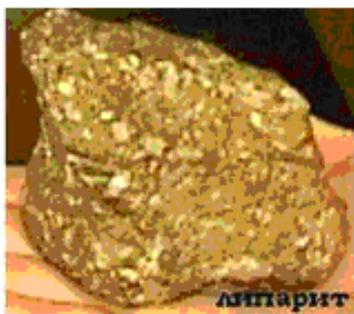


Рис. 1.99. Липарит



Рис. 1.100. Риолит



Рис. 1.101. Обсидиан

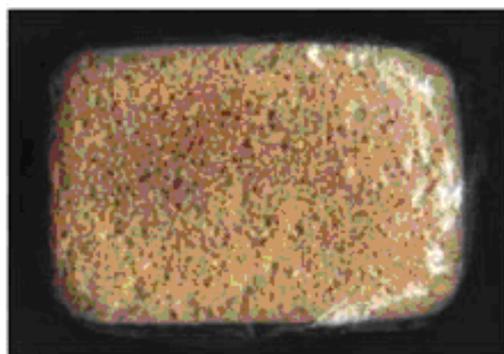


Рис. 1.102. Пемза

Трахит (греч. *trachys* шероховатый, неровный) (рис. 1.103; 1.104).

Кислотность. SiO_2 52-65 % - средняя порода.

Химический состав. Главным компонентом является калиевый полевой шпат, преобладающий над кислым плагиоклазом; из темноцветных минералов присутствуют в небольшом количестве биотит, а также амфибол и пироксен. Вкрапленники представлены стекловидным санидином, менее кислым плагиоклазом, из темноцветных биотитом и амфиболом.

Цвет. Серовато-белый, серый, розоватый, желтоватый или коричневатый.

Структура. Порфировая, скрытокристаллическая.

Текстура. Полосчатая, пористая, флюидальная

Удельный вес. 2,5.

Форма залегания. Потоки, купола, щитовидные вулканы, небольшие гипабиссальные интрузии и дайки.

Отдельность. Столбчатая.

Генезис. Эффузивный аналог сиенита. Неизменённая (кайнотипная) порода.

Месторождения. Беларусь, Чехия, Франция, Северная Италия, Армения, Кавказ и др.

Практическое значение. Красиво окрашенный трахит является декоративным и поделочным камнем.

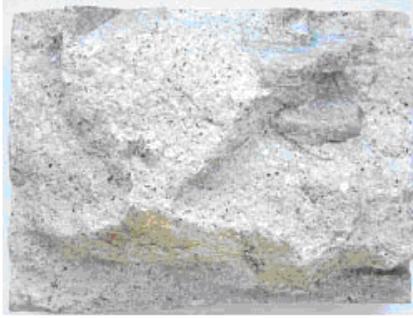


Рис. 1.103. Трахит



Рис. 1.104. Золото по трещинам трахите

Разновидности. Породы, переходные между липаритами и трахитами называются трахилипаритами.

Диагностика. Макроскопически очень похожи на липариты, но отличаются от них по отсутствию порфировых выделений кварца. Имеют шероховатый излом.

Андезит (от названия горной системы Анды Andes в Южной Америке) (рис.1.105; 1.106; 1.107).

Кислотность. SiO_2 52-65 % - средняя порода.

Химический состав. Плагиоклаз, вкрапленники полевых шпатов, роговой обманки, биотита

Цвет. Тёмно-серый или почти чёрный.

Структура. Неполнокристаллическая (порфировая), мелкозернистая.

Текстура. Плотная или пористая, флюидальная.

Удельный вес - 2,5.

Форма залегания. Потоки, купола.

Отдельность. Столбчатая.



Рис. 1.105. Андезит

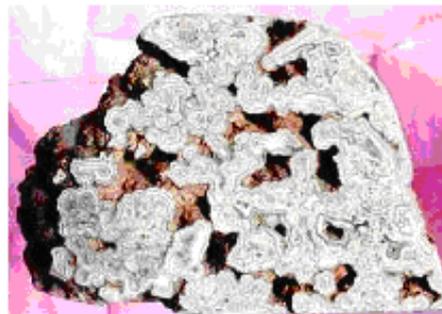


Рис. 1.106. Гидротермально измененный андезит с новообразованиями халцедона и хлорита

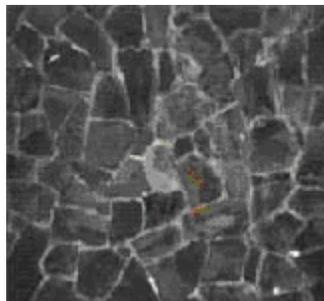


Рис. 1.107. Андезит природный осколочный

Генезис. Эффузивный аналог диорита. Кайнотипная (неизменённая) порода.

Месторождения. Кавказ (Армения), Камчатка, Курильские острова, Украина, Грузия, Средняя Азия.

Практическое значение. Строительный и кислотоупорный материал.

Разновидности. По составу темноцветных минералов во вкрапленниках различают авгитовые, гиперстеновые, роговообманковые и биотитовые андезиты.

Диагностика. В свежем изломе андезиты менее шероховаты, чем трахиты и обладают занозистой поверхностью.

Базальт (лат. basaltēs, basanites, от греч. Basanos - пробный камень; по другой версии, - от эфиоп. Basal - железосодержащий камень) (рис. 1.108 -1.111).



Рис. 1.108. Базальт



Рис. 1.109. Базальт

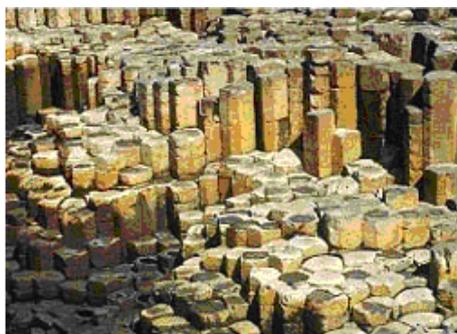


Рис.1.110. Выходы базальта в Бушмипсе
(Северная Ирландия)
Побережье Татарского пролива



Рис. 1.111. Базальт. Канатная лава.
Неоген (плиоцен).

Кислотность. SiO_2 45-52 % - основная порода.

Химический состав. Представляет собой смесь плагиоклаза (лабрадор, битовнит), пироксена и железисто-магнезиальных минералов (главным образом авгита). Иногда присутствует оливин в значительном количестве. Базальты часто пористые; поры заполнены халцедоном, агатом, хлоритом, кальцитом и особенно цеолитами.

Цвет. Чёрный, тёмно-серый.

Структура. Порфирировая или афировая.

Текстура. Флюидальная, пузыристая, пористая, миндалекаменная.

Удельный вес - 2,7-2,8.

Форма залегания. Покровы, потоки, нежки, дайки, силлы, купола, траппы и др.

Отдельность. Пластовая, столбчатая, шаровая, призматическая.

Генезис. Эффузивная, кайнотипная порода.

Месторождения. Западная Шотландия, Исландия, Ирландия, Гренландия, Камчатка, Курилы, Сицилия и др.

Практическое значение. С базальтами связан исландский шпат – ценное оптическое сырьё, месторождения меди, никеля, платины. Высокая прочность базальта позволяет использовать его как строительный и облицовочный материал; в качестве сырья для каменного (базальтового) литья, в виде щебня – как железнодорожный балласт, в виде щебня и брусчатки – в дорожном строительстве. Базальтовые столбы находят применение в портовых сооружениях.

Разновидности. Д о л е р и т ы (греч. «долерос» – обманчивый) – базальты с долеритовой (полнокристаллической) структурой. Г и а л о б а з а л ь т ы – разновидности базальтов с большим количеством вулканического стекла в основной массе. По минеральному и химическому составу среди базальтов различают о л и в и н о в ы е – обогащены вкрапленниками оливина (до 40 % массы пород) и недонасыщенные кремнекислотой и т о л е и т о в ы е (греч. «толос» – ил, грязь) базальты, отличающиеся повышенным содержанием кремнекислоты. Характерной особенностью толеи-

товых базальтов является наличие кварца и часто щелочного полевого шпата; во вкрапленниках содержатся оливины.

Диагностика. Цвет, вещественный состав вкрапленников, шероховатый излом, иногда видны поры.

Палеотипные(изменённые).

Кварцевый порфир (порфир – от греч. porphýreos– пурпурный, называется по цвету одной из разновидностей порфира) (рис.1.112-1.114).

Кислотность. SiO₂ 65-75 % – кислая порода.

Химический состав. Полевошпатово-кварцевая основная масса, частично замещённая вторичными минералами, и порфировыми включениями (в основном кварца, ортоклаза, часто с примесями плагиоклаза, биотита, роговой обманки, авгита).

Цвет. Розово- или красно-серый до тёмно-серого, иногда с зеленоватым оттенком.



Рис. 1.112. Порфировая ваза. Летний сад

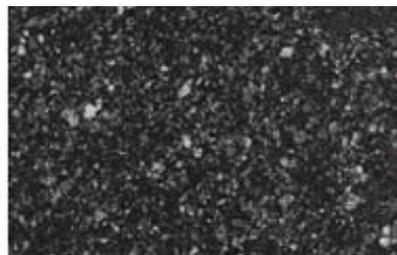
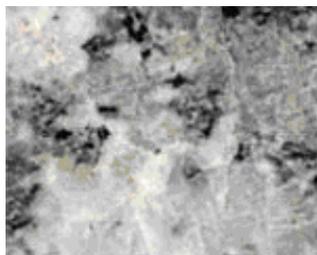


Рис. 1.113. Кварцевый порфир Рис. 1.114. Кварцевый порфир

Структура. Порфировая.

Текстура. Массивная или флюидальная.

Удельный вес - 2,3-2,4.

Форма залегания. Потоки, покровы, купола, реже дайки и лакколиты, жилы и небольшие штоки. Иногда выполняют кальдеры или образуют лавовые озёра.

Отдельность. Столбчатая.

Генезис. Эффузивная, палеотипная (изменённая).

Месторождения. Чехия, Новая Зеландия, Северная Америка, Япония, Казахстан, Средняя Азия, Алтай и др.

Практическое значение. Строительный материал. Туфы, обсидианы и пемзы липаритового состава употребляются как гидравлические добавки к цементу.

Разновидности. **Фельзиты** - без вкрапленников, с афировой структурой. **Кварцевые альбитофиты** - породы, содержащие исключительно альбит. Встречаются туфы, обсидианы и пемзы липаритового состава.

Диагностика. В отличие от липаритов значительно выветрены, они более плотные, обладают матовым изломом.

Полевошпатовый порфир (порфир - от греч. Porphýreos- пурпурный, называется по цвету одной из разновидностей порфира) (рис. 1.115).

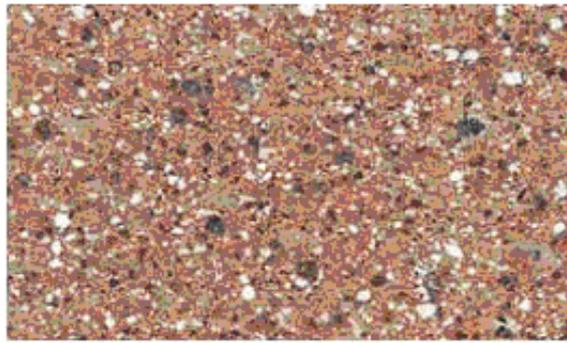


Рис. 1.115. Полевошпатовый порфир

Кислотность. SiO_2 52–65 % – средняя порода.

Химический состав. Полевой шпат; стекло не содержится, или содержится в ничтожном количестве; биотит, амфибол, пироксен, каолинит, серицит и др.

Цвет. Тёмный, буроватый, светло-серый.

Структура. Порфировая.

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 2,5-2,6.

Форма залегания. Купола, потоки.

Отдельность. Столбчатая.

Генезис. Эффузивная, палеотипная (изменённая).

Месторождения. Сибирь, Восточная Фергана, Алдан, Кавказ, Урал, Казахстан, Алтай и др.

Практическое значение. Строительный материал.

Разновидности. О р т о ф и р ы – матовые, желтоватые или красноватые; вкрапленники состоят из мутного ортоклаза; тёмные минералы в значительной степени разрушены.

Диагностика. В отличие от трахитов значительно выветрены.

Порфирит (порфир - от греч. porphýreos– пурпурный, называется по цвету одной из разновидностей порфира) (рис. 1.116-1.118).

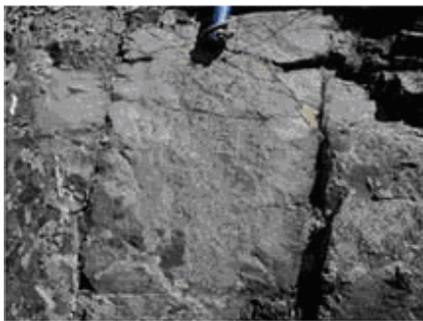


Рис.1.116. Дайки низкотитанистых порфиритов

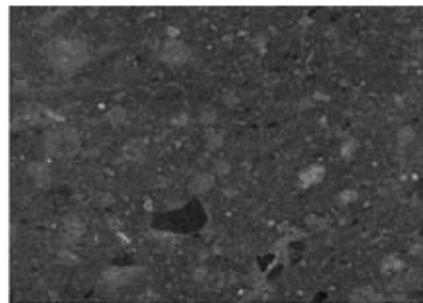


Рис. 1.117. Порфирит



Рис. 1.118. Порфирит

Кислотность. SiO_2 52-65 %- средняя порода.

Химический состав. Плагиоклаз, вкрапленники полевого шпата; биотит, роговая обманка, пироксен; изредка встречаются вкрапленники оливина. По составу подразделяются на три семейства: диоритовые, диабазовые и габбропорфириты.

Цвет. В зависимости от степени изменения основной массы бывают серовато-зелёного и темноокрашенные порфириты, обычно тёмно-бурого цвета.

Структура. Порфировая.

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 2,5-2,6.

Форма залегания. Купола, потоки.

Отдельность. Столбчатая, плитчатая.

Генезис. Эффузивная, палеотипная (изменённая).

Месторождения. Сибирь, Восточная Фергана, Алдан, Кавказ, Урал, Казахстан, Алтай и др.

Практическое значение. Строительный материал.

Разновидности. О р т о ф и р ы - матовые, желтоватые или красноватые; вкрапленники состоят из мутного ортоклаза; тёмные минералы в значительной степени разрушены.

Диагностика. В отличие от трахитов значительно выветрены.

Диабаз(франц. diabase) (рис.1.118 –1.121).

Кислотность. SiO_2 45-52 % - основная порода.

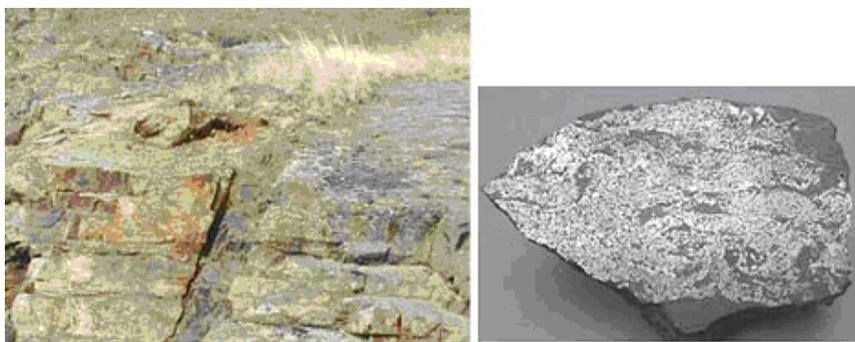


Рис. 1.118. Дайковый комплекс диабазов и риолитов

Рис. 1.119. Железо в диабазе

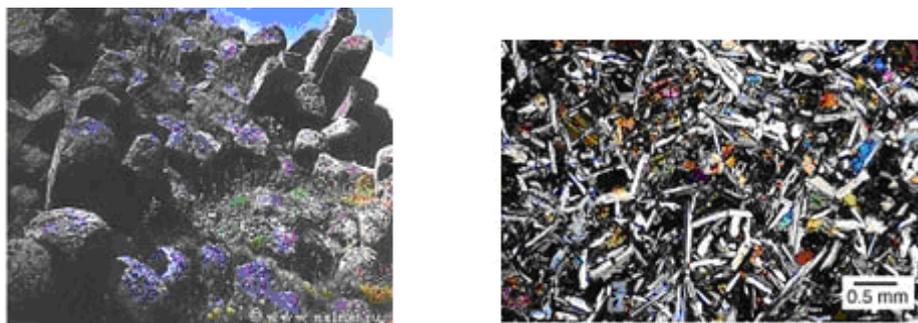


Рис. 1.120. Диабазы. Кавказ

Рис. 1.121. Шлиф диабазы.

Южная Калифорния

Химический состав. Плагиоклаз (чаще всего лабрадор), пироксен, оливин. Акцессорные минералы - магнетит, ильменит, апатит, иногда биотит и роговые обманки. Иногда присутствует кварц

Цвет. Тёмно-зелёный, зеленовато-серый

Структура. Скрытокристаллическая, мелко- и среднезернистая

Текстура. Массивная, плотная.

Удельный вес - 2,7.

Форма залегания. Жилы, дайки, покровы, силлы.

Отдельность. Столбчатая, шаровая.

Генезис. Эффузивная, палеотипная (изменённая).

Месторождения. Распространены очень широко. Кавказ, Армения, Карелия, Закавказье, Украина, Урал и др.

Практическое значение. Строительный материал.

Разновидности. Спилиты - образуются в результате подводных морских излияний. Конгадиабаз (кварцевый диабаз) - диабаз с кварцем. Долериты - диабазы, в которых присутствуют продукты разрушения. Пикрит-базальты (океаниты) оливин-вые базальты и переходные к перидотитам породы. При наличии вкрапленников диабазы называются диабазовыми порфиритами.

Диагностика. Цвет, структура.

Гипабиссальные (жильные) породы.

Пегматит (еврейский камень, письменный гранит) (греч. *Pégmatos*- скрепление, связь) (рис. 1.122-1.126).

Кислотность. $\text{SiO}_2 > 75\%$ - ультракислая порода.

Химический состав. Полевые шпаты, чаще всего калиевые, кварц, слюда. Характерно присутствие берилла, турмалина.

Цвет. Розовый, красноватый, светло-серый, желтоватый и др.

Структура. Полнокристаллическая, крупнозернистая. В пегматитах часто развиваются своеобразные структуры закономерного прорастания полевого шпата правильно ориентированными зернами кварца – пегматитовая (графическая) структура.

Текстура. Массивная.

Удельный вес - 2,5-2,7.

Форма залегания. Жилы, штоки, линзы. Размеры пегматитовых жил сильно варьируют и могут достигать нескольких километров в длину при нескольких метрах по мощности.

Отдельность. Пластовая.

Генезис. Гипабиссальные, преимущественно жильные породы.



Рис.1.122. Пегматит



Рис. 1.123. Пегматит



Рис. 1.124. Пегматит



Рис. 1.125. Мусковит в пегматитах



Рис. 1.126. Пегматитовая порода с включениями ловозерита и эвдиолита

Месторождения. Бразилия (Минас-Жерайс), Норвегия (Гитерё близ Арендаля, Крагерё в Телемарке), Швеция (Иттерби). Карелия и др.

Практическое значение. Пегматиты являются основным источником полевых шпатов для керамической и стекольной промышленности, слюды и пьезокварца – для электротехнической промышленности, а также драгоценных камней. В них содержатся редкометалльные и редкоземельные минералы (сподумен, берилл, колумбит, танталит, лепидолит, касситерит, и др.).

Разновидности. Г р а н и т - п е г м а т и т ы -связаны с гранитной магмой.

Диагностика. Цвет, структура.

Применение таблиц - определителей.

Для определения магматических пород часто применяются таблицы – определители (табл. 1.12).

В качестве примера использования такой таблицы рассмотрим определение образца серой породы с крупными светлыми коричневато-желтыми пятнами.

В породе ясно различимы кристаллические зерна размером в поперечнике в среднем до 3 мм и более крупные, длиной до 1,5 см. Из этого следует, что структура породы полнокристаллическая среднезернистая порфириовидная, текстура массивная, а порода является интрузивной (если бы кристаллических зерен не было видно, а структура была порфировой или афировой, то породу следовало отнести к эффузивной или жильной).

Серый цвет обусловлен развитием серых зерен плагиоклаза и кварца, составляющих примерно до 30 % объема породы. Крупные светлые коричневато-желтые зерна, количество которых также достаточно велико ($\approx 30\%$), представлены калиевым полевым шпатом. В породе присутствует немного мелких чешуйчатых зерен черного биотита и очень мелких изометричных или неправильной формы зерен магнетита; по их количеству можно установить, что цветное число породы около 5.

Наличия кварца дает возможность отнести породу к кислой или в крайнем случае средней группе по содержанию кремнезема. Так как количество кварца велико и в породе содержится калиевый полевой шпат, она попадает в группу кислых и однозначно определяется как биотитовый гранит.

Другой пример: темно-серая с зеленым оттенком, однородная без видимой общей зернистости порода с отдельными вкраплениями крупных темно-серых и черных кристаллических зерен. Структура ее порфириовая, текстура – массивная; на этом основании порода может быть отнесена к эффузивной (или жильной).

Отсутствие кварца и калиевого полевого шпата во вкрапленниках исключает кислый состав породы. Он может быть средний (но не щелочной, так как порода не содержит калиевого полевого шпата) или основной. Большое цветное число (во вкрапленниках пироксен составляет около 20% объема породы, и кроме того, он, несомненно, содержится в темноокрашенной основной массе) и темно-серый, по видимому, основной плагиоклаз вкрапленников позволяет считать породу основной.

Таким образом, учитывая зеленый оттенок основной массы (признак развития вторичных минералов), породу следует назвать базальтовым порфиритом.

Определитель магматических горных пород

| № пп | Цвет | Кол-во темноцветн. минералов, % | Химический состав | Структура | Текстура | Минеральный состав | Плотность | Название породы и хозяйственное использование |
|-----------------------|---|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. Интрузивные | | | | | | | | |
| 1 | серый, розовый, красный | 5 | кислый | от мелко- до гигантокристаллической | массивная | кварц, полевой шпат, роговая обманка, слюды | 2,5-2,7 | гранит – строительство, облицовочный материал |
| 2 | белый, светло-серый, розовый, зеленоватый | менее 5 | кислый | от средне- до гигантокристаллической | пегматитовая, массивная | кварц, полевой шпат, слюды | 2,3-2,5 | пегматит – содержит берилл, изумруд, золото, топаз и др. |
| 3 | розовый, серый | 20 | средний | мелко- и среднекристаллическая | массивная | полевой шпат, роговая обманка, слюды | 2,6-2,8 | сиенит – строительство |
| 4 | серый, зеленовато-серый | До 50 | средний | среднекристаллическая | массивная | полевой шпат, авгит, биотит | 2,7-2,9 | диорит – строительство |
| 5 | серый, зеленовато-серый | До 50 | средний | средне-крупнокристаллическая | массивная | полевой шпат, кварц, авгит, биотит | 2,6-2,8 | диорит кварцевый (гранодиорит) – строительство |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 6 | темно-серый, черный | более 50 | основной | крупнокристаллическая | массивная | полевой шпат, роговая обманка, пироксен, авгит | 2,7-3,2 | габбро - облицовочный материал |
| 7 | темно-серый, синевато-серый | | основной | крупно-гигантокристаллическая | массивная | лабрадор | 2,7-3,2 | лабрадорит - облицовочный материал |
| 8 | зеленочерный, черный, оливково-серый | | основной | мелкокристаллическая | массивная | оливин, хромит, магнетит | 3,2 | дунит - строительство |
| 9 | черный | | ультраосновной | средне-крупнокристаллическая | массивная | пироксен | 3,1-3,3 | пироксенит - строительство |
| 10 | зеленовато-черный | | ультраосновной | среднекристаллическая | массивная | оливин, пироксен | 3,0-3,2 | перидотит - строительство |
| 2. Эффузивные | | | | | | | | |
| 11 | белый, светлосерый | 5 | кислый | порфировая | пятнистая, пористая | кварц, полевые шпаты, роговая обманка, слюды | 2,3-2,7 | липарит - абразив, бутовый камень |
| 12 | розовый, красный | менее 10 | кислый | порфировая | пятнистая, пористая | кварц, полевые шпаты, роговая обманка, слюды | 2,5-2,7 | кварцевый порфир - строительство |
| 13 | светлосерый, зеленовато-серый | До 15 | средний | порфировая | пятнистая, пористая | полевые шпаты, роговая обманка, слюды | 2,4-2,7 | трахит - для изготовления жерновов |
| 14 | серый, розовый | до 50 | средний | порфировая | полосчатая, пятнистая | полевой шпат, авгит, биотит | 2,6-2,8 | андезит - абразив, кислотоустойчивый материал |
| 15 | темно-серый, бурый | До 50 | средний | порфировая | пятнистая, полосчатая | полевой шпат, кварц, авгит, биотит | 2,6-2,7 | андезитовый порфирит |
| 16 | темно-серый, черный | более 50 | основной | афировая | массивная, пористая | полевые шпаты, роговая обманка, пироксен, авгит | 2,6-3,1 | базальт – строительство, каменное литье |
| 17 | темно-серый, темно-зеленый | | основной | порфировая | массивная, пятнистая | полевые шпаты, роговая обманка, пироксен, авгит | 3,0 | диабаз - строительство |
| 18 | непостоянный | | | стекловидная | пузыристая | непостоянный | 0,3-0,4 | пемза - абразив, производство пемзобетона |
| 19 | непостоянный | | | стекловидная | пузыристая | непостоянный | 1,4-2,5 | вулканический туф - строительство |
| 20 | непостоянный | | | стекловидная | массивная, флюидальная | непостоянный | 2,2-2,4 | обсидиан - подолочный камень |

1.8. Метаморфизм. Метаморфические горные породы

1.8.1. Факторы метаморфизма

[На оглавление](#)

Метаморфизм - процесс минеральных и структурно-текстурных преобразований существующих горных пород любого состава и происхождения, протекающий вследствие изменения термодинамических условий геологической среды вне зоны эпигенеза. Исходные подвергающиеся метаморфизму породы часто называют протолитом. Изменяющиеся условия - главным образом повышение температуры и(или) давления - определяют нестабильность существующих минеральных парагенезисов, стремящихся к равновесию с новыми условиями. Подчеркнём две важнейшие особенности процессов метаморфизма:

1) *протолит в ходе метаморфических изменений сохраняет твердое состояние* (т.е. преобразование пород происходит без их плавления, что отличает от магматических процессов и процессов образования мигматитов),

2) *процесс метаморфизма является субизохимическим* - валовый химический состав метаморфической породы и породы, за счёт которой она образовалась (протолита), остаются одинаковыми (незначительные его изменения сводятся к частичной потере флюидной фазы), т.е. система является односторонне открытой, теряющей, но не приобретающей вещество извне. Факторами метаморфизма, определяющими направленность и степень изменения исходных минеральных парагенезисов, являются температура, давление и наличие в породе флюидной фазы.

Температура. Повышение температуры связано с геотермическим градиентом, обуславливающим нагревание погружающихся пород, либо с воздействием внедряющихся магматических расплавов и горячих флюидов. Метаморфические трансформации начинаются при температуре около 200°C и продолжаются до плавления пород.

Давление. Основное значение при процессах метаморфизма играет литостатическое давление, обусловленное весом вышележащих пород. Литостатическое давление прямо пропорционально глубине (и, соответственно, мощности толщи вышележащих пород), градиент давления составляет от 0.26 до 0.32 кбар/км в зависимости от плотности перекрывающих пород. Одновременно с литостатическим на породы действует флюидное давление, под которым понимается давление порового и межзернового флюида в породе. В большинстве случаев принимается, что литостатическое и стрессовое давление равны. Однако при определённых условиях давление в массе пород может превышать литостатическое. Причиной тому служит тектоническое давление, связанное с деформацией пород и наиболее проявленное в зонах разломов, или возникновение «флюидного сверхдавления».

Наличие градиента давлений имеет важное значение как фактор, определяющий перемещение потоков флюидов из областей более высокого давления в области более низкого. Эти флюидные потоки являются главным переносчиком тепла и многих химических элементов.

Активность флюида. Наличие флюидной фазы в значительной степени определяет общее давление в метаморфической системе, характер деформации пород, теплоперенос, транспортировку веществ при химических реакциях. Присутствие или отсутствие флюидов определяет саму возможность метаморфических реакций: присутствие воды резко ускоряет процессы перекристаллизации минералов, кроме того, поскольку метаморфические реакции проходят в твёрдом состоянии, то именно флюид обеспечивает перенос химических компонентов от растворяющихся зёрен к образующимся. При этом важную роль имеет не только количество, но и состав флюида, влияющий на изменение P-T условий метаморфических реакций. Так при повышенной доли CO₂ во флюидной фазе начало многих метаморфических реакций смещаются в сторону более низких температур.

1.8.2. Метаморфические реакции

[На оглавление](#)

Метаморфизм – это физико-химический процесс. Главная тенденция метаморфических процессов – приведение горных пород к равновесному состоянию при изменении физико-химических условий. Как отмечено выше, изменение интенсивности влияния факторов метаморфизма приводит к тому, что минеральные ассоциации, слагающие горную породу, становятся неустойчивы (не могут существовать при таких условиях). Начинается процесс химического разложения минералов в твёрдом состоянии и, одновременно, процесс образования за счёт них новых минеральных ассо-

условий, но в реальных метаморфических системах присутствия других минеральных фаз и флюида несколько влияют на РТ-условия фазовых переходов, что необходимо учитывать (такие данные получают в ходе экспериментального моделирования процессов метаморфического минералообразования).

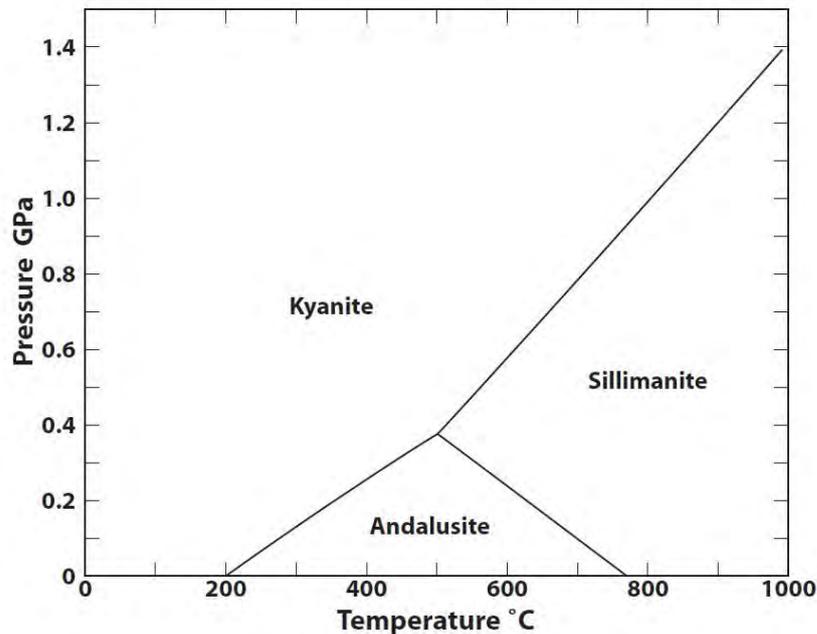


Рис.1.127. Превращения в ряду андалузит-силлиманит-кианит.

Диапазон устойчивости у разных минералов различен, вследствие чего в породе некоторое время могут сохраняться ранее образованные минералы (например, неметаморфические на начальной стадии метаморфизма).

1.8.3. Классы метаморфизма

[На оглавление](#)

В зависимости от геологической обстановки и вклада того или иного фактора метаморфизм и метаморфические породы принято разделять на несколько классов: *динамо-термальный метаморфизм* (охватывающий значительные по объемам и площади участки и называемый в силу этого также *региональным*); *контактный метаморфизм* и *дислокационный метаморфизм*.

Динамо-термальный (или региональный) метаморфизм охватывает большие объёмы пород, пространственно соизмеримые с крупными тектоническими структурами, и обусловлен одновременным воздействием температуры, вызванной эндогенным тепловым потоком, и давления. Проявления такого метаморфизма связаны тектонически активными зонами, в частности с зонами горообразования.

Породы могут оказаться в условиях повышенных температур и давлений и в случае пригибания территории вне зон проявления эндогенной активности и высоких тепловых потоков; высокая температура достигается за счёт геотермического градиента, а давление – за счёт веса вышележащих пород. Такой тип регионального метаморфизма называют метаморфизмом погружения. Изучение глубокопогружённых толщ указывает, что при таком механизме осуществляются лишь низкотемпературные метаморфические преобразования, соответствующие начальным этапам метаморфизма.

Контактный (или термальный) метаморфизм связан с воздействием теплового потока магматических расплавов и сопровождающих их флюидных потоков на вмещающие породы земной коры. Главным регулирующим фактором образования метаморфических пород является повышение температуры. Масштабы контактного воздействия на породы зависят от состава, объёмов и температуры магматического тела. Изменения пород на контактах с небольшими дайками, силлами и лавовыми потоками имеют ширину от миллиметров до нескольких метров, при этом в них не

отмечается значительного преобразования пород (иногда ограничивающегося лишь дегидратацией минералов). Вокруг крупных интрузивов ширина экзоконтактовых ореолов достигает больших масштабов - до сотен метров и километров. Наиболее мощные экзоконтактовые зоны окружают крупные гранитоидные интрузивы, что связано с насыщенностью гранитных расплавов флюидами. Отделяясь от магматического расплава, они проникают в толщи вмещающих пород, приводя к их нагреву. Степень преобразования пород экзоконтактовой зоны снижается по мере удаления от интрузива: минеральные ассоциации, состоящие из высокотемпературных минералов, располагаются вблизи интрузива, низкотемпературные ассоциации - на периферии контактовой зоны. Форма контактовых ореолов и выделяемых внутри них зон, обличающихся минеральными ассоциациями, имеют сложные очертания, что связано с различной флюидопроницаемостью толщи (максимальной в области трещин и разломов) и составом пород. В случае воздействия флюидов на породы реакции сопровождаются привнесением-выносом элементов, то есть система перестаёт быть закрытой; образующиеся минеральные породы относятся уже к классу контактово-метасоматических пород.

Таблица 1.13.

Классификация процессов метаморфизма

| Тип метаморфизма | Факторы метаморфизма |
|--------------------------------|--|
| Метаморфизм погружения | Увеличение давления, циркуляция водных растворов |
| Метаморфизм нагревания | Рост температуры |
| Метаморфизм гидратации | Взаимодействие горных пород с водными растворами |
| Дислокационный метаморфизм | Тектонические деформации |
| Импактный(ударный) метаморфизм | Падение крупных метеоритов, мощные эндогенные взрывы |

Динамический (или дислокационный) метаморфизм протекает в условиях повышенного давления при относительно низкой температуре (точнее при отсутствии избыточного по сравнению с нормальным геотермическим градиентом теплового потока). Главным регулирующим фактором образования метаморфических пород является повышение давления. Такой метаморфизм связан с зонами тектонических деформаций (смятия, разломов). Интенсивность метаморфических преобразований возрастает по мере нарастания интенсивности тектонических напряжений. В малоглубинных условиях при низких температурах горные породы ведут себя как хрупкие тела, что приводит к их дроблению на обломки разной размерности и формированию катакластических текстур. При динамическом метаморфизме глубинных пород, обладающих пластичностью, ведущим процессом является перекристаллизацией вещества в условиях градиента давлений.

Одна из современных классификаций метаморфизма, которая основана на факторах, определяющих процесс, приведена в табл.1.13.

1.8.4. Фации метаморфизма

[На оглавление](#)

Вещественным отражением степени преобразования пород в процессе метаморфизма являются минеральные парагенезисы - одновременно кристаллизующиеся минералы, стабильно сосуществующие при данных условиях метаморфизма. Изучение метаморфических парагенезисов позволило разработать учение о метаморфических фациях, основы которого заложены П. Эскола в 1920 г.

Метаморфическая фация - совокупность горных пород, претерпевших метаморфизм в близких термодинамических условиях и вследствие этого обладающих типичными для данных условий стабильными парагенезисами минералов. На границах фаций протекают минеральные преобразования, отражающие смену одних парагенезисов на другие, устойчивые в новых термодинамических условиях. Все породы с одинаковым валовым химическим составом в условиях одной фации

представлены одной и той же фации представлены одной и той же ассоциацией минералов. Это правило объясняет конвергенцию составов при метаморфизме.

В зависимости от направленности смены фаций разделяют прогрессивный и регрессивный метаморфизм. *Прогрессивный метаморфизм* протекает в условиях повышения температуры и давления и приводит к смене более низкотемпературных парагенезисов на более высокотемпературные. *Регрессивный метаморфизм*, напротив, приводит к замене высокотемпературных парагенезисов на более низкотемпературные (этот процесс называют *диафторез*). Протекание реакций регрессивной ветви метаморфизма возможно только при условии поступления в метаморфическую систему водного флюида, необходимого для гидротации минералов. Именно из-за отсутствия воды на поверхности обнажаются метаморфические комплексы, сформированные в глубинах при высоких температурах и давлениях и не утратившие минеральных ассоциаций при подъёме к поверхности. При рассмотрении подвергшихся метаморфизму пород среди них целесообразно выделять породы метаморфизованные и метаморфические.

Метаморфизованные - частично преобразованные в процессе метаморфизма горные породы, сохранившие видимые признаки своей первичной природы. К названию таких пород добавляется приставка мета- (например, метапесчаник).

Метаморфические - горные породы, сформировавшиеся в результате глубоких метаморфических преобразований, уничтоживших в процессе перекристаллизации видимые признаки первоначальных структур, текстур и минерального состава исходных пород. Глубокие метаморфические преобразования приводят к полной замене исходного минерального состава пород новыми минеральными парагенезисами. Определение первичного состава метаморфических пород требует применения специальных методик.

Формы залегания метаморфических пород. Поскольку исходным материалом метаморфических горных пород являются осадочные и магматические породы, их формы залегания должны совпадать с формами залегания этих пород. Так на основе осадочных пород сохраняется пластовая форма залегания, а на основе магматических - форма *интрузий* или покровов. Этим иногда пользуются, чтобы определить их происхождение. Так если метаморфическая порода происходит от осадочной, ей дают приставку пара- (например, парагнейсы), а если она образовалась за счёт магматической породы, то приставку орто- (например, ортогнейсы).

1.8.5. Метасоматоз. Метасоматические горные породы

[На оглавление](#)

Под **метасоматозом** понимают процесс преобразования горной породы в твёрдом состоянии, сопровождающийся частичным или полным изменением её химического и минерального состава. Как и при метаморфизме, растворение существующих минералов и образование новых происходит одновременно, благодаря чему порода сохраняет твёрдое состояние, но *в отличие от метаморфизма, при метасоматических реакциях происходит активный привнос и вынос химических элементов*. Метасоматическая система является открытой. Метасоматоз вызывается воздействием на породу (протолит) химически отличного от неё флюида, и метасоматические реакции протекают между твердой (горная порода) и жидкой или газообразной (флюид) фазами при постоянном сохранении горной породой твёрдого состояния.

Регулирующими факторами метасоматоза являются: а) температура, б) флюидное давление (зависящее от температуры), в) градиент химических потенциалов компонентов в системе порода - флюид, г) эволюция Eh и pH в потоке флюида. В высокотемпературной области метасоматоз сопряжён с процессами магмообразования; в низкотемпературной переходит в гипергенез (и прекращается в условиях замерзания воды).

В зависимости от обуславливающих метасоматоз причин его разделяют на три разновидности:

- 1) контактовый, связанный с воздействием теплового потока и флюидов магматических тел на окружающие их породы; включая процесс автосоматоза - воздействия магматогенного флюида на успевшие ранее раскристаллизоваться магматические породы;
- 2) региональный, связанный с региональным эндогенными потоками флюидов; такие потоки могут предварять и завершать магматизм, либо не иметь с ним непосредственной пространственной связи;
- 3) гипергенный, приуроченный к зоне гипергенеза-эпигенеза и связанный с химическим воздей-

ствием на породы фильтрующихся сквозь них низкотемпературных растворов; обычно гипергенно-метасоматические преобразования рассматривают как самостоятельный процесс - гипергенез.

1.8.5.1. Систематика метасоматических горных пород

[На оглавление](#)

В соответствии с названными разновидностями метасоматоза, тип метасоматических пород разделяют на три класса: контактово-метасоматические, регионально-метасоматические, гипергенно-метасоматические.

Контактово-метасоматические породы образуются в зонах внедрения магматических расплавов и обязаны своим происхождением воздействию связанных с ними флюидов на вмещающие породы. Богатые флюидами интрузивы (особенно гранитного состава) обрамляются обширными ореолами контактово-метасоматических пород. К этому классу также относятся продукты автотасоматоза - результат воздействия магматогенного флюида на успешные ранее закристаллизовавшиеся магматические породы.

Регионально-метасоматические породы формируются в тектонически активных зонах под влиянием мощных потоков флюидов, сопутствующих процессам формирования глубинных магматических очагов или вообще не имеющих непосредственной связи с магматическими очагами.

В гипергенно-метасоматический класс объединяются породы, сформированные в зоне гипергенеза, образование которых обусловлено химическим воздействием на породы фильтрующимися сквозь них водами (вне зависимости эндогенного или экзогенного происхождения). Гипергенно-метасоматические преобразования традиционно рассматриваются как самостоятельный процесс - гипергенез.

Метасоматиты каждого класса подразделяются на отряды по химическому составу пород (обусловленному, в свою очередь, кислотно-щелочными свойствами флюида, приведшего к их образованию); выделяют три отряда: *щелочные метасоматиты, кислотные метасоматиты и основные метасоматиты* (или базификаты).

1.8.6. Мигматиты и мигматитообразование

[На оглавление](#)

Мигматитом (от греч. *migma*, родительный падеж *migmatos* - смешение, смесь) называют горную породу, состоящую из метаморфического вмещающего вещества с жилками, близкими по составу к граниту. В мигматитах присутствуют в два главных компонента, создающих специфичную текстуру:

1) реликты исходной метаморфической породы (так называемая *палеосома*)

2) новообразованные в ходе магматического и (или) метасоматического процесса прожилки или линзы (*неосома*), часть из которых близка по составу граниту. По специфике своего образования метасоматиты подразделяются на три генетических класса.

Метасоматические мигматиты образуются в ходе прогрессивного кремне-щелочного или щелочного метасоматоза. В процессе фильтрации флюид в первую очередь проникает по наиболее проницаемым зонам - плоскостям сланцеватости, отдельности и пр., где и происходят максимальные химические преобразования. Образующаяся в этих зонах неосома (а при длительной интенсивной флюидной переработке и вся порода) по составу приближается к граниту. Формирование этого класса мигматитов происходит в высокотемпературных условиях (на уровне амфиболитовой или гранулитовой фаций метаморфизма) создаёт предпосылки для последующего частичного или полного плавления породы и образования гранитной магмы. Часто процесс такого образования мигматитов называют «ультраметаморфизмом» (что, однако, не рекомендуется действующим «Петрографическим кодексом России»).

Метаморфические мигматиты возникают в ходе изохимического метаморфизма. Сопровождающий метаморфические преобразования процесс дифференциации обуславливает обособление лейкократовых минералов в прослойки и жилки (*лейкосома*); остаточный материал субстрата (*рестит*), обогащается меланократовыми компонентами – возникает типичная для мигматитов контрастная полосчатость. При достижении лейкосомой «гранитного» состава в условиях амфиболитовой или гранулитовой фации возможно её плавление.

Инъекционно-магматические мигматиты образуются в результате тонких инъекций магматического расплава по плоскостям сланцеватости, тонким трещинкам или другим мелким тектони-

ческим элементам породы. В этом случае строение мигматита определяется наличием исходной породы и принизывающих её тонких прожилков магматической породы.

1.8.7.1. Лабораторная работа «Изучение состава и структурно – текстурных особенностей метаморфических пород»

[На оглавление](#)

Большое значение для процессов метаморфизма имеет состав исходных пород. Химический состав метаморфических горных пород разнообразен и зависит в первую очередь от состава пород, из которых они образовались. Однако состав может и отличаться от состава исходных пород, так как в процессе метаморфизма происходят изменения под влиянием привносимых водными растворами веществ и метасоматических процессов (процессов замещения).

Главнейшее отличие метаморфических пород от магматических и осадочных заключается в их минеральном составе, а также структурных и текстурных особенностях. Метаморфические породы состоят лишь из минералов, устойчивых в условиях высоких температур и давления. Такими минералами являются: кварц; альбит и другие плагиоклазы; калиевый полевой шпат (микроклин); слюды (мусковит и биотит); роговая обманка; пироксен (авгит); магнетит; гематит, то есть, большинство минералов магматических пород, а также характерный минерал осадочных пород - кальцит. Кроме того в метаморфических породах распространены минералы, типичные только для этого типа пород – серицит, хлорит, актинолит, тальк, серпентин, гранат, графит.

Метаморфические породы могут состоять из одного минерала (мономинеральные), например кварца (кварцит) или кальцита (мрамор). Полиминеральные породы состоят из многих сложных силикатов. Главные породообразующие минералы представлены кварцем, полевыми шпатами, слюдами, пироксенами и амфиболами. Наряду с ними присутствуют типично метаморфические минералы гранаты, андалузит, дистен, силлиманит, кордиерит, и некоторые другие. Для слабометаморфизованных пород особенно характерны, такие минералы метаморфического происхождения как тальк, хлориты, актинолит, эпидот, карбонаты.

Все метаморфические породы обладают полнокристаллическими структурами, так как ни в одной из них не может сохраниться вулканическое стекло.

Структуры метаморфических пород возникают в процессе перекристаллизации в твёрдом состоянии, так что ни в один момент метаморфизации порода не приходит ни в состояние плавления, ни в состояние растворения. Такой процесс называется кристалло-бластез (blastano- расти), а образующиеся структуры - кристаллобластовыми.

По форме зёрен выделяются следующие структуры:

- – гранобластовая (агрегат изометрических зёрен);
- – лепидобластовая (агрегат листоватых или чешуйчатых кристаллов);
- – нематобластовая (агрегат игольчатых или длиннопризматических кристаллов);
- – фибробластовая (агрегат волокнистых кристаллов).

По относительным размерам:

- – гомеобластовая (агрегат зёрен одинакового размера);
- – гетеробластовая (агрегат зёрен разных размеров);
- – порфиробластовая;
- – пойкилобластовая (наличие мелких вростков минералов в основной ткани породы);
- – ситовидная (обилие мелких вростков одного минерала в крупных кристаллах другого минерала)

По величине зерен различают крупнокристаллическую структуру (диаметр частиц 1 мм), средне (0,25-1мм) и мелкокристаллическую (<0,25 мм).

Весьма важна для распознавания материнской породы, из которой произошла данная метаморфическая, так называемая реликтовая (латинское *relictus* – оставленный, остаточный) структура, т.е. остающаяся в небольших участках метаморфической породы структура первоначальной породы. Обычно реликтовые структуры сохраняются в породах, подвергавшихся лишь низким ступеням метаморфизма.

В метамагматических породах часто обнаруживаются следы таких структур магматических пород, как сферолитовая и др. В метаосадочных породах выделяются бластопсаммитовая, бластоалевролитовая и т.п. структуры.

В некоторых случаях остаточные структуры сохраняются и в породах средних ступеней метаморфизма. Встречаются также слабометаморфизированные скрытокристаллические и переходные разновидности, содержащие участки первичных пород некристаллического строения.

Существует еще одна группа структур метаморфических пород - катакластические, которые формируются в результате первоначальной деструктуризации а затем перекристаллизации первичной породы.

Текстура пород, как пространственная характеристика свойств породы, отражает способ заполнения пространства. По взаимному расположению и типам зерен выделяют следующие текстуры метаморфических пород:

- –сланцевая- с параллельным расположением чешуйчатых или таблитчатых минералов;
- –гнейсовая- с параллельным расположением таблитчатых минералов при малом содержании чешуйчатых частиц;
- –полосчатая- с чередованием полос различной толщины и различного минерального состава;
- –волоконистая- с вытянутыми примерно в одном направлении волокнистыми и игольчатыми минералами;
- –очковая- с рассеянными в породе более крупными овальными зернами или агрегатами, обычно выделяющимися по цвету;
- –плойчатая - в случае присутствия в породе очень мелких складок;
- –беспорядочная- с неориентированным расположением зерен обычно округло-неправильной формы;
- –массивная- в случае прочного сложения породы при плотном, связанном соединении минеральных зерен.

Сланцеватая текстура, свойственная огромному большинству метаморфических пород – кристаллическим сланцам. Сланцеватость характеризуется тем, что породы распадаются на тонкие плитки и пластинки благодаря тому, что в метаморфических породах получили широкое распространение листоватые, чешуйчатые и пластинчатые минералы, которые формируются при кристаллизации в условиях высоких давлений.

Сланцеватость выражается в параллельном расположении минералов породы: биотиты, вообще слюды и хлориты располагаются так, что явно лежат в параллельных плоскостях, призмочки роговой обманки все удлинены в одном и том же направлении и т.п. Сланцеватость объясняется тем, что минералы в сланцах развиваются и растут в наиболее благоприятном для роста направлении, т.е. в направлении, перпендикулярном к давлению. При этом сланцеватость обуславливается или прежними плоскостями наложения осадочной породы, или вновь образующимися, под влиянием спрессовывания, поверхностями отдельности, скольжения или кливажа.

Развитию сланцеватой текстуры способствует стресс. Различают сланцеватость, возникающую при механических деформациях, и кристаллизационную сланцеватость, которая связана с явлениями перекристаллизации. Сланцеватость может осложняться мелкими складками, тогда образуется плойчатость. Существует также линзовидная сланцеватость – очковая текстура, когда на фоне основной массы могут выделяться отдельные порфиробласты или линзовидные агрегаты кристаллов (полевых шпатов, кварца), облекаемые сланцеватостью.

Полосчатая текстура, характеризующаяся чередованием отличающихся по минеральному составу параллельно расположенных слоев, может образоваться по исходным полосчатым породам. Возникают такие текстуры и за счет метаморфической дифференциации вследствие перераспределения вещества.

Пятнистые текстуры формируются при неправильном пятнистом распределении минералов в породах. Они встречаются в метаморфизованных обломочных породах, в том числе туфах, а также появляются за счет стяжения в процессе метаморфизма первично равномерно распределенного в породе тонкодисперсного вещества. Например, пятнистые текстуры отмечаются при стяжении углистых частичек, тончайших чешуек хлорита и серицита в экзоконтактных зонах интрузий.

Массивная текстура характеризуется отсутствием ориентировки породообразующих минералов.

Среди реликтовых текстур метаморфических пород хорошо различается миндалекаменная, которая обнаруживается в метамагматических породах низких ступеней метаморфизма, и иногда в амфиболитах. Миндалекаменная текстура представлена более или менее округлыми или овальными агрегатами среди сланцеватой массы породы.

Флюидальные текстуры, обычные для вулканических пород кислого состава, также изредка сохраняются в метаморфических породах низких ступеней метаморфизма.

В метаосадочных породах нередко отмечаются реликты слоистой текстуры, иногда устанавливается первичная ритмичная или косая слоистость. Метаморфическая сланцеватость и полосчатость развиваются параллельно первичной полосчатости (что бывает чаще) или секут ее под некоторым углом (рис. 1.128.).



Рис. 1.128. Порода, расслоившаяся по двум перпендикулярным направлениям

1.8.7.2. Лабораторная работа «Изучение метаморфических горных пород в зависимости от условия их происхождения».

[На оглавление](#)

Породы регионального метаморфизма образуются под действием высокого неравномерного давления и высокой температуры на больших пространствах. Особенно значительные изменения испытывают глинистые породы. В процессе диагенеза глины уплотняются и обезвоживаются и превращаются в аргиллиты. На начальной стадии метаморфизма в условиях низких температур под действием тектонического давления аргиллиты претерпевают расслаивание и превращаются в аргиллитовые сланцы, имеющие тонкосланцеватые текстуры. При возрастании в породе кристаллических частиц порода твердеет, превращаясь в кровельные или аспидные сланцы.

Дальнейшее усиление метаморфизма, связанное с повышением температуры, приводит к полной перекристаллизации глинистого вещества с образованием филлитов - микрозернистых полнокристаллических пород с тонкосланцеватой текстурой. Внешне они сходны с аргиллитовыми сланцами, но имеют шелковистый блеск. Состоят из тонкочешуйчатой массы серицита, хлорита и кварца. При повышении температуры и дальнейшем увеличении давления филлиты переходят в кристаллические сланцы, (слюдяные, хлоритовые или хлоритслюдяные). Они отличаются сильным шелковистым блеском и наличием хорошо различимых чешуек минералов. Структура средне, реже крупнокристаллическая. Текстура сланцеватая или плейчатая. В состав входят кварц и слюды или хлорит. Кристаллические сланцы часто содержат гранаты, графит и др. Цвет обусловлен окраской господствующих минералов.

На самой высокой стадии метаморфизма глинистые породы превращаются в гнейсы. Эти породы обладают массивной гнейсовой, реже сланцеватой или очковой текстурой. Структура их зернисто-кристаллическая, средне- или крупнозернистая. Вместо хлорита и слюды, которая сохраняется в небольшом количестве, в гнейсах преобладают полевые шпаты - микроклин и плагиоклаз, широко развит кварц, присутствует биотит и мусковит, иногда амфиболы, пироксены, гранаты. По минеральному составу гнейсы близки к гранитам, от которых отличаются ориентированной гнейсовой текстурой.

Существенно иные породы формируются при метаморфизме песчаников. Кварцевые песчаники с кремнистым цементом превращаются в кварциты - крепкие массивные породы, состоящие целиком из неправильных зерен кварца, которые иногда почти неразличимы. Текстура сланцеватая.

Кварцевые песчаники с глинистым цементом преобразуются в слюдяно-кварцитовые сланцы с тонкими прослойками слюды по сланцеватости.

Аркозовые песчаники, богатые зернами полевого шпата, переходят сначала в кварцитовые песчаники, а при высокой степени метаморфизма - в гнейсы, отличающиеся более равномерной зернистостью и повышенным содержанием кварца.

Гнейсы и сланцы, образующиеся при метаморфизме осадочных пород (глин и песчаников), называются парагнейсами к парасланцами.

Известняки при перекристаллизации переходят в мраморы. Последние состоят из кальцита, имеют зернисто-кристаллическую структуру и обычно массивную, иногда неясную полосчатую

текстуру, реже наблюдается сланцеватость. Для породы характерна белая или светло-серая окраска.

Кремнистые породы – опоки, яшмы - преобразуются в мелкозернистые кварциты, отличающиеся весьма равномерной, слабо различимой зернистостью.

В результате метаморфизма кислых и средних магматических пород – гранитов, диоритов и других – формируются гнейсы и слюдяные сланцы. В отличие от аналогичных пород, возникающих при метаморфизме осадочных образований, они носят название ортогнейсов и ортосланцев.

Продуктами изменения габбро и базальтов на низшей стадии метаморфизма являются зеленые сланцы, сложенные хлоритом, эпидотом, актинолитом и альбитом. На более высокой степени метаморфизма зеленые сланцы переходят в амфиболиты, которые представляют собой массивные крепкие породы со сланцевой или волокнистой текстурой, темно-серого (до черного) цвета, состоящие из роговой обманки и плагиоклаза. На высшей ступени метаморфизма амфиболиты переходят в гранатовые амфиболы и эклогиты. Главные минералы последних - гранат и пироксен.

Ультраосновные породы (дуниты, перидотиты) превращаются в змеевики (серпентиниты) и тальковые сланцы. Змеевики состоят из серпентина и присутствующих в виде примеси магнетита и хлорита, слагающих микрочешуйчатую темно-зеленую массу с пестрыми пятнами.

Породы регионального метаморфизма. Здесь приведены горные породы, образовавшиеся в результате регионального метаморфизма (от менее к более метаморфизованным). Глинистые сланцы - представляют начальную стадию метаморфизма глинистых пород. Состоят преимущественно из гидрослюд, хлорита, иногда каолинита, реликтов других глинистых минералов (монтмориллонита), кварца, полевых шпатов и других неглинистых минералов. В них хорошо выражена сланцеватость.

Они легко раскалываются на плитки. Цвет сланцев: зелёный, серый, бурый до чёрного. Содержат углистое вещество, новообразования карбонатов и сульфидов железа.

Филлиты [греч. филлитес - листоватый] – плотная темная с шелковистым блеском сланцеватая порода, состоящая из кварца, серицита, иногда с примесью хлорита, биотита и альбита. По степени метаморфизма переходная порода от глинистых к слюдяным сланцам.

Хлоритовые сланцы – представляют собой сланцеватые или чешуйчатые породы, состоящие преимущественно из хлорита, а также актинолита, талька, слюды, эпидота, кварца и других минералов. Цвет их зелёный, на ощупь жирные, твердость небольшая. Часто содержат магнетит в виде хорошо образованных кристаллов (октаэдров).

Тальковые сланцы - агрегат листочков и чешуек талька сланцеватого строения, зеленоватого или белого цвета, мягок, обладает жирным блеском. Встречается изредка среди хлоритовых сланцев и филлитов в верхнеархейских (гуронских) образованиях, но иногда является результатом метаморфизации и более молодых осадочных и изверженных (оливиновых) горных пород. Как примесь присутствуют магнетит, хромит, актинолит, апатит, турмалин. Часто к тальку в большом количестве примешиваются листочки и чешуйки хлорита, обуславливающие переход в тальково-хлоритовый сланец.

Кристаллические сланцы - общее название обширной группы метаморфических пород, характеризующиеся средней (частично сильной) степенью метаморфизма. В отличие от гнейсов в кристаллических сланцах количественные взаимоотношения между кварцем, полевыми шпатами и темноцветными минералами могут быть разными (рис. 1.129).



Рис. 1.129. Аспидный (кристаллический) сланец

Амфиболиты - метаморфическая горная порода, состоящая из амфибола, плагиоклаза и минералов примесей (рис. 1.130). Роговая обманка, содержащаяся в амфиболитах, отличается от амфиболов сложным составом и высоким содержанием глинозёма. В противоположность большинству метаморфических пород высоких ступеней регионального метаморфизма амфиболиты не всегда обладают хорошо выраженной сланцеватой текстурой. Структура амфиболитов гранобластовая (при склонности роговой обманки к образованию удлинённых по сланцеватости кристаллов), нематобластовая и даже фибробластовая. Амфиболиты могут образовываться как за счёт основных изверженных пород - габбро, диабазов, базальтов, туфов и др., так и за счёт осадочных пород мергелистого состава. Переходные разновидности к габбро называются габбро-амфиболитами и характеризуются реликтовыми (остаточными) габбровыми структурами. Амфиболиты, возникшие за счёт ультраосновных горных пород, обычно состоят целиком из роговой обманки, богатой магнием (антофиллит, жедрит).

Различают следующие виды амфиболитов: биотитовые, гранатовые, кварцевые, кианитовые, эпидотовые и др.

Кварциты - зернистая горная порода, состоящая из зерен кварца, сцементированных более мелким кварцевым материалом (рис. 1.131, *а, б*). Образуется при метаморфизме кварцевых песчаников, порфиоров. Встречаются в корях выветривания, образуясь при метасоматозе (гипергенные кварциты) с окислением медноколчеданных месторождений. Они служат поисковым признаком на медноколчеданные руды. Микрокварциты образуются из подводных гидротерм, выносящих в морскую воду кремнезём, при отсутствии других компонентов (железо, магний и др.).

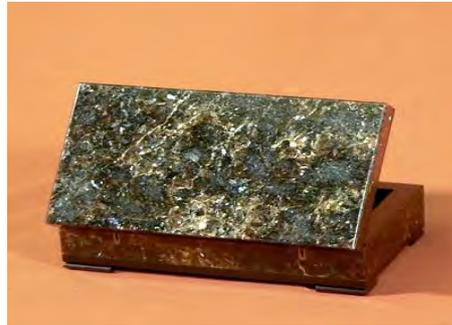


Рис. 1.130. Шкатулка из амфиболита



Рис. 1.131. Кварциты *а, б*

Гнейсы - метаморфическая горная порода, характеризующаяся более или менее отчётливо выраженной параллельно-сланцеватой, часто тонкополосчатой текстурой с преобладающими гранобластовыми и порфиробластовыми структурами и состоящая из кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклазов и цветных минералов (рис. 1.132). Выделяют: биотитовые, мусковитовые, двуслюдяные, амфиболовые, пироксеновые и др. гнейсы.



Рис. 1.132. Гнейс

Породы динамометаморфизма. Это породы, возникающие под действием динамометаморфизма и тектонических нарушений в зоне дробления. Дроблению и деформации подвергается не только сама порода, но и составляющие её минералы. Породы формируются под воздействием давления в условиях невысоких температур в результате интенсивного дробления горных пород и минеральных зерен без существенной их перекристаллизации. К таким породам относятся тектонические брекчии и милониты.

Тектонические брекчии, образованы угловатыми, или линзовидными обломками раздробленных первичных пород самой различной величины, сцементированными мелкодробленным материалом тех же пород. Для них характерно отсутствие слоистости и однообразие состава обломков.

Милониты представляют собой тонкоперетёртые горные породы с отчётливо выраженной сланцеватой текстурой. Образуются в зонах дробления, особенно по плоскостям надвигов и сбросов. Разорванные блоки горных пород, перемещаясь, дробят, перетирают и одновременно сдавливают породы, вследствие чего она становится компактной и однородной. Для милонитов характерны текстуры: сланцеватая, тонкополосчатая, нередко очковая и расслоённость.

Породы контактового метаморфизма. Возникают под действием высокой температуры, паров и растворов, связанных с внедрением магматических расплавов. Контактный метаморфизм проявляется вдоль границ магматических тел и имеет местное значение в преобразовании вмещающих пород. Он выражается преимущественно, в перекристаллизации пород, протекающей под действием высокой температуры без заметного участия давления. Поэтому для возникающих в ходе этого процесса пород - роговиков; типично отсутствие ориентированных текстур.

Роговики - очень крепкие мелкозернистые породы массивной текстуры, в которых иногда встречаются крупные кристаллы отдельных минералов (рис. 1.133).



Рис. 1.133. Роговик

Песчано-глинистые породы переходят в биотитовые роговики, состоящие из кварца и биотита с примесью полевого шпата, магнетита, граната.

Основные и средние породы преобразуются в амфиболовые роговики, сложенные амфиболом и плагиоклазом.

Фация ультраосновных пироксеновых роговиков формируется при наиболее высоких температурах метаморфизма: $> 700-800$ °С.

Карбонатные породы превращаются, в известково-силикатные роговики, а иногда в мраморы. Цвет роговиков обычно серый, черный или темно-зеленый.

Породы пневматолитового и гидротермального метаморфизма. При этом типе метаморфизма формируются скарны и грейзены.

Скарны возникают на контакте карбонатных и интрузивных пород в результате контактово-метасоматических процессов, протекающих при воздействии постмагматических растворов. Эти породы имеют важное практическое значение, так как к ним приурочены месторождения многих полезных ископаемых – меди, железа, полиметаллов, молибдена, вольфрама, олова. Главные породообразующие минералы скарнов – пироксены, плагиоклазы и гранаты (рис. 1.134).

Грейзены образуются за счет гранитов или песчано-глинистых пород. Они состоят из кварца и светлой слюды, имеют крупнокристаллическую структуру.



Рис. 1.134. Датолитовый скарн. Дальнегорск. Приморье

1.8.7.3. Лабораторная работа «Описание и определение метаморфических горных пород» [На оглавление](#)

Определение метаморфических горных пород начинается с установления их минерального состава. Вторым важным признаком является текстура. Имеют значение также структура и цвет. Для определения этих пород можно пользоваться табл. 1.14, в которой представлены основные характеристики важнейших метаморфических пород. При исследовании метаморфических пород важно установить, что представляла собой порода до метаморфизма и какие явления обусловили метаморфизм. Для этого необходимо изучить породы в естественной обстановке, а также детально исследовать их под микроскопом. Существенным является и макроскопическое определение. Описание метаморфических пород проводится по такому же плану, что и магматических:

- 1) название;
- 2) цвет;
- 3) структура и текстура;
- 4) минеральный состав;
- 5) жилы и прожилки минералов, встречающиеся в породе;
- 6) посторонние включения и вкрапления. Дополнительно указывают тип метаморфизма и название исходной породы.

Таблица 1.14.

Основные особенности важнейших метаморфических пород

| Минеральный состав | Текстура | Строение и внешний вид | Название, хозяйственное использование |
|--|-------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Сарицит, хлорит, кварц | Сланцеватая, иногда плейчатая | Зеленая, светло- или темносерая микрочешуйчатая порода, кварц заметен плохо, слабый шелковистый блеск | Филлит Строительство |
| Биотит, мусковит, кварц, иногда гранит, графит | Сланцеватая, иногда плейчатая | Средне- или крупночешуйчатая порода с очень большим количеством слюды, кварц заметен плохо | Слюдяной сланец Электроника |
| Кварц и слюда (биотит, мусковит) | Сланцеватая, иногда плейчатая | Светлоокрашенная крепкая порода с шелковистым блеском на плоскостях сланцеватости, нередко плитчатая | Слюдяно-кварцевый сланец |
| Хлорит, кварц, примесь слюды | Сланцеватая, иногда плейчатая | Чешуйчатая или листовая порода зеленого цвета, кварц заметен плохо | Хлоритовый сланец |
| Хлорит, актинолит, альбит, эпидот | Сланцеватая, иногда плейчатая | Мелкозернистая зеленая, довольно массивная порода с шелковистым блеском | Зеленый сланец |
| Тальк | Сланцеватая, иногда плейчатая | Чешуйчатая масса талька | Тальковый сланец Хим. пр-сть, медицина |
| Серпентин, магнезит | Массивная или | Тонкочешуйчатая серозеленая порода с | Змеевик (серпентин) |

| | | | | | |
|--|--|--------------------------|-----|--|---------------------------------------|
| | | сланцеватая | | пятнами темно-зеленого, белого, черного цвета и гладкими зеркально-эмалевыми поверхностями | Жилы асбеста |
| Роговая плагиоклаз | обманка, | Массивная сланцеватая | или | Зернисто-кристаллич. темно-зеленая или черная порода, иногда тонкополосчатая, нередко заметен белый плагиоклаз | Амфиболит Строительство |
| Кварц, иногда | микроклин, роговая обманка, пироксен, гранат | Массивная, гнейсовая | | Зернисто-кристаллическая серая или желтоватая порода, иногда с полосчатой, очковой или сланцеватой текстурой | Микроклиновый гнейс Бутовый камень |
| Плагиоклаз, роговая обманка, биотит, пироксен | кварц, | Массивная, гнейсовая | | То же, что и микроклинового гнейса, но цвет чаще серый, более темный | Плагиоклазовый гнейс |
| Кварц | | Массивная | | Мелкозернистая (отд. зерна трудно различить) белая, желтая, красноватая порода, блестящая на изломе, иногда сланцеватая, плитч. | Кварцит Строительство, огнеупор |
| Кальцит, реже доломит, иногда примесь графита и др. | | Массивная | | Зернисто-кристаллическая белая, светло-серая, реже красноватая или желто-бурая порода, изредка со сланцеватой или неясно-волокнисто-полосчатой текстурой | Мрамор Строительство, искусство |
| Кварц, биотит, магнетит, иногда полевошпат, гранат | | Массивная, беспорядочная | | Мелкозернистая крепкая серая, буровато-серая, иногда розовато-серая порода | Биотитовый роговик |
| Плагиоклаз, пироксен | амфибол, | Массивная, беспорядочная | | Мелкозернистая, очень крепкая темно-серая, темно-зеленая или черная порода | Амфиболовый роговик |
| Гранат, пироксен, плагиоклаз, рудные минералы, актинолит | эпидот, | Массивная, беспорядочная | | Внешний вид очень разнообразный. Структура от мелко- до крупнокристаллической, часто неравномерно-зернистая | Скарн |
| Кварц, светлая слюда, иногда турмалин | | Массивная, беспорядочная | | Крупнокристаллическая белая или светло-серая порода | Грейзен |

1.9. Экзогенные геологические процессы

На оглавление

Экзогенные геологические процессы в отличие от эндогенных протекают в самых верхних слоях земной коры на ее границе с внешними геосферами. Их энергетической основой является энергия солнечной радиации (6,95.10²⁴ Дж ежегодно) и сил гравитации. Экзогенные процессы протекают при нормальных значениях температуры и давления по эндотермической схеме с поглощением тепла. Выделяют четыре группы экзогенных геологических процессов: выветривание, денудация, аккумуляция, диагенез.

Выветривание - процесс разрушения и изменения горных пород на поверхности и небольшой глубине в связи с физическим, химическим воздействием атмосферы, вод и организмов. Выветривание развивается выше зоны цементации, в которой осуществляется переход рыхлых обводненных осадков в каменные осадочные горные породы. В зависимости от преобладания того или иного фактора в этом процессе выделяют три его типа: физическое (механическое), химическое и органическое. Выделяемые типы имеют неодинаковое развитие в различных физико-географических условиях. В приполярных областях преобладает физическое выветривание, в тропических областях преимущественное развитие имеет химическое выветривание. Характер и скорость выветривания зависят также от состава и строения горных пород. В полиминеральных породах выветривание проявляется интенсивнее, чем в мономинеральных. Неравномерно- и крупнокристаллические породы выветриваются быстрее, чем равномерно- и мелкокристаллические. Магматические породы, состоящие из силикатов и кварца, устойчивее по отношению к выветриванию по сравнению с осадочными, состоящими из карбонатов, сульфатов и гидросиликатов.

Физическое выветривание обусловлено в основном колебаниями температуры и представляет собой механическое разрыхление горных пород и превращение их в обломочный материал. Продукты выветривания горных пород, залегающие на месте своего образования, называются элювием. Большие скопления крупнообломочного элювия называют курумами.

Химическое выветривание связано главным образом с воздействием воды, заключенной в трещинах и порах горных пород. Оно приводит к химическому разложению первичных и возникно-

вению новых минералов, более устойчивых в приповерхностных условиях. Химическая активность подземных вод возрастает в связи с присутствием растворенных в них углекислого газа, кислорода и других агентов. Типичными для химического выветривания являются реакции гидратации, дегидратации, гидролиза, окисления, простого и сложного обмена. Химическое выветривание развивается после физического выветривания. На первой стадии выносятся наиболее растворимые соли калия натрия, на второй - кальция и магния. Силикаты и алюмосиликаты превращаются в гидросиликаты. Глинистые минералы становятся преобладающими среди продуктов выветривания. На третьей стадии глинистые минералы разлагаются с образованием оксидов и гидроксидов. Остаточные продукты, обогащенные этими соединениями, называются латеритами.

Органическое выветривание проявляется при активном физическом и химическом воздействии на горные породы организмов и продуктов их жизнедеятельности. Особенно велика при этом роль бактерий и растительности. Один из продуктов органического выветривания - почва.

1.9.1. Гипергенез

[На оглавление](#)

В зоне гипергенеза, соответствующей приповерхностной биокостной части литосферы, выведенные на поверхность либо на дно морского бассейна горные породы стремятся прийти в равновесие с окружающей средой. Основными источниками энергии здесь являются солнечное тепло и в значительно меньшей степени внутренне тепло Земли. Важнейшую роль в гипергенных процессах играют органическое вещество и вода.

Верхней границей зоны гипергенеза служит земная поверхность. Нижняя граница соответствует уровню затухания воздействия на горные породы фотосинтезирующей жизни, что сопровождается резким сокращением содержания кислорода и соответственно изменением химических условий среды (E_h , pH, угнетение процессов окисления, гидролиза, коллоидообразования). Обычная мощность зоны гипергенеза не превышает десятков метров, но иногда гипергенные процессы проявляются на глубинах в сотни и даже первые тысячи метров. Их проявление в глубинных зонах приурочено к зонам трещиноватости, карстовым полостям, поверхностям контактов пород, подземным горным выработкам, сохраняющим связь с земной поверхностью и служащим путями проникновения гипергенных агентов.

В зоне гипергенеза всегда присутствуют два принципиально различных комплекса минеральных образований: 1) материнские породы (субстрат) и 2) продукты гипергенеза.

В зависимости от условий процессы гипергенеза можно разделить на три группы:

поверхностный (или наземный) гипергенез – комплекс явлений и процессов, происходящих непосредственно на поверхности суши или связанных с проникающими в толщу пород инфильтрационными водами;

глубинный (или подземный) гипергенез - комплекс явлений и процессов, происходящих ниже земной поверхности и связанных с воздействием подземных вод, движущихся по водоносным горизонтам или восходящих по проницаемым зонам (заметим, что эти воды также имеют поверхностное происхождение);

подводный гипергенез (или гальмиролиз) - комплекс явлений и процессов, происходящих на дне морей и океанов при взаимодействии морских вод с горными породами.

Формирование продуктов поверхностного гипергенеза связано с процессами выветривания.

1.9.1.1. Процессы выветривания

[На оглавление](#)

Выветривание – это процесс изменения и разрушения минералов и горных пород на земной поверхности под воздействием физических, химических и органических факторов.

В зависимости от того, какие факторы обуславливают процессы преобразования пород, выветривание можно подразделить на физическое (или механическое) и на химическое. Биогенные процессы, очень широко проявленные в процессах выветривания, проявляются как в механическом, так и в химическом воздействии на минеральный субстрат. Механическое разрушение пород при биогенном выветривании осуществляется, например, корнями растений, расширяющими трещины, или роющими организмами (черви, муравьи, термиты, суслики, кроты и др.). Биохимические процессы активно воздействуют на минеральное вещество как в процессе жизнедеятельности

(например, лишайники извлекают минеральные вещества из минералов, что приводит к разрушению последних), так и поставляя химически активные соединения в процессе разложения (органические кислоты, возникающие при разложении опавшей листвы и пр.). Взаимодействие минерального и органического вещества приводит к возникновению почвы.

Физическое выветривание подразделяется на температурное и морозное.

Температурное выветривание – разрушение горных пород и минералов на поверхности Земли под влиянием колебаний температуры. Известно, что при нагревании и охлаждении твёрдые тела изменяют свой объём. Не являются исключением горные породы и минералы. В результате суточных колебаний температуры в массиве горных пород возникают напряжения двух типов. Напряжения первого типа (называемые объёмно-градиентными) связаны с неравномерным нагреванием поверхностной и более глубоких частей массива; различие температур (и, соответственно, различное расширение) в этих частях массива приводят к образованию трещин, направленных параллельно его поверхности. Вследствие этого происходит шелушение и отслаивание пород, называемое десквамацией. Второй тип напряжений в пределах объёма породы и минерала связан с различием коэффициентов теплового расширения-сжатия минералов. Напряжения этого типа приводят к раскалыванию до уровня минеральных зёрен и далее, по трещинам спайности, до образования частиц размером до сотых долей мм. Быстрее разрушаются темноокрашенные минералы и породы, а также крупнокристаллические полиминеральные породы с большими различиями коэффициентов расширения составляющих их минералов. Так в процессе температурного выветривания массив пород разрушается с образованием обломочных пород различного размера – от щебня до алевритового материала. Суточные колебания температуры проявляются до глубины 1 м, что определяет максимальную мощность возникающих таким путём обломочных отложений.

Наиболее активно температурное выветривание протекает в пустынях и, в несколько меньшей степени, в нивальных областях и в высокогорных районах, не покрытых снегом. Этому способствует сочетание двух факторов: 1) резкие суточные колебания температуры, достигающие 50 С и 2) обнажённость горных пород ввиду отсутствия растительного покрова и почвенного слоя.

Морозное выветривание – разрушение горных пород в результате периодического замерзания попадающей в трещины воды. Попадая в трещины, в холодное время суток вода замерзает – превращается в лёд, объём которого, как известно, значительно выше, чем исходный объём воды. Кристаллизующийся лёд оказывает на стенки трещин весьма существенно давление, достигающее 1000 кг/см³ и более, что значительно выше прочности большинства горных пород. Давление льда приводит к расширению трещин и раскалыванию пород на крупные обломки размером от десятков сантиметров до метров в диаметре. Отсутствие более мелкого материала обусловлено тем, что свободная вода не способна проникать в микротрещины.

Наиболее активно морозное выветривание протекает в холодных и умеренных областях с резкими суточными колебаниями температуры, а также в области развития вечной мерзлоты и в зоне деятельности ледников.

Образующиеся в ходе физического и химического выветривания продукты разрушения могут быть перемещены с места своего образования под действием водных потоков, ветра, движущихся ледников и других экзогенных факторов (процесс перемещения продуктов разрушения горных пород называется денудация) или остаться на месте своего образования. Продукты выветривания, залегающие на месте своего образования, называются элювией. К элювию относят продукты выветривания, не смещённые за пределы площади развития материнских пород (субстрата за счёт которого они образовались).

В результате физического выветривания образуются особые формы ландшафта. Если выветривание происходит в горной области, где имеются плоские, горизонтальные поверхности, то продукты выветривания накапливаются на них в виде глыб и более мелкого дресвяного материала. В результате создаются элювиальные россыпи и ландшафты беспорядочного нагромождения глыб, получившие название «каменных морей».

Характерным ландшафтом зон физического выветривания являются каменистые пустыни, или, как их называют в Сахаре, гаммады. Гаммады представляют собой нагромождения глыб и щебня, образующиеся за счёт выветривания горизонтально лежащих платов горных пород и выноса ветром пылеватых и песчаных продуктов их разрушения. Краю пластов часто расчленены на останцы конусовидной формы, понижения между которыми заполнены россыпями каменных глыб и щебнем.

Говоря о физическом выветривании необходимо подчеркнуть, что оно приводит к механической дезинтеграции пород и минералов, но не приводит к их химическому преобразованию.

Химическое выветривание представляет собой процесс химического преобразования минералов и горных пород под воздействием воды, кислорода, углекислого газа, органических кислот, а также вследствие биогеохимических процессов.

Преобразование происходит вследствие реакций окисления и гидратации (например, преобразование пирита по схеме $\text{FeS}_2 + m\text{H}_2\text{O} + n\text{O}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4 - \text{Fe}_2\text{SO}_4 - \text{Fe}(\text{OH})_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), растворения и гидролиза. Особое место занимают реакции гидролиза - ионного обмена между веществами и водой, приводящие к разрушению даже весьма устойчивых структур силикатов, сопровождающемуся их гидратацией и выносом элементов из кристаллической решётки. Примером такой реакции, может служить разрушение каркасной структуры полевых шпатов (самых распространённых в земной коре минералов) с образованием глинистых минералов и, далее, гиббсита:



Необходимо отметить ещё одну функцию воды, без которой невозможно химическое преобразование пород: вода обеспечивает «доставку» агентов химического выветривания и вынос продуктов реакций.

Транспортировка веществ происходит почвенно-грунтовыми водами в виде истинных и коллоидных растворов.

Важное значение в процессах химического выветривания имеют органические кислоты, активно способствующие разложению минералов. Процессы химического выветривания протекают ниже почвенного слоя, просачиваясь через который воды обогащаются органическими соединениями.

Необходимыми условиями глубоко химического выветривания являются:

климат, при котором достигается сочетание высоких температур и влажности (гумидный тропический);

обилие и характер растительности (при её разложении образуются органические кислоты, активно разрушающие минералы);

выровненный рельеф, обеспечивающий неподвижность продуктов разрушения;

продолжительность выветривания.

Важно подчеркнуть роль ландшафтных условий. В гумидных ландшафтах развита лесная растительность, обладающая огромной биомассой и разлагающаяся почве микроорганизмами с образованием органических кислот, поэтому почвенные воды гумидных ландшафтов обладают кислой реакцией и активно воздействует на минералы исходных горных пород; в таких условиях выветривание протекает под воздействием постоянного промывания горных пород кислыми растворами.

В аридных ландшафтах, отличающихся недостаточной увлажнённостью, распространена травянистая растительность. Её биомасса в десятки раз меньше биомассы лесов. Кроме того, почвенная микрофлора перерабатывает растительные остатки с образованием высокополимеризованных органических соединений, которые не обладают агрессивными свойствами по отношению к минералам. Почвенные воды имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, поэтому интенсивного промывания выветривающейся толщи агрессивными водами не происходит, и в ней постепенно сохраняются относительно легко растворимые соединения.

Процессы химического разложения приводят к разрушению кристаллических решёток минералов, даже весьма устойчивых, высвобождению из них химических элементов. Так выветривание гранитов может завершиться формированием за счёт слагающих их минералов толщи глин, обогащённых водными окислами алюминия.

1.9.1.2. Коры выветривания.

[На оглавление](#)

Геологические тела, сложенные элювием, то есть продуктами глубокого поверхностного физического, химического, биохимического преобразования горных пород, оставшихся на месте своего образования, объединяют понятием кора выветривания.

Кору выветривания магматических и метаморфических горных пород называют ортоэлювием. Эти породы формировались в условиях, резко отличных от земной поверхности, и поэтому они изменяются наиболее сильно. Соответственно, развивающиеся по ним коры выветривания резко отличаются от материнской породы.

Кора выветривания морских осадочных пород называется параэлювием. Изменение таких пород, по сравнению с магматическими и метаморфическими, часто менее значительно. Поэтому кора выветривания не всегда резко отличается от материнских пород (например, при выветривании глин).

Элювий континентальных отложений обозначается термином неоэлювий. Материнские породы, за счёт которых происходит формирование такого элювия, сами являются переотложенными продуктами выветривания, и в поверхностных условиях уже слабо изменяются; в силу этого неоэлювий часто выражен неотчётливо. Нередко выветривание захватывает только почвенную толщу и коры выветривания не образуется.

Типичным компонентами кор выветривания служат продукты дезинтеграции субстрата, глинистый элювий и латериты.

Продукты дезинтеграции представляют собой подвергшиеся физическому выветриванию (рас- трескиванию, дроблению) породы субстрата, практически не изменившие химического состава. Примером могут служить глыбовый и щебнистый элювий на гранитных породах в аридных и суб- аридных областях, доломитовая мука на доломитах и пр. Иногда, в условиях жаркого влажного климата, поверхностная дезинтеграция сопровождается начальным химическим выветриванием - гидролизом, частичным выщелачиванием наиболее подвижных компонентов (например, щебни- стые элювиальные суглинки в Центральном Казахстане, образованные за счёт гранитов).

Глинистый элювий - глины, сохранившие реликтовую структуру материнских пород. Глини- стый элювий обычно слагает основную массу коры выветривания и подразделяется по минераль- ному составу (гидрослюдистый, монтмориллонитовый, каолинитовый). Характерен для областей с гумидным климатом.

Латеритом (от лат. «later» - кирпич) называют красноцветные железистые или железисто- глинозёмистые элювиальные образования, состоящие преимущественно из минералов гидроокис- лов и оксидов железа, алюминия и титана с примесью каолинита. Они во влажных тропических и субтропических областях в условиях интенсивного выноса кремнезёма (SiO_2) и оснований CaO , Na_2O , K_2O , MgO и накоплением оксидов алюминия (гиббсит - $\text{AlO}(\text{OH})_3$), железа (гематит - Fe_2O_3 , гётит - FeOOH) и титана в остаточных породах. Образуются латериты за счёт материнских пород, богатых алюминием (например, гранитов или сиенитов). Часто на поверхности латеритов форми- руется кираса - порода, состоящая из обломков латерита и конкреционных образований, сцемен- тированных алюможелезистым цементом.

Разновидностью коры выветривания являются рудные шляпы, формирующиеся при химиче- ском выветривании пород, богатых рудными минералами, обычно сульфидами или другими лег- коокисляющимися соединениями. На поверхности рудные шляпы обычно сложены кавернозными железняками, образующими глыбовые и щебневые развалы, выделяющиеся темно- и светло- красной, охристой и буровато-красной окраской, связанной с окислами и гидроокислами железа (гётит, гидрогётит, гидрогематит и др.). Формирование шляп связано с воздействием воды на руд- ные минералы: происходит вынос грунтовыми водами легкорастворимых соединений, а в остатке накапливается нерастворимая минеральная масса, образующая шляпу. Так при разложении желе- зосодержащих сульфидных руд часть железа выносится в виде сульфатов, но большая его доля, пройдя через сульфатную стадию, окисляется до гидроксидов и накапливается близ выхода руд- ных тел на земную поверхность, формируя железную шляпу. По составу конечных продуктов рудные шляпы подразделяются на оксидные и сульфатные. Первые характерны для жарких и уме- ренных гумидных областей; вторые – широко развиты в аридных и зонах и зоне вечной мерзлоты. Оксидные шляпы характеризуются резким преобладанием среди новообразованных рудных мине- ралов гидроокислов железа, а в глинистых фракциях галлуазит-каолинитовой ассоциации; они имеют относительно большую мощность, как правило, многие десятки метров. Сульфатные шля- пы отличаются присутствием зоны сульфатов железа и обладают обычно небольшой мощностью (метры, до первых десятков метров).

Поверхностному выветриванию могут подвергаться и залежи нерудных полезных ископае- мых. В частности, при поверхностном растворении соляных толщ возникает гипсовая шляпа, или кепрок, представляющая покрывку на залежах солей и состоящая из смеси гипса с глиной, песком и карбонатами. При разложении гипсов формируется шляпа, в состав которой входят вторичный гипс в смеси с песчано-глинистым материалом. Глубина распространения рудных шляп ниже зем- ной поверхности обычно ограничивается уровнем грунтовых вод и достигает десятков и сотен метров.

Процессы химического выветривания протекают стадийно, что наглядно демонстрируется приведённой выше последовательностью преобразования пирита и полевого шпата. Эта стадийность отчётливо проявляется в развитии и строении и развитии кор выветривания. Б.Б. Полыновым были выделены стадии развития коры выветривания, наиболее проявленные в ортоэлювии.

Первая стадия - обломочная характеризуется физическим выветриванием материнских пород, химических преобразований в пределах коры не происходит. Дезинтеграция горных пород, образование в них трещин обуславливает, с одной стороны, их хорошую водопроницаемость, а с другой – резко увеличивает реакционную поверхность выветривающихся пород. Это создаёт условия для активизации разнообразных физико-химических, химических и биогеохимических процессов, сопутствующих химическому выветриванию.

Вторая стадия - сиаллитная, или обывесткованная знаменуется началом процесса химического выветривания, сопровождающимся извлечением из кристаллохимических структур силикатов щелочных и щелочноземельных элементов (главным образом кальция и натрия). При этом за счёт осаждения выносимого кальция в выветривающейся породе образуются плёнки, налёты и конкреции кальцита («обывесткованный элювий»). Силикаты на этой стадии начинают гидратироваться, и подвергаться гидролизу, при этом гидролиз силикатов со сложной кристаллохимической структурой сопровождается не полным их разрушением, а распадом на отдельные «блоки», из которых затем возникают новые минералы - происходит трансформация в глинистые минералы (гидрослюд, монтмориллонит, бейделлит и др.). За пределы коры выветривания водами выносятся лишь наиболее подвижные элементы – хлор и частично сера.

Третья стадия - кислая сиаллитная – сопровождается дальнейшим, уже весьма значительным, преобразованием минералов - за счёт материнских пород образуется «сиаллитный элювий», получивший название по преобладающим химическим элементам Si и Al. Для этой стадии характерны богатые алюминием глины - каолинит, галлуазит, и железосодержащие оксиды и гидроксиды - лимонит и пр. Продукты выветривания лишаются оснований (CaO, Na₂O, K₂O, MgO), выносимых из коры фильтрующимися сквозь неё водами.

Четвёртая стадия - аллитная - проявлена в интенсивном вносе из продуктов выветривания не только щелочных и щелочноземельных элементов, но и кремнезёма силикатов, вследствие чего в пределах коры остаются наименее подвижные соединения - водные окислы алюминия и железа, образующие латериты. При наличии определённого состава исходных пород конечные продукты выветривания обогащаются оксидами алюминия (отсюда и название аллитной стадии). Так в условиях жаркого климата и высокой влажности преобразование полевых шпатов приводит не только до уровня каолинитовых глин, но и далее, приводя к формированию бокситов (от фр. «beauxite», по названию местности Beaux на юге Франции) - алюминиевой руда, состоящая из гидроксидов алюминия (до 40-60%), оксидов железа и кремния. Приведённая выше последовательность преобразования исходных пород является, конечно, обобщённой идеальной схемой, иллюстрирующей общую направленность процесса выветривания. Процесс выветривания может прерваться на любой стадии в связи с неблагоприятным изменением физико-географических условий (например, в связи с аридизацией климата) или под воздействием геологических событий (например, воздымание территории, проводящее к эрозии коры выветривания, либо наоборот, опусканием и захоронением коры выветривания под осадками). Следовательно, очень древняя кора выветривания может быть неполно развитой, а геологически более молодая кора, развивавшаяся на протяжении более длительного времени, может оказаться более хорошо сформированной.

Состав конечных продуктов химического выветривания определяется как степенью эволюции коры, так и составом материнских пород. Для кор, развивающихся по ультраосновным породам, характерно обогащение железом, содержащимся в большом количестве в материнских породах. Иногда такие коры используются в качестве железной руды (например, месторождения на о. Куба, где мощность коры достигает 25 м). Другим элементом, способным образовывать промышленные концентрации является никель, накапливающийся в нижних частях коры выветривания за счёт осаждения из фильтрующихся водных растворов (обогащённых в верхних горизонтах коры довольно подвижным никелем).

При этом, вне зависимости от различий состава субстрата, существует определённая закономерность в подвижности элементов (следовательно, и последовательности их выноса из коры), позволившая выделить ряды миграции элементов в корах выветривания.

Ряды миграции химических элементов коре выветривания силикатных пород (по Б.Б. Полынову с упрощениями)

| Интенсивность миграции | Химические элементы |
|------------------------|---------------------|
|------------------------|---------------------|

| | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Очень сильная | Cl, S, B, Br, I |
| Сильная миграция | Ca, Na, Mg, Sr, Zn, Mo, U, F |
| Средняя миграция | Si, K, Mn, Ba, Ni, Co, Cu |
| Слабая и очень слабая миграция | Al, Fe, Ti, Zr, Y, Nb, Ta, Sn, Pt |

В строении развитых кор выветривания выделяются ряд горизонтов, состав которых соответствует разным последовательным стадиям выветривания субстрата. В совокупности эти горизонты образуют профиль коры выветривания. Нижние горизонты, залегающие непосредственно на материнских породах, соответствуют обломочной стадии, вверх степень выветренности повышается.

Например, кора выветривания на гранитах имеет следующее строение профиля (снизу вверх):

1 - горизонт щебенчатой, или обломочной, коры выветривания, образованный дезинтегрированным в ходе физического выветривания гранитом;

2 - гидрослюдистый горизонт, в породах которого, представляющих собой слабосцементированную массу, прослеживается структура исходного гранита, но значительная часть щелочей и щелочноземельных элементов из минералов вынесена, и большая часть полевых шпатов замещена агрегатом тонкочешуйчатых гидрослюдов;

3 - коалинитовый горизонт, представляющий собой светлую глинистую массу с отдельными участками рыхлого щебнистого материала. В нем присутствуют красно-бурые пятна от скопления гидроксидов железа. Из этого горизонта полностью удалены все одно и двухвалентные катионы, гидрослюды здесь замещены коалинитом.

Таким образом, коры выветривания, представляют собой совокупность различных продуктов физического, химического и биохимического выветривания, либо залегающих на месте образования, либо перемещенных на небольшие расстояния. Современная кора выветривания, выходящая на земную поверхность, состоит из элювия и почвенного слоя. Древняя кора выветривания погребена под более молодыми образованиями и обычно представлена комплексом вторичных низкотемпературных минералов. Мощность коры выветривания колеблется от долей метра до 100 м. Различают два основных типа коры выветривания.

Остаточная кора выветривания - находится на месте разложения материнских пород и часто сохраняет особенности структуры и текстуры исходных пород.

Перемещенная кора выветривания - образуется за счет изменения остаточной древней коры выветривания в результате ее переноса и перемыывания.

1.9.2. Процессы денудации и денудационные агенты

[На оглавление](#)

Денудация (лат. "денудацио" - обнажение) - это совокупность процессов удаления (сноса и переноса) продуктов выветривания с места их образования. Перемещение материала с возвышенностей в пониженные участки рельефа приводит к образованию выровненных форм рельефа. Денудационные процессы "тесно" связаны с аккумуляцией. Скорость аккумулятивных процессов зависит от интенсивности привноса продуктов разрушения первичных горных пород. Движущими силами этих двух групп экзогенных процессов являются одни и те же агенты. К агентам денудации относятся: ветер, вода континентов, морей и океанов, ледники, силы гравитации.

Геологическая деятельность ветра. Геологическую работу ветра называют эоловой или золицией. по имени бога Эола. Деятельность ветра имеет планетарный характер. В атмосфере аккумулируется огромный энергетический потенциал. Наиболее интенсивное выделение энергии происходит во время ураганов и бурь - 2×10^{13} кВт/ч - энергетические потребности США в течение 6 месяцев. Скорость ураганов может быть значительно больше 40-60 м/с, а торнадо (смерч) может превышать скорость звука - 331,8 м/с.

Лобовое давление ветра уже при скорости 40 м/с превышает 1 кПа. В то же время резкое изменение давления всего на 50 Па приводит к перераспределению геомеханического напряжения в массиве горных пород. В сейсмоопасных зонах это может вызвать землетрясение.

Процессы разрушения горных пород, транспортировки и аккумуляции разрушенного материала представляют собой взаимосвязанные виды механической работы ветра. Ветер вызывает дробление и выдувание горных пород на поверхности Земли - дефляцию. "Обтачивание" горных пород терригенным материалом называется коррозия. Разрушение обрывистых берегов под совместным воздействием воды и ветра - абразия - является одним из наиболее интенсивных способов механи-

ческого разрушения пород. Транспортировка эолового материала зависит от силы ветра, а также от формы, размеров и плотности частиц. Из терригенного материала аккумулируются три комплекса: эоловые пески, лесс и красные суглинки. Количество переносимого в течение года ураганами и бурями материала оценивается $n_{108} - n_{109}$ т. Суммарный вынос с суши в море 0,4-1,6 млрд. т в год.

Разрушительная деятельность вод поверхностного стока заключается в плоскостном смыве продуктов выветривания со склонов возвышенных участков рельефа (делювиальные процессы) и русловом размыве горных пород движущимися водными потоками (эрозионные процессы).

При плоскостном смыве дождевыми и тальми водами элювиальные обломки перемещаются и частично окатываются. Такие накопившиеся полуокатанные обломки называются делювиальными. Отложения временных водных потоков в виде конусов выноса называются пролювием.

На неоднородных и слабозадернованных склонах струйки неруслового стока сливаются в более мощные струи фиксированного стока. И склоновый сток переходит в линейный русловый сток.

Среди русловых потоков по степени постоянства стока различают временные и постоянные водные потоки. В равнинных областях под влиянием временных потоков образуются овраги.

Постоянными водотоками являются реки. В результате эрозийной деятельности текучих вод создаются речные долины. В долинах различают дно и склоны. В пределах дна выделяются русло и пойма. Русло - это наиболее низкая полоса, по которой течет водоток, а пойма - часть дна, заливаемая ежегодно водой при половодье. Склоны долин часто осложнены продольными горизонтальными или слабонаклонными к руслу площадками - речными террасами.

Эрозийно-аккумулятивная деятельность рек развивается как процесс взаимодействия водного потока и русла. Кинетическая энергия потока, или живая сила его K , в основном расходуется на передвижение поступающего в поток материала T и на разрушение горных пород (эрозию). Если $K > T$, то преобладают эрозионные процессы; если $K = T$, наблюдается равновесие между эрозией и аккумуляцией, работа реки направлена на перенос; если $K < T$, преобладает аккумуляция продуктов эрозийной деятельности. В развитии речных долин выделяют три стадии: молодую, зрелую и старую. В стадию молодости реки преобладает глубинная эрозия. Продольный профиль долины в это время ступенчатый, невыработанный, изобилующий водопадами и перекатами, чередующимися с плесами. Поперечный профиль конькообразный или V-образный. В зрелую стадию река вырабатывает продольный профиль равновесия, после чего возможна лишь боковая эрозия. Поперечный профиль долин зрелых рек принимает U-образный или ящикообразный вид. В старую стадию река заполняет аллювиальными осадками (речными отложениями) выработанную ранее долину, меандрирует (образует излучины) и отклоняет от себя старицы. Поперечный профиль становится корытообразным.

Возобновление глубинной эрозии происходит при понижении базиса эрозии в результате тектонических процессов. Разрушаемый и перерабатываемый реками материал переносится волочением, скачкообразно, а также взвесью и в растворе. При этом происходит измельчение и "окатывание" обломков и сортировка их по весу и крупности с образованием россыпных месторождений полезных ископаемых (золота, платины, алмазов и пр.).

Ежегодно за счет волочения и сальтации перемещается 1 млрд. т рыхлого материала, а во взвешенном состоянии 12,7 млрд. т. В устье реки формируется дельта - конус выноса реки участок суши, сложенный в основном аллювием. Дельта-аллювиальная равнина обладает большими размерами (Янцзы - 0,5 млн. км²; Тигр-Евфрат - 48 тыс. км²). Ежегодный прирост дельты достигает, (в м/год): Волга - 170, Кура - 300, Терек - 100. С дельтами связаны крупнейшие месторождения угля и нефти.

Геологическая работа подземных вод. Все виды воды, находящиеся ниже поверхности Земли, приуроченные к горным породам коры к веществу мантии и образующие с поверхностными и атмосферными водами единую водную оболочку Земли (гидросферу), принято называть подземными. Подземные воды могут быть в различном виде:

в свободном состоянии (пар, капельно-жидкая вода, лед);

в физически связанном виде (капиллярные воды, диффузная, адсорбированная);

в виде химически связанной воды (кристаллизационная, цеолитная, конституционная).

Разрушительная работа подземных вод сводится к химическому взаимодействию их с горными породами и механическому раздроблению, вымыванию силами движущихся потоков. Перенос разрушенного материала происходит глазным образом в виде химически растворенного вещества.

Процессы химического разложения горных пород под воздействием подземных и поверхностных вод называются карстовыми процессами или карстом. В результате формируются карстовые воронки и карстовые пещеры. В определенных условиях подземные воды производят механическую работу по разрушению горных пород - суффозию (лат. "суффозию" - подкапывание). В рельефе поверхности при этом возникают суффозионные провалы, колодцы, овраги, воронки и блюдца.

Разрушительная работа снега и льда. Ледниками называются естественные скопления движущегося льда, образующиеся на суше в результате процесса накопления. В настоящее время ледниками покрыто 11% всей площади суши. Лед возникает благодаря скоплению снега в понижениях рельефа (карах). В результате вначале образуется ледяная крупа (фирн), которая смерзается и уплотняется, формируя фирновый лед. В дальнейшем фирновый лед еще более уплотняется, приобретает голубую окраску и становится глетчерным льдом, плотность которого значительно превышает плотность снега (до 1 т/м^3).

При достижении мощности 15-20 м лед приобретает пластичность и при наличии наклонов поверхности рельефа начинает течь, образуя ледниковые языки. Скорость движения льда может изменяться от долей метра до сотни и более метров в сутки.

Все ныне существующие ледники подразделяются на горные и покровные. Горные характеризуются относительно небольшими размерами, четко выраженной границей между областями питания и разгрузки, покровные ледники занимают 98,5% всей занятой ледниками поверхности и почти сплошь покрывают Антарктиду, Гренландию, огромные районы Исландии, Шпицбергена, Новой Земли и Северной Земли. Отличительная особенность покровных ледников - огромные размеры и отсутствие четких границ между областями питания и разгрузки.

Разрушительная работа ледников называется экзарацией (лат. - выпаживание). Ледниковая экзарация в горных областях проявляется в выпаживании, сглаживании и изменении форм. Единичные скалы, обточенные ледником, называются бараньими лбами, а их скопления - кучерявыми скалами. Эрозионные долины под действием движущихся масс льда преобразуются в корытообразные ледниковые долины - трогги, имеющие широкое пологое дно и крутые склоны.

Возникающий в результате экзарации обломочный материал оказывается запечатанным в теле ледника и далее транспортируется к месту аккумуляции. Этот материал называется подвижной мореной. Морена перемещается до тех пор, пока не происходит полного таяния льда. Горные ледники переносят морену на десятки, реже сотни километров. Покровные же ледники, располагая существенно большей массой льда, способны транспортировать обломки на тысячу километров и далее. Крупные валуны из коренных пород Скандинавского щита обнаруживаются в четвертичных отложениях в низовьях Днепра и Дона.

В истории Земли выделяется четыре крупных периода оледенения (от древних к молодым):

- 1) докембрийский;
- 2) позднеордовикский;
- 3) пермско-каменноугольный;
- 4) кайнозойский.

Гравитационные процессы денудации. Действие гравитационных сил обуславливает возникновение и развитие собственно гравитационных и водно-гравитационных процессов как на континентах, так и в океаническом дне.

Собственно гравитационные процессы развиваются на склонах с углами наклона более 30° . На обрывистых и нависающих склонах развиваются процессы обваливания - внезапное обрушение горных пород в виде отдельных глыб или блоков, сопровождающееся дроблением сорвавшейся массы при ее падении. Горные обвалы часто имеют катастрофический характер.

Непосредственной причиной обвала могут быть землетрясения, сильные ливни, удары молнии. Осыпные процессы, проявляются при меньшей крутизне склонов. Они развиваются намного медленнее обвальных процессов, но распространены значительно шире. Часто они наблюдаются в горных районах. Наклон поверхности осыпи близок к углу естественного откоса материала, из которого она сложена. Для песка угол естественного откоса равен 33° , для мергеля - 25° , сланцев - $26-29^\circ$, известняка - 32° , гнейса - 34° , гранита - $35-40^\circ$.

Водно-гравитационные процессы протекают на склонах различной крутизны, не обязательно при значительном увлажнении смещающихся горных пород. Оползание - процесс соскальзывания вниз по склону масс горных пород по возникающим поверхностям отрыва, при насыщении водой поверхностного и подземного стока залегающих на склонах горных пород происходит увеличение их массы, подавление сцепления и уменьшение сил трения. При движении вниз по склону оползневый массив образует выровненную площадку - оползневую террасу. Скорость движения ополз-

ней - от первых сантиметров в сутки до сотен километров в час. Транспортирующая способность - от десятков до сотен кубических метров.

Солифлюкция (греч. "солюм" - почва, "флюксус" - течение) - медленное течение поверхностного слоя горных пород под влиянием силы тяжести и увлажнения. Скорость движения очень мала - сантиметры, редко первые метры за сезон. В результате солифлюкции образуются солифлюкционные террасы, натечные полосы, валы, потоки. Типичные солифлюкции развиваются в зонах многолетнемерзлых горных пород на пологих ($2-6^{\circ}$) склонах в водонасыщенных глинистых массах. Особый тип солифлюкционных процессов возникает на поверхностях, сложенных магматическими и метаморфическими породами. На склонах скапливаются каменные глыбы, которые медленно перемещаются вниз при крутизне от 3-5 до 40-45°. Такие движения каменного материала называются курумы (Якутск "курум" - камень).

Геологическая деятельность озер и болот. Озера - это водоемы с замедленным водообменом, расположенные в замкнутых углублениях суши (котловинах). Они занимают около 2% земной поверхности. Величайшее озеро мира - Каспийское море имело первоначальную площадь 395 тыс. км. Самым глубоким озером является Байкал (наибольшая глубина 1741 м).

В озерах протекают различные процессы, приводящие к образованию континентальных осадочных пород. Денудационная деятельность озер так же, как и морских водоемов, сводится к разрушению береговых уступов и прибрежных частей дна (абразия), разносу обломочного и растворенного материала. Движение водных масс проявляется в виде волн, течений, турбулентного перемешивания воды.

Химический состав и минерализация озерных вод отличаются большим разнообразием: пресные - минерализацией до 1 г/кг; солоноватые - от 1 до 35 г/кг и соленые или рассольные - более 35 г/кг.

В состав озерных отложений входят вещества, образующиеся в озере и поступающие в него с реками, ветром и в результате человеческой деятельности. На характер и интенсивность процессов осадкообразования в озерах решающее значение оказывает ландшафтно-климатическая зональность.

1.9.3. Аккумулятивные процессы

[На оглавление](#)

Обломочные отложения играют существенную роль в крупных озерах с большим количеством впадающих водотоков и в горных озерах. У берега осаждаются грубо- и крупнозернистый материал (гравий, песок), затем отложения алевритовой фракции (0,1-0,01 мм) и в центральных частях водоема поймовые и глинистые илы с размером частиц 0,01-0,001 мм и менее.

Органогенные отложения образуются за счет накопления неразложившихся и полуразложившихся остатков растений и животных. Это одна из ветвей "детритогенеза", охватывающая процессы образования сапропеля и торфа. В этих отложениях сосредоточены значительные запасы энергии в виде органического углерода, переводимого в это состояние из углекислого газа в результате процесса фотосинтеза. Фактически органогенные отложения - производные процесса фотосинтеза. Вторая, не менее важная сторона фотосинтеза, - пополнение кислородом атмосферы Земли. Глобальное геологическое значение озер и болот - это процессы детритогенеза, при которых в органогенных отложениях аккумулируется энергия, атмосфера теряет избыток углекислоты и пополняется кислородом.

На дне пресноводных озер из остатков водорослей, планктонных и бентосных организмов образуется сапропель, содержащий кроме органического вещества и минеральные составляющие песчаные, алевритовые и глинистые частицы, а также хемогенные осадки. Сапропелем называют гнилостный ил, имеющий коллоидную структуру и не менее 50% органического вещества. В естественном состоянии сапропель имеет очень высокую влажность (до 97%) и на вид представляет собой студенистую массу желтовато-бурых оттенков, жирную на ощупь. Высохнув, становится очень плотным и не размокает в воде. В сухом состоянии его называют сапрокол.

В течение года отлагается слой сапропеля от нескольких сантиметров до нескольких дециметров. Мощность сапропелей - от метров до десятков метров. Современные месторождения сапропелей образовались в последние 10-12 тыс. лет. Более древние отложения сапропеля в результате диагенеза превратились в горючие сланцы и ископаемые угли. При зарастании пресноводных озер накапливается торф.

При отложении в озерах кремниевых скелетов диатомовых водорослей образуется диатомит - пористая рыхлая порода белого, серого, кремового цвета с малым удельным весом.

Озерная известь образуется на дне озер из минерала кальцита. Запасы озерной извести очень велики.

Хемогенные осадки. В озерах гумидной территории накапливаются илистые осадки, состоящие большей частью из глинистых минералов (алюмосиликатов). Скопления оксидов и гидроксидов железа, марганца и алюминия формируют мелкие конкреции - "бобовые руды".

Из глинистых илов, обогащенных карбонатными минералами, образуются прослой мергелей.

В аридной зоне из соленых озер осаждаются соли. Вначале кальцит и гипс, затем галит KCl , далее сильвин KCl и в последнюю очередь хлориды магния.

В озерах вулканического типа часто образуется самородная сера.

Болота. Это избыточно увлажненные участки суши, часто имеющие торфяную залежь и покрытые специфической болотной растительностью. Болотные массивы особенно развиты в областях с влажным климатом. Выделяются два основных способа образования болот - заболачивание суши и зарастание озер.

Заболачивание суши происходит на переувлажненных почвах. Избыточное увлажнение почв вызывается разными причинами. Основными являются: обилие атмосферных осадков и близкое залегание к поверхности слое водоупорных пород. Часто болота образуются в поймах рек - их называют плавнями. Заболачивание может развиваться в местах пластовых выходов подземных вод или мочажин, расположенных на относительно ровных, горизонтальных участках рельефа.

В тропических зонах и экваториальном поясе находятся обширные заболоченные прибрежно-морские низменности, а также широко распространен своеобразный тип болот - мангровые леса.

Болота, образующиеся путем зарастания озер, представляют собой стадию старения и умирания озера. Зарастание и заторфовывание озера происходит как от берегов к центру (при этом образуются торфяные залежи, по составу соответствующие отмирающей растительности), так и по вертикали. Отмирающая растительность, накапливаясь на дне, подвергается слабому разложению в анаэробных условиях, что способствует обмелению озера. Процесс этот развивается дальше: обмелевшие участки обживаются мелководной растительностью и прибрежные растения подвигаются к центру водоема.

В глубоких озерах с застойным режимом зарастание происходит по вертикали. На поверхности воды из плавающей растительности образуется плавающий ковер, называемый сплавиной. Мощность сплавины постепенно увеличивается, а на дне накапливается слой отмерших растительных остатков. Если сплавина покрывает всю водную поверхность озера, образуется зыбкое болото. Сплошное плотное болото формируется при смыкании зыбуна с донными осадками.

На основании условий водного и минерального питания, а также местоположения выделяют разные типы болот:

Низинные болота располагаются в понижениях рельефа и питаются в основном подземными водами; богатыми минеральными веществами. На них произрастают евтрофные (требовательные к минеральному питанию) растения, из отмерших остатков которых накапливается торф. Торф низинного типа состоит из хорошо разложившихся растительных остатков и имеет повышенную зольность (6-18%). В зависимости от ботанического состава выделяют виды торфа: сосновый, тростниковый, гипновый и др. Поверхность низинных болот плоская или вогнутая.

Переходные болота с обедненным минеральным питанием образуются за счет атмосферных и подземных вод. На этих болотах развита мезотрофная растительность, не требующая обилия питательных веществ и образующая торф переходного типа (зольность 4-6%). По характеру эти болота промежуточные между низинными и верховыми.

Верховые болота образуются в условиях исключительной бедности минерального состава - только за счет атмосферных осадков, особенно это характерно для водоразделов. Верховые болота называют олиготрофными по характеру растительности, не требовательной к содержанию питательных веществ. Типичные растительные формы - мхи, много кустарников. Верховой торф имеет пониженную зольность (2-4%) и невысокую степень разложения растительных остатков.

Среди четвертичных и современных болотных отложений наибольшее распространение и практическое значение имеет торф. Торф это горная порода органогенного происхождения, образующаяся в результате неполного разложения растительных остатков в условиях избыточной влажности и недостатка кислорода, содержащая менее 50% минеральных веществ. Торф представляет собой продукт начальной стадии преобразования растительного материала в уголь. Одним из важнейших процессов при этом является биохимическая гумификация - образование аморфного

вещества - гумуса. Содержание этого вещества определяет многие практические свойства торфа. Интенсивность окраски торфа также зависит от содержания гумуса. Структура торфа при низкой степени разложения сохраняет некоторые признаки исходного растительного материала (волоконная, войлочная, ленточная и др.). Пористость торфа при малой степени разложения - до 80%, влажность при естественном залегании - до 95%. Торф залегают в виде линз или пластов. Мощность пластовых залежей достигает первых десятков метров.

Покрытие торфяников породами кровли означает переход к углефикации, заключающейся в превращении торфа в бурый уголь и далее, при благоприятных геологических условиях, в каменный уголь и антрацит при длительным воздействием повышенных температур и давлений без доступа кислорода воздуха. Химические изменения при этом заключаются в увеличении содержания углерода (от 65% в бурых углях до 98% в антрацитах), уменьшении содержания кислорода (от 30% до 1 %) и водорода (от 6% до 1%) соответственно.

К болотным отложениям относятся также хемогенные осадки: в условиях низинных болот образуются железные руды или бурые железняки, вивианит, сидерит, болотная известь. Геологическая деятельность болот многопланова. Болотные массивы играют роль гигантских фильтров, постоянно очищающих атмосферную воду. Многие крупнейшие реки мира берут начало из болот - водорегулирующая роль болот.

Геологическая деятельность морей и океанов. В геологической истории Земли роль морей и океанов чрезвычайно велика. Площадь акватории Мирового океана составляет 2/3 всей поверхности планеты, т.е. 361 млн. км². Одними из важнейших химических особенностей морской воды является ее соленость и солевой состав. Средняя соленость в Мировом океане 35%. В солевом составе преобладают растворимые соли.

Содержание кислорода в воде более чем в 1,5 раза превышает его содержание в воздухе, что создает весьма благоприятные условия для существования в ней животных и растительных организмов и резко повышает ее химическую активность.

Вода в Мировом океане находится в непрерывном движении; волнения, течения, сгонно-нагонные движения, приливно-отливные движения. Разрушительная работа морей и океанов называется абразией (лат. "абразио" - соскабливаю). Она подразумевает механическое разрушение горных пород волнами и подводными течениями. Наиболее активно абразия протекает в прибрежной зоне, где происходит формирование абразивной террасы.

Продукты абразии вместе с другим осадочным материалом, доставленным реками, ветром и льдом, накапливаются в определенной закономерности, формируя различные виды осадков: терригенные, биогенные, хемогенные, из которых в процессе диагенеза образуются соответствующие осадочные породы

1.9.4. Процессы диагенеза

[На оглавление](#)

Диагенез (греч. "диагенезис") - перерождение, происходит вследствие следующих процессов. Под влиянием сил гравитации по мере накопления осадков происходит их уплотнение, что приводит к активному взаимодействию составляющих их компонентов друг с другом, а также с поровыми водами и средой их накопления.

Под тяжестью вышележащих осадков в нижних слоях происходит выжимание поровой воды - обезвоживание.

Отдельные компоненты осадка при заполнении порового пространства связываются между собой - цементация. В качестве цемента встречаются кремнезем, оксиды железа, карбонаты, фосфаты и др. Уплотнение, или уменьшение объема, обусловлено в основном вышележащими осадками и происходит в результате перекристаллизации, обезвоживания и цементации осадочного вещества.

В конечном итоге диагенеза рыхлые осадки превращаются в твердую, окаменевшую горную породу. Например, пески преобразуются в песчаники, терригенные илы - в глины, солевая рапа - в каменную соль, карбонатные илы - в известняки и т.д.

1.9.5. Осадочные горные породы

[На оглавление](#)

Осадочные горные породы образуются в результате осаждения минеральных и органических веществ в водной или воздушной среде в ходе экзогенных процессов. По способу образования минерального вещества осадочные породы делятся на

- обломочные, состоящие из обломков минералов и горных пород;
- органогенные – в основе которых находятся твердые части организмов и продуктов их жизнедеятельности;
- хемогенные, представленные минералами, сформировавшимися химическим путем.

Между этими группами осадочных пород нет четких границ, поэтому часто встречаются породы смешанного происхождения. Особенно часто это наблюдается среди органогенных и хемогенных (группа хемогенно-органогенные породы). Хемогенные и органогенные породы классифицируются по химическому составу, поэтому целесообразно их рассматривать совместно, наиболее распространенными из них являются карбонатные: известняки, доломиты, мергели.

Известняки - мономинеральные породы, состоящие из кальцита CaCO_3 . Они могут иметь хемогенное и органогенное происхождение. Хемогенные известняки подразделяются на разновидности в зависимости от их внешнего облика. Они могут быть кристаллическими, скрытокристаллическими,

1.9.5.1. Диагностические признаки осадочных горных пород.

[На оглавление](#)

Главными признаками, определяющими осадочные породы, являются состав осадка, степень диагнеза, цвет, текстура, структура, пористость и плотность. Состав осадка зависит от способа его образования: это могут быть обломки горных пород и минералов, органогенное вещество или продукты химических реакций. В соответствии с этим породу относят к обломочной, органогенной, хемогенной или смешанного состава.

Степень диагнеза - признак, который показывает, какие изменения произошли в осадке после его образования в процессе превращения в горную породу. Иногда видимых признаков диагнеза нет: например, встречаются пески, которые, образовавшись миллионы лет назад, не преобразовались в литофицированную породу, а так и остались несцементированными песками. В таком случае осадок считается горной породой, если он перекрыт сверху более молодыми отложениями. Оставаясь на поверхности, он сохраняет название осадка, даже если окружающие условия изменились, например, морские условия сменились континентальными. Диагenez связан с обезвоживанием (дегидратацией) осадка, перекристаллизацией, старением коллоидов и др. Образование цемента в обломочных породах - один из мощных факторов диагнеза. Чаще всего цемент бывает глинистый, кремнистый или железистый, состоящий из оксида железа.

Цвет породы не относится к главным диагностическим признакам, но часто может способствовать ее определению. Окраска осадочных пород включает все известные цвета и оттенки. Ее появление зависит от многих причин, главными из которых является окраска обломков и минералов, слагающих породу, а также цвет цемента. Так, белыми или светлоокрашенными бывают породы, содержащие карбонаты, сульфаты, галоиды, кремнистое вещество или кварц; железистый цемент придает породе различные оттенки коричневого цвета; зеленый цвет связан с окраской зерен глауконита, хлоритов и т.п.

Текстура осадочных пород - расположение зерен в породе - полнее всего изучается в обнажении, менее полно – в кернах буровых скважин и в образцах. Текстура определяет многие физические свойства породы - проницаемость, крепость, раскалываемость и т.д.

Текстуры осадочных и вулканических пород подразделяются на поверхностные, присущие поверхностям напластования и объемные, слагающие весь объем породы.

Для учебных целей важнее изучение именно объемных текстур, которые можно наблюдать в камеральных условиях в отдельно взятых образцах.

В земной коре наиболее часто встречаются слоистые текстуры, когда породе четко различаются слои: полосчатые, когда слои различаются и по цвету; массивные, когда нельзя установить закономерности в положении составных частей; пятнистые, когда отдельные составные части породы образуют обособления в виде пятен.

На рис. 1.135. показано типичное залегание осадочных пород.

Структура во многом зависит от принадлежности породы к той или иной генетической группе. Так, структуры обломочных пород - обломочные, различаются по форме и размерам обломков частиц размером более 0,01 мм, прежде существовавших пород.



Рис. 1.135. Типичное залегание осадочных пород

Тонкообломочные - пелитовые структуры характерны для глинистых или пелитовых пород (греч.пелёс - глина), состоящих из частиц размером менее 0,01 мм (глина, мергель).

Хемогенные породы часто имеют кристаллические разнозернистые структуры. Кристаллы минералов могут визуальнo наблюдаться в породе (каменная соль, гипс). При скрытокристаллической структуре - афонитовой кристаллы минералов в породе просматриваются только под микроскопом (мел).

Некоторые породы (кремень) имеют аморфную структуру.

В органогенных породах - либо органогенные структуры, если порода состоит из целых раковин или других остатков скелетов, либо детритусовые (лат.детритус - перетертый), когда остатки организмов оказываются перетертыми или раздробленными.

Пористость является характерным признаком для многих осадочных пород. Она оценивается по размеру пор, их количеству и способу образования.

Плотность. Определение плотности, даже сделанное приблизительно, может облегчить диагностику: например, внешне похожие гипс и ангидрит легко различить по этому признаку; плотность этих минералов соответственно 2400 и 2900 кг/м³.

Слоистость свойственна большинству осадочных пород. Она чрезвычайно разнообразна. Для диагностики осадочных горных пород слоистость малопригодна, так как тип слоистости практически не связан с составом породы.

1.9.5.2.Лабораторная работа. «Изучение обломочных горных пород и их классификация».

[На оглавление](#)

Обломочные или классические (греч.кластес - обломок) породы образуются из обломков минералов и горных пород; чаще всего они накапливаются как морские осадки. Классификация обломочных пород основана на величине обломков, степени их окатанности и наличии или отсутствии цемента. Определяя внешний вид пород, эти признаки отражают и их происхождение (табл. 1.15).Грубообломочные породы или псефиты (греч.псефос - камешек) состоят из обломков, которые по форме и размерам делятся на окатанные и неокатанные, крупные, средние и мелкие. К окатанным обломкам относятся такие, которые имеют округленные или сглаженные ребра: валуны, галечник, гравий; неокатанные обломки всегда остроугольны: глыбы, щебень, дресва. Псефиты с окатанными обломками, скрепленными цементом, называются конгломератами, а состоящие из неокатанных сцементированных обломков - брекчиями.

Обломочные горные породы

| Группа пород | Размеры обломков, мм | Рыхлые породы | | Цементированные породы | |
|---------------------------|--------------------------------------|---|-------------|---|---------------------|
| | | окатанные | неокатанные | окатанные обломки | неокатанные обломки |
| Грубообломочные (псефиты) | > 200 | валуны | глыбы | Конгломераты: валунные галечные | глыбовые брекчии |
| | 200–10 | галька, галечник | щебень | | брекчии |
| | 10–2 | гравий | дресва | гравийные | |
| Песчаные (псаммиты) | 2–1 1–0,5 0,5–0,25 0,25–0,1 | Пески: грубозернистые крупнозернистые среднезернистые мелкозернистые | | Песчаники: грубозернистые крупнозернистые среднезернистые мелкозернистые | |
| Алевриты Пелиты* | 0,1–0,01 0,01 | Алевриты Глины | | Алевролиты Аргиллиты | |

* Пелиты рассматриваются как обломочные породы условно, так как в их образовании главенствующими процессами являются химические. Иногда они выделяются в отдельную генетическую группу - глинистые.

Цементированные обломочные породы образовались путем цементации рыхлых пород разнообразными химическими веществами. Наиболее прочным является кремнеземистый цемент (вторичный кварц, опал, халцедон), менее прочные - железистый (лимонит), карбонатный (кальцит). Малой цементирующей способностью отличается глинистый цемент.

Брекчии представляют собой компактные породы, состоящие из угловатых обломков дресвы или щебня, цементированных каким-либо цементом. Петрографический состав этих обломков отличается однородностью. Угловатая форма обломков обеспечивает хорошее сцепление их с природными цементами, поэтому брекчии при некоторых видах цементов имеют достаточно высокую прочность и используются как отделочные камни. Брекчии имеют ограниченное распространение.

Конгломераты- цементированные природным цементом скопления гальки, гравия, мелких валунов и др., отличающиеся от брекчий пестротой петрографического состава, широким диапазоном прочности от 5 до 160 МПа и изменением средней плотности в интервале 1500 ... 2900 кг/м³. По сравнению с брекчиями конгломераты отличаются меньшей прочностью, так как окатанный обломочный материал довольно слабо связывается с цементом. Практическое значение этих пород невелико. Слабо цементированные их разновидности используются для получения балласта, а красивые - как отделочные декоративные камни. Мощные отложения конгломератов известны в Крыму и Средней Азии.

При описании псефитов следует указывать состав, величину и степень окатанности обломков, степень диагенеза, состав и окраску цемента, количественные соотношения (обычно, в процентах по объему) обломков и цемента; если обломки имеют разный состав, то отражаются их количественные соотношения, так же, как и количественные соотношения обломков разных размеров.

Пример описания конгломерата: конгломерат гравийный, плотно цементированный, коричневый, пятнистый, с серыми, зеленовато-серыми и темно-серыми пятнами. Обломки имеют размеры в поперечнике 5-20 мм; преобладает гравий; мелкой округло-уплощенной гальки, главным образом из песчаников, не более 15 %. Среди обломков, кроме песчаников, встречается кварц и хлоритовые сланцы. Цемент бурый, коричнево-желтый, железисто-песчаный, заполняет участки между прилегающими друг к другу гравием и мелкой галькой. Содержание в породе цемента около 20 %.

В группу псаммитов - песчаных пород (греч.псаммос - песок) входят породы с размером обломков от 0,1 до 2 мм. Их принято разделять по крупности зерен на
 грубозернистые с диаметром частиц от 1 до 2 мм;
 крупнозернистые -от 1 до 0,5 мм;
 среднезернистые -от 0,5 до 0,25 мм;
 мелкозернистые - от 0,25 до 0,1 мм.

Рыхлые разновидности псаммитов называют песками, а цементированные - песчаниками. Пески состоят преимущественно из кварца, наиболее устойчивого к химическому выветриванию минерала. Псаммиты, состоящие из зерен одного минерала, называют олигомиктовыми (греч. олигос - немногий, миктос - смешанный), а состоящие из нескольких минералов - полимиктовыми. По минеральному составу различают следующие главные группы песчаных пород.

Чистые кварцевые пески и песчаники (олигомиктовые) светлой окраски, содержащие в виде примесей полевые шпаты, слюды и др.

Смешанные (полимиктовые) пески, состоящие из смеси минералов, в которой преимущественно находятся полевые шпаты, слюды, амфиболы и др. Среди этих пород наибольшее распространение имеют аркозовые пески красного или серого цвета, преимущественно кислого полевошпатового состава, с небольшой примесью кварца и других минералов.

Песчаники образуются путем цементации зерен песка при просачивании через них разнообразных минеральных растворов. В зависимости от разновидности цементов различают кремнистые, известковые, железистые, гипсовые, глинистые, фосфоритовые, битуминозные и другие виды песчаников. Их прочность определяется видом природного цемента, характером его сцепления с зернами песка, плотностью породы. Она колеблется в широких пределах от 1 до 150 МПа и выше, а средняя плотность от 1900 до 2800 кг/м³. Наиболее прочными (100... 150 МПа и более) являются кремнистые песчаники со средней плотностью до 2800 кг/м³. Малой прочностью отличаются глинистые песчаники, легко разрушающиеся при насыщении водой или циклическом замораживании и оттаивании. Известковые песчаники неводостойкие.

В битуминозных песчаниках битум, пропитывающий толщу пород, составляет до 20 % их массы.

Окраска песчаников зависит от цемента: кремнистые и известковые имеют белые и светлые тона, железистые - желтые и красноватые и т. д.

Песчаники широко распространены в Карелии, Украине, и др. Они используются для получения стенового камня, бута, щебня, а также декоративного отделочного материала. Их разновидности, содержащие не менее 97 % кремнезема, идут на изготовление кислотоупорных материалов и сырья, для получения огнеупоров, абразивов и др.

Железистые пески и песчаники обычно представляют собой кварцевые пески и песчаники, зерна которых покрыты коркой бурых железистых минералов; цемент песчаников также железистый, поэтому цвет пород коричневый - от лилово-бурого до ржаво-коричневого.

Магнетитовые и гранатовые пески и песчаники встречаются редко.

Кварц глауконитовые пески и песчаники состоят из зерен кварца (20-40 %) и глауконита (60-80 %) с небольшой примесью слюды и других минералов; в зависимости от количества глауконита пески имеют более или менее выраженную зеленую окраску. При выветривании, которое сопровождается разложением глауконита и образованием оксидов железа, цвет их становится ржаво-бурым.

Аркозовые пески и песчаники образуются при разрушении гранитоидов, поэтому в их состав входят кварц, полевые шпаты и небольшое количество темноцветных минералов, биотита, роговой обманки, пироксена; состав цемента песчаников разнообразен.

Глаувакки - темно-серые, зеленовато-бурые или зеленовато-коричневые, часто плотно цементированные псаммиты, сложенные главным образом зернами темноцветных минералов - амфиболов, пироксенов и др.

При описании псаммитов следует указывать размеры зерен, минеральный состав и окраску. Степень окатанности зерен для диагностики большого значения не имеет, но если она визуально различима, то приводится в описании. Для цементированных пород по возможности в описании приводится состав цемента и его особенности. Для полимиктовых пород необходимо определить количественные соотношения зерен различных минералов и степень сортировки.

Пример описания песчаника: плотная зеленовато-серая порода, состоящая из зерен кварца размером в поперечнике 0,3- 0,5 мм (20 %), глауконита до 3 мм (60 %), придающего зеленый оттенок породе, и зеленовато-серого цемента (\approx 20 %), вскипающего при воздействии разбавленной соляной кислотой. Порода определяется как песчаник известковистый, полимиктовый (кварц - глауконитовый), среднезернистый.

Наибольшей чистотой и однородностью зерен отличаются морские и эоловые отложения. Морские и речные пески имеют окатанную форму зерен, а ледниковые - угловатую форму, наиболее благоприятную для строительных целей. Вредной примесью песков являются глинистые и пылеватые фракции (0,05...0,005 мм). При оценке качества песка как строительного мате-

риала учитывают его минеральный и гранулометрический составы, форму зерен, пористость, коэффициент фильтрации и др. Средняя плотность песков - 1800 кг/м³.

Пески являются главным сырьем для получения керамики, динаса, стекол, бетонов и растворов, кирпича; используются для дорожных покрытий, в абразивном производстве. Распространены повсеместно.

Алевриты (рыхлые) и алевролиты (плотные) породы, отличающиеся от песчаных содержанием более мелких частиц. Они сложены пылеватыми частицами минералов размером от 0,1 до 0,01 мм. К алевритам относятся:

лессы (лесс - светлоокрашенная пористая порода, содержащая кварц, полевые шпаты, до 30 % кальцита и до 50 % глинистых минералов);

супеси (алевролитовый материал с песком);

суглинки (алевролитовый материал с глиной) и некоторые другие породы. Средняя плотность лессов - 1200...1800 кг/м³. Они отличаются просадочностью, легко размокают в воде.

Используются в цементной промышленности как добавка в бетоны, в производстве кирпича, черепицы и др.

Пелиты, или глины (греч. пелес - глины), группа тонкообломочных пород, состоящих более чем наполовину из мельчайших (менее 0,01...0,001 мм) чешуеобразных частиц глинистых минералов, среди которых не менее 25 % имеют размеры менее 0,001 мм. По основным свойствам пелиты отличаются от обломочных пород, имея малые размеры, частицы пелитов не оседают на дно под действием силы тяжести, а образуют суспензии.

Глины - породы, образующие с водой пластичную массу, твердеющую при высыхании, а при обжиге приобретающую твердость камня. В сухом состоянии глины бывают землистые, рыхлые или очень плотные. Твердость их равна I, они легко царапаются ногтем, если потереть поверхность плотной глины, на ней остается блестящая полоска. Глины липнут к языку и, в отличие от алевролитов, не скрипят на зубах. Насыщаясь, эта порода разбухает и превращается в пластичную массу, которая при дальнейшем добавлении воды приобретает способность течь. За счет гигроскопичности она способна поглощать до 70 % (по объему) воды, а после полного насыщения водой становится водоупорной и не пропускает воду. Чистые глины называются жирными; с примесью песка - тощими.

В зависимости от содержания в породе песка различают песчанистые глины или глинистые пески; глины с примесью карбоната кальция называются известковыми.

Глины образуются при выветривании полевошпатовых и некоторых других силикатных пород и состоят преимущественно из глинистых минералов типа каолинита, монтмориллонита и гидрослюд с примесью кварца, слюды, вторичного кальцита, опала и др.

Большинство глин являются полиминеральными, однако среди них имеются наиболее ценные мономинеральные: каолинитовые и монтмориллонитовые разновидности.

Главным фактором при применении глин в строительстве и производстве строительных материалов является их минеральный состав. Полиминеральные глины являются сырьем для производства кирпично-черепичных изделий, грубой керамики, глинозема, огнеупоров и т. д.

Каолины - белые глины, сложены в основном каолинитом и сравнительно свободны от примесей оксидов железа. Они представляют собой белые тонкозернистые, жирные на ощупь малопластичные породы, являющиеся продуктами разложения (гидролиза) алюмосиликатов диссоциированной водой, содержащей свободные ионы водорода и растворенную CO₂. Они образуются при выветривании полевошпатовых пород. В коре выветривания каолины содержат примеси зерен кварца, чешуек слюды и других, устойчивых к выветриванию минералов, входящих в состав исходной породы. Наиболее чистые каолины возникают при размыве коры выветривания и перераспределении ее продуктов.

Каолины используются в производстве фарфоро-фаянсовых изделий, цемента, шамота.

Каолинитовые глины являются континентальными отложениями и образуются в условиях кислой среды.

Монтмориллонитовые глины появляются при разложении вулканических пеплов в щелочной среде. Среди них выделяются сильно набухающие в воде натровые глины с преобладанием катиона Na над катионами Ca, Mg и неразбухающие кальциевые - с преобладанием Ca над катионами Na и Mg. К первым относятся бентониты и флоридины, породы белой, серовато-белой, розоватой и другой окраски, характерной особенностью которых является сильное набухание при увлажнении с увеличением объема примерно в 16 раз и более и высокая адсорбционная способность. Большинство этих глин обладает резко выраженной пластичностью. С увеличением в глинах ме-

ханических примесей пластичность их быстро снижается. Монтмориллонитовые глины применяются в качестве адсорбентов, так как обладают высокой поглотительной способностью.

В описании глин указывают следующие признаки: цвет, степень влажности и кислотности, примеси, часто обуславливающие окраску породы (углистые глины темные, почти черные; битуминозные - темно-коричневые или почти черные, имеющие запах битума во влажном состоянии, оставляющие жирное пятно на бумаге); текстуру (листовая, плейчатая и др.); наличие растительных остатков окаменелостей и др.

Аргиллиты – это плотные, твердые (твердость до 3) породы, образующиеся в результате диагенеза глин, которые при этом утрачивают пластичность и водопоглощаемость.

В коре выветривания пород, содержащих алюмосиликаты – гранитоидов и др., нередко встречаются специфические породы – бокситы. Это плотные породы, окрашенные в красные, реже в серые тона, состоящие главным образом из оксидов алюминия, часто с примесью оксидов железа, имеющие обломочную или солитовую структуру. Главными минералами бокситов являются диаспор и гидраргиллит, сырье для производства алюминия.

1.9.5.3. Лабораторная работа. «Описание и определение органогенных и хемогенных горных пород».

На оглавление

Породы этих групп образуются как в водной среде, так и на поверхности суши в результате жизнедеятельности животных и растительных организмов или химических процессов, а часто тех и других процессов вместе. В связи с этим органогенные и хемогенные породы рассматриваются вместе и классифицируются по химическому составу, в соответствии с которым выделяют карбонатные, кремнистые, сернокислые, галогенные, фосфатные и углеродистые.

Карбонатные породы

Известняки – образования, состоящие из кальцита, часто с примесью глины и песка. По содержанию глинистых примесей различают глинистые известняки (глины < 20 %), известковистые мергели (> 20 %), мергели (30–50 %) и известковистые глины (глины > 50 %). При увеличении количества песка в известняках их называют песчанистыми известняками или известковистыми песчаниками.

При определении известняков используются реакции с разбавленной соляной кислотой (10 %), при воздействии которой они бурно вскипают, но при этом на поверхности образца не образуется, в отличие от мергелей, грязное пятно.

По структуре среди известняков различают крупно- средне- и мелкозернистые, равномерно и неравномерно-зернистые, землистые, солитовые, кристаллически-зернистые, детритусовые (лат. детритус - перетертый), афанитовые (греч. афанэс — неясный), плотные и др. Они также весьма различны по текстуре, окраске и другим признакам.

По происхождению известняки разделяются на органогенные и хемогенные. Органогенные известняки бывают как плотными, так и пористыми и даже кавернозными. Органогенное происхождение известняков часто легко определяется: во многих случаях они состоят из хорошо различимых раковин моллюсков, члеников морских лилий, раковин, скелетных частей - зоогенные известняки или из скелетных образований водорослей - фитогенные известняки.

В зависимости от того, скелетные образования, каких организмов слагают породу, различают известняки коралловые, фузулиновые, нуммулитовые.

Известняки, которые состоят из почти полностью сохранившихся створок раковин пластинчато-жаберных моллюсков, называют ракушечниками. Чистые известняки белые, но примеси окрашивают их в самые разные цвета.

Биохимические известняки состоят из мельчайших зерен кальцита, выделенных бактериями, и в них не наблюдается каких-либо признаков органогенной структуры. Эти известняки образуют переходы к известнякам химического происхождения.

Многие известняки имеют смешанный органогенно-хемогенный генезис, например, писчий мел (60-70 % остатки планктонных организмов, а остальная масса - порошкообразный кальций химического происхождения).

Хемогенные известняки встречаются часто. Среди них различают: микрозернистые известняки, состоящие из мельчайших зерен кальцита; оолитовые известняки, образованные шаровидными

ми известковыми зернами, по форме и размерам напоминающие просяное зерно («икряной камень»); известковые туфы - пористые породы, формирование которых связано с отложением кальцита водами источников, богатыми двууглекислой известью. Эти породы часто содержат отпечатки растительных и животных организмов. Хемогенные известняки часто образуют натечные формы, примерами которых служат сталактиты и сталагмиты в известковых пещерах.

Мергели - широко распространенные карбонатные породы, имеющие большое практическое значение как сырье для цементной промышленности. Имеют высокую плотность, раковистый или неровный скол, белые или светлоокрашенные, бурно реагируют с разбавленной соляной кислотой, причем на поверхности породы остается грязное пятно.

Среди известняков и мергелей иногда встречаются кремнистые разновидности. У них большая твердость и не очень интенсивная реакция с разбавленной соляной кислотой.

Доломиты - породы, содержащие не менее 95 % минерала доломита. Чистые доломиты встречаются очень редко, в основном наблюдаются различные переходы от известняков к доломитам. Известковистые доломиты содержат более 50 % доломита, а доломитовые известняки менее 50 %. Макроскопическим способом отличить доломиты от известняков обычно нельзя. Диагностическим признаком является реакция с разбавленной соляной кислотой; доломиты вскипают только будучи растертыми в порошок. Для доломитов характерен (но не обязателен) шершавый, как бы тонкопесчанистый излом.

Кремнистые породы

Породы, состоящие преимущественно из кремнезема, могут иметь как органическое, так и химическое происхождение.

Диатомиты - скопления микроскопических скелетов диатомовых водорослей, состоящих из опала. Диатомиты - белые или светло-желтые породы, мягкие, легкие, рыхлые, часто похожие на писчий мел, но в отличие от последнего не реагируют с соляной кислотой. Диатомит легко растирается, руками в тончайшую пудру, жадно впитывает влагу и прилипает к языку.

Трепелы - внешне не отличимы от диатомитов, но имеют коллоидально-химическое происхождение. Они состоят из мельчайших зернышек опала, видимых лишь под микроскопом. Диатомиты и трепелы применяются в строительстве, химической (поглотители) и др. отраслях промышленности.

Опоки - пористые породы от серого до черного цвета. Состоят из опала и примеси кремнистых остатков мельчайших организмов (радиолярий, панцирей диатомей и др.). Они твердые и легкие, при ударе раскалываются на мелкие остроугольные обломки с раковистым изломом.

Яшмы - плотные и твердые породы, сложенные скрытокристаллическим кварцем или халцедоном. Часто содержат остатки радиолярий. Образуются в результате накопления кремнистого вещества вулканического происхождения (из гидротерм на дне водоемов).

Кремнистые конкреции нередко присутствуют в самых различных осадочных породах. Представляют собой желваки с плотным кремнистым ядром и концентрически-зональной текстурой обрастания, если они имеют внутри пустоты, то называются жеодами.

Сернокислые и галогенные породы

Сернокислые и галогенные породы различаются по химическому составу, но близки по условиям формирования. Среди этих пород распространены мономинеральные разновидности: каменная соль, гипс и ангидрит, которые образуются в соленосных водных бассейнах.

Каменная соль (галит) - зернисто-кристаллическая масса от светлой до черной окраски. Диагностические признаки: соленый вкус, легкая растворимость в воде. Каменная соль встречается как в сплошных массивах, так и в виде примесей в обломочных породах и глинах. При выветривании на поверхности таких пород возникают белые налеты ("выпоты") соли.

Гипс образуется в виде зернисто-кристаллических масс. Чистый гипс - снежно-белый, желтый или розовый. В зависимости от примесей окраска может быть разнообразной. Легко распознается по небольшой твердости, и малой плотности, не превышающей, 2400 кг/м³. Часто гипс встречается в различных осадочных породах в виде мелких зерен или друз.

Ангидрит - серая или голубовато-серая плотная порода с плотностью до 3100 кг/м³ и твердостью до 3,5, что резко отличает его от гипса. Ангидрит встречается на глубинах более 70 м, а на поверхности он вследствие гидратации переходит в гипс, увеличиваясь при этом в объеме, и приобретает гофрированную текстуру.

Железистые породы

Оолитовые железные руды - скопления оолитов лимонита размером в поперечнике от 0,2 до 15 мм. Эти руды часто обогащены псиломеланом - марганцевой рудой. Образуются они при выпадении гидроксидов железа в осадок из морской или пресной воды.

Сидерит - встречается в виде минеральных включений в осадочных породах или, реже, образует небольшие пласты и линзы. Используется в качестве руды редко.

Пирит и марказит также слагают иногда пласты и линзы, но большого промышленного значения не имеют.

Фосфатные породы

Фосфориты - породы, богатые фосфатами кальция. В зависимости от состава и количества примесей внешний вид изменяется в широких пределах. Одни фосфориты имеют облик песчаников, другие - афанитовую структуру и гладкий, ровный излом. Окраска в основном темная, но встречаются и светлые разновидности, твердость до 5. Для фосфоритов характерен чесночный запах, который они издают при ударе или трении. Обычно встречаются в виде конкреций различной формы, реже слагают пласты. Иногда наблюдаются слои обломочного материала с фосфатным цементом. Фосфориты содержат большое количество оксида фосфата, являются ценной рудой и используются как в химической промышленности, так и в сельском хозяйстве для производства удобрений.

Углеводородные соединения и углеродистые породы

К классу углеводородных соединений относится большое количество сравнительно слабо изученных соединений, представляющих из себя преимущественно битумы, воска и соли органических кислот.

Примером битума является парафин, который выпадает в осадок при движении нефти по трещинам; разновидность парафина носит название озокерит (горный воск).

Примером смолы является янтарь ($C_4OH_6O_4$). Соли органических кислот в природе многочисленны, но описано как минералы всего несколько, например, соли щавелевой кислоты ведделит ($CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$) и вевеллит ($CaC_2O_4 \cdot H_2O$), кристаллики которых образуются в клетках растений, углях и сланцах, или оксалит ($FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$), образующийся в бурых углях.

Большинство углеводородных соединений имеет экзогенное (обычно биогенное) происхождение. Некоторые, как янтарь и парафин, применяются как отдельные минералы, большинство же является компонентами нефти и углей. В группу углеродистых входят как органические, так и хемогенные породы.

Из них широко распространены торфы, ископаемые угли, горючие сланцы, битуминозные породы и нефть.

Торф – порода, состоящая из не полностью разложившихся растительных остатков и гумифицированного вещества, обогащенного органическими кислотами.

Ископаемые угли образовались из остатков растительности, накопившейся в мелководных водоемах и болотах в процессе углефикации, в результате которого органическое вещество потеряло кислород и водород и обогащалось углеродом по следующей схеме: древесина (50 % C), бурый уголь (≈ 70 % C), каменный уголь (82 % C), антрацит (95 % C).

Бурый уголь - плотная темно-бурая или черная порода с матовым или реже стекляннным блеском, раковистым изломом и бурой чертой.

Каменный уголь - черный, с жирным блеском и черной матовой или блестящей чертой, хрупок, пачкает руки, излом раковистый. Обладает хорошо выраженной слоистостью.

Антрацит - отличается от каменного угля большей твердостью, ярким полуметаллическим блеском, неровным изломом и тем, что он не пачкает рук.

Горючие сланцы - сланцеватые темно-серые, бурые или коричневые породы, горящие коптящим пламенем с выделением густого дыма и запаха битума. Образуются они при накоплении битумов одновременно с отложением тонких илов.

Битумы представляют собой нефти и летучие горючие вещества. Битуминозные породы пропитаны или содержат рассеянные включения нефти. Это темные породы, издающие запах битума при ударе. Битумы в породе обнаруживаются по реакции с хлороформом; на бумаге после испарения капли хлороформа с порошком породы, содержащей битумы, остается масляное пятно.

Нефти представляют собой жидкости от светло-желтого (легкие разновидности) до коричневатого-черного (тяжелые разновидности) цвета со специфическим запахом битума и масляным блеском, капля нефти на воде образует, радужную пленку.

При определении в описании осадочных горных пород характеризуют текстуру и структуру породы, характер слоистости (в случае ее отсутствия это должно быть специально оговорено). Указывается окраска, твердость (для монолитных мономинеральных пород), излом, плотность, состав породы, а также все виды включений.

Часть 2. Месторождения полезных ископаемых и их разведка

2.1. Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых

2.1.1. Основные понятия и определения

[На оглавление](#)

Полезным ископаемым называют природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путем дробления, сортировки, обогащения для извлечения ценных металлов или минералов. По физическому состоянию полезные ископаемые бывают газообразными, жидкими и твердыми. К газообразным относятся горючие газы углеводородного состава и негорючие инертные газы, к жидким - нефть, рассолы, воды, к твердым - большинство полезных ископаемых, которые применяются как химические элементы или их соединения, а также кристаллы, минералы, горные породы.

По промышленному использованию полезные ископаемые разделяются на металлические, неметаллические, горючие, или каустобиолиты, гидро - и газоминеральные.

Металлические полезные ископаемые служат для извлечения из них металлов и элементов: черных (железо, титан, хром, марганец); легирующих (никель, кобальт, вольфрам, молибден); цветных (алюминий, медь, свинец, цинк, сурьма, ртуть); благородных (золото, серебро, платина, палладий); радиоактивных (уран, радий, торий); редких и рассеянных (висмут, цирконий, ниобий, тантал, галлий, германий, кадмий, индий); редкоземельных (лантан, церий, иттрий, прометий, самарий, лютеций).

К неметаллическим полезным ископаемым принадлежат строительные горные породы (естественные строительные камни, пески, глины, сырье для каменного литья, стекол и керамики), индустриальное (алмаз, графит, асбест, слюды, драгоценные и поделочные камни, пьезокристаллы, оптические минералы), а также химическое и агрономическое сырье (сера, флюорит, барит, галит, калийные соли, апатит, фосфориты).

Горючие ископаемые включают торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, озокерит, нефть, горючий газ. Они служат энергетическим и металлургическим (кокс) топливом, а также сырьем для химической промышленности.

К газоминеральному сырью относятся негорючие инертные газы: гелий, неон, аргон, криптон и др.

Гидроминеральные полезные ископаемые разделяют на подземные воды: питьевые, технические, бальнеологические, или минеральные, и нефтяные, содержащие ценные элементы (бром, йод, бор, радий и др.) в количестве, позволяющем извлекать их, а также рассолы (озерные рассолы, минеральные грязи, илы). Важным гидроминеральным сырьем являются также воды морей и океанов, используемые для получения пресной воды и извлечения многих ценных элементов.

Рудой называется минеральное сырье, содержащее ценные полезные компоненты (металлы, их соединения, минералы) в количестве, достаточном для промышленного извлечения при современном состоянии экономики, техники и технологии. В зависимости от вида извлекаемого компонента выделяются руды металлические (железные, медные, свинцово-цинковые и т. д.) и неметаллические (серные, асбестовые, графитовые, апатитовые и др.). По количеству компонентов различают руды монометалльные (мономинеральные), биметалльные (биминеральные) и полиметалльные (полиминеральные).

Понятия «полезное ископаемое» и «руда» являются, в известной степени, условными, отражают характерные для определенного исторического периода потребности народного хозяйства в

различных видах минерального сырья, технологические возможности и экономические условия их добычи, переработки и промышленного использования.

Так, согласно В. И. Вернадскому, человек потреблял в древние века только 18 элементов, к XVIII в. их число возросло до 25, в XIX в. - до 47, в начале XX в. - до 54, а в середине XX в. применялось 80 элементов таблицы Д. И. Менделеева, не считая 12 трансураниевых. В XX в. полезными ископаемыми стали калийные соли, урановые руды, нефелин, перлит, волластонит и многие другие. Промышленное значение приобрели также железистые кварциты (после разработки технологии их обогащения в 1955 г.) и апатит-магнетитовые руды (благодаря применению томасовского способа плавки). В последние годы возросла потребность новых отраслей техники в рассеянных металлах (германий, галлий, рений, индий и др.). Разработка технологии разделения редкоземельных элементов привела к интенсивному использованию их в металлургии специальных высококачественных сталей и сплавов.

Увеличение потребности в полезных ископаемых обусловило значительный рост объемов их добычи. Все новые виды минерального сырья вовлекаются в промышленное использование в связи с запросами вновь возникающих отраслей техники, нуждающихся в новых конструкционных материалах, обладающих высокой твердостью, прочностью и другими специфическими свойствами. Некоторый дефицит отдельных металлов предопределяет необходимость замены их другими металлами или неметаллическим сырьем, добыча которого также резко возросла в связи с ростом строительства, широким применением минеральных удобрений, развитием химической промышленности. Огромные масштабы добычи полезных ископаемых вызывают необходимость наиболее полного извлечения их при добыче и переработке, комплексности использования и уменьшения потерь.

Месторождением полезного ископаемого называется его природное в виде геологических тел скопление в земной коре, которое по условиям залегания, количеству и качеству минерального сырья при данном состоянии экономики и техники может служить объектом промышленной разработки в настоящее время или в ближайшем будущем. К месторождениям полезных ископаемых промышленность предъявляет требования, определяемые технической возможностью и экономической целесообразностью их разработки. Совокупность требований называется кондициями. Они не являются постоянными и зависят от экономических условий и состояния техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Площади распространения полезных ископаемых в порядке их уменьшения разделяются на провинции, области (пояса, бассейны), районы (узлы), поля, месторождения, тела.

Провинция полезных ископаемых представляет собой крупный участок земной коры, относящийся к платформе или складчатой геосинклинальной зоне, со свойственными ему и размещенными в его пределах месторождениями. По этому признаку выделяют провинции Русской и Сибирской платформ, Уральскую (герциниды Урала), Кавказскую (альпиды Кавказа) и т. п. Различают также провинции по видам минерального сырья: металлогенические, угленосные, нефтегазосные. Среди металлогенических отмечаются провинции докембрийских платформ, калидонских, герцинских, мезозойских и альпийских складчатых зон. Угленосные провинции разделяют по основным эпохам угленакопления на карбоновые, пермско-юрские, позднемиоценовые, палеоген-неогеновые. Площади провинций весьма значительны и могут составлять от сотен тысяч до миллиона и более квадратных километров.

Область полезных ископаемых составляет часть провинции и характеризуется набором определенных по составу и происхождению месторождений полезных ископаемых. Они приурочены к одному или к группе крупных тектонических элементов, обуславливающих геологическое строение провинции. К таким структурам на платформах относятся щиты, антеклизы и синеклизы, в пределах геосинклиналей - антиклинории, синклинории, краевые и межгорные прогибы, срединные массивы. Площади областей изменяются от десятков тысяч до первых сотен тысяч квадратных километров. В пределах областей размещение месторождений полезных ископаемых может иметь поясовый или бассейновый характер.

Пояс полезных ископаемых представляет собой область, в пределах которой месторождения приурочены к линейно-вытянутым тектоническим структурам. Выделяют пояса металлогенические, или рудные, нефтегазосные и угленакопления. Типичными рудными поясами являются полиметаллический пояс Рудного Алтая размером 300×40 км и Яно-Индигово-Колымский золоторудный размером 1000×(60—100) км.

Бассейн - это область почти непрерывного распространения пластовых осадочных полезных ископаемых с площадью от нескольких сотен до нескольких сотен тысяч квадратных километров.

Район (узел) полезных ископаемых составляет часть области и характеризуется местным сосредоточением месторождений. Площади рудных районов колеблются от сотен до первых тысяч квадратных километров, площади узлов угленакопления значительно больше

Поле полезных ископаемых - группа месторождений, объединяемых общностью происхождения и единством геологической структуры. Площади полей составляют от нескольких до десятков квадратных километров.

Телом полезного ископаемого называют ограниченное со всех сторон скопление минерального вещества, которое приурочено к отдельным структурным элементам или их комбинациям.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется полезным ископаемым, рудой?
2. Как разделяются полезные ископаемые по физическому состоянию и промышленному использованию?
3. Дайте определение следующим понятии: провинция, пояс, бассейн, район (узел), поле, месторождение, тело полезных ископаемых. Приведите примеры.

2.1.2. Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых

[На оглавление](#)

Минеральные агрегаты, представляющие собой полезные ископаемые, залегают в земной коре в виде геологических тел различной формы. Форма, размеры и пространственная ориентировка тел полезных ископаемых среди вмещающих пород определяют их морфологию. Морфологические особенности месторождений полезных ископаемых зависят от условий их образования, а также от геологического строения тех участков земной коры, к которым они приурочены. Изучение морфологии и условий залегания тел полезных ископаемых имеет большое практическое значение, особенно для составления рациональных проектов разведки и эксплуатации месторождений.

Для месторождений твердых полезных ископаемых выделяют три основных морфологических типа тел: изометричные, плитообразные (плоские) и трубообразные.

Изометричные тела приблизительно равновелики в трех измерениях. К ним относятся штоки, гнезда и штокверки (рис. 2.1).

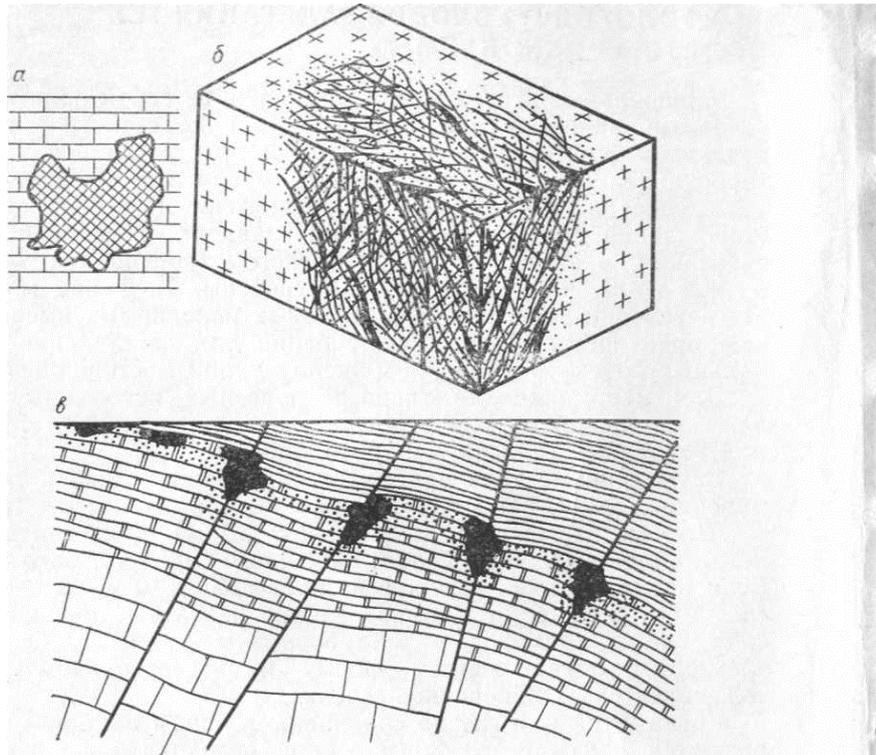


Рис. 2.1. Формы изометрических тел полезных ископаемых:
а – шток (в плане), штокерк; в – гнезда (в плане)

Штоком называется крупная (от 10 м) изометричная залежь сплошного или почти сплошного минерального сырья. Если размеры таких залежей не превышают 10 м, их называют гнездами. В качестве примера можно назвать штоки каменной соли, гнезда хромитов в ультраосновных породах. Основным элементом, определяющим форму и размеры изометричных тел, является их поперечное сечение.

Когда шток или гнездо сплюснены в одном направлении, образуются линзы и чечевицы — тела, переходные по форме от изометричных к плитообразным.

Штокерк представляет собой более или менее изометричный объем горной породы, пронизанный различно ориентированными прожилками и насыщенный вкрапленностью минерального вещества. Границы промышленной залежи в пределах штокерка устанавливаются по данным опробования. В качестве руды в данном случае рассматривается масса горной породы, пересеченная прожилками, если она удовлетворяет требованиям кондиций. Примерами штокерков могут служить тела некоторых месторождений меди, олова, молибдена и других полезных ископаемых.

Плитообразные (плоские) тела характеризуются двумя большими и одним (мощность) значительно меньшим размером. Это самый распространенный в природе морфологический тип, к которому принадлежат пласты и жилы (рис. 2.2)

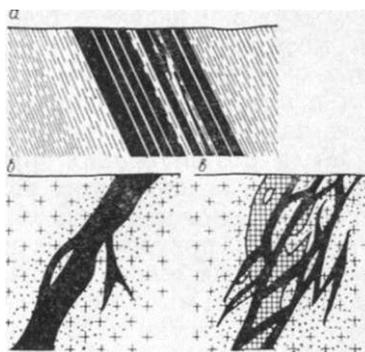


Рис. 2.2. Формы плитообразных (плоских) тел полезных ископаемых:
а — сложный пласт, б — простая жила, в — сложная жила

Пласт — это плитообразное тело, обычно осадочного происхождения, отделенное от других пород более или менее параллельными плоскостями напластования (подошвой, или почвой, и кровлей пласта). Пласты могут быть простыми, когда они однородны по составу и не включают прослоев вмещающих пород, и сложными, состоящими из чередующихся прослоев полезного ископаемого и вмещающих пород. Следует отметить, что в структурной геологии чаще используется более общий термин — слой

Пласты могут иметь раздувы и пережимы по мощности, простое или сложное выклинивание. Примерами могут являться пласты угольных, марганцевых, железорудных и других осадочных месторождений. Тела полезных ископаемых неосадочного происхождения, близкие по форме к пластам, принято называть пластообразными залежами.

Жилы представляют собой трещины в горных породах, выполненные минеральным веществом полезного ископаемого. Их также считают плитообразными телами, поскольку, протягиваясь по простиранию и на глубину на десятки и сотни, метров, они характеризуются значительно меньшим третьим измерением - мощностью, которая обычно изменяется от нескольких сантиметров до первых метров.

Залегание жил может быть наклонным, вертикальным, реже горизонтальным. В случае наклонного залегания породы, перекрывающие жилу, называют породами висячего бока, а подстилающие ее — породами лежачего бока. Поверхность, по которой минеральное вещество соприкасается с вмещающей породой, называют зальбандом. При резком уменьшении мощности жилы говорят о ее выклинивании или пережиме, при увеличении мощности - о раздуве.

Жилы так же, как и пласты, делят на простые и сложные. К простым относятся одиночные минерализованные трещины, к сложным - системы переплетающихся трещин, зон дробления, рассланцевания (см. рис. 2,6, в). По деталям морфологии среди жил различают четковидные, камерные, седловидные, лестничные, разлистования и др. (рис. 2.3).

Для ветвящихся (сетчатых) жил типично наличие ответвлений (апофиз) отходящих от основной рудной жилы в сторону от ее лежачего и висячего боков.

Такие формы свойственны многим месторождениям слюдоносных и редкометалльных пегматитов. Лестничная жила состоит из системы поперечных трещин в пластах или дайках хрупких пород, залегающих среди более пластичных образований. Жила разлистования представляет собой систему жил и прожилков, возникающих вследствие выполнения

минеральным веществом сложной сети тонких более или менее параллельных трещин, приуроченных к зоне рассланцевания. В камерных и четковидных жилах по их простиранию чередуются раздувы различной формы и пережимы. Седловидные жилы приурочены к замковым частям складчатых структур. Наиболее характерны тела жильной формы для месторождений цветных, редких и благородных металлов.

Основными геологическими элементами, определяющими размеры и условия залегания плитообразных тел, являются направление простирания и длина по простиранию, направление и угол падения, длина по нему, а также мощность.

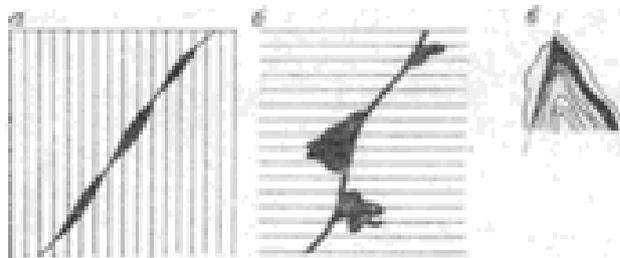


Рис.2.3.Формы жильных тел полезных ископаемых а- четковидная, б-камерная, в-седловидная

Трубообразные (столбообразные) тела полезных ископаемых вытянуты по одной оси. Поперечное сечение таких тел может быть изометричным, эллиптическим, линзообразным (рис. 2.4).

Морфология и условия залегания трубообразных тел определяются углом погружения (или ныряния), длиной по направлению погружения и площадью поперечного сечения. Угол погружения - это угол между осью трубообразного тела и горизонтальной плоскостью. Он может

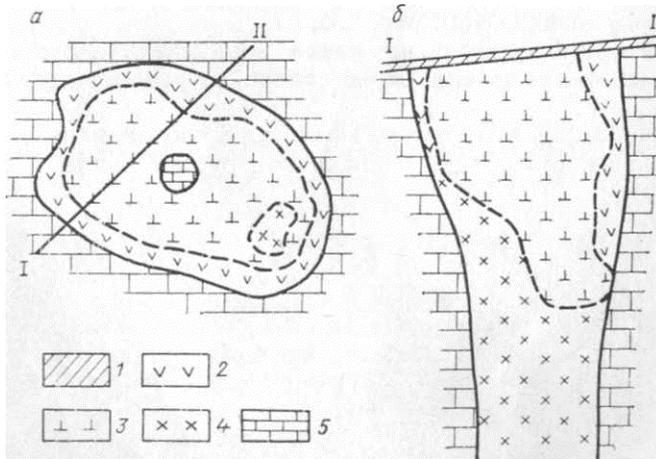


Рис. 2.4. Трубообразное тело:
а - геологический план, *б* - разрез кимберлитовой трубки (по А. П. Бобраевичу). 1- наносы; (2-4)- кимберлит: 2 - измененный желтый, 3 - измененный зеленый, 4 - малоизмененный; 5 - карбонатные породы

изменяться от 0 до 90°. Размеры поперечного сечения и длина оси достаточно изменчивы. На месторождениях полезных ископаемых трубообразные тела встречаются довольно редко. Наиболее типичные представители их - алмазонаосные кимберлитовые трубки взрыва.

По возрастному соотношению с вмещающими породами различают две группы рудных тел (и месторождений) - сингенетические и эпигенетические.

Сингенетическими являются тела, сформировавшиеся одновременно или почти одновременно с вмещающими породами. Типичными примерами их могут служить пласты и линзы осадочных месторождений.

Эпигенетическими называются тела, образованные позднее вмещающих пород. К этой группе всегда относятся различного рода жилы.

Все описанные рудные тела могут либо выходить на дневную поверхность, либо залегать на той или иной глубине. В последнем случае их называют «слепыми», или скрытыми. В зависимости от глубины, на которой размещаются тела полезных ископаемых, их делят на поверхностные (до 100 м) и глубоко-залегающие.

По характеру залегания среди тел полезных ископаемых различают горизонтальные (угол падения до 10°) и наклонные. При угле падения более 45° тела называют крутопадающими.

По отношению к первичному напластованию или контактам вмещающих пород тела полезных ископаемых бывают согласные и секущие. Сингенетические тела всегда имеют согласное залегание.

Выклинивание тел полезных ископаемых может быть простым, когда мощность уменьшается постепенно, тупым, если мощность уменьшается резко, и сложным, когда тело полезного ископаемого разделяется при выклинивании на многочисленные тонкие пропластки и прожилки.

Контакты тел полезных ископаемых бывают резкими (четкими) и постепенными, если сплошная масса полезного ископаемого переходит в породу через зону вначале богатой, а затем постепенно убывающей вкрапленности. По форме выделяют контакты ровные и извилистые.

Тела полезных ископаемых любой формы иногда нарушены постминерализационными тектоническими деформациями, усложняющими первоначальную структуру месторождения и нередко вызывающими серьезные трудности при ведении горных работ. Во-первых, они приводят к изменению форм тел, ухудшают условия разработки или делают ее невозможной. Во-вторых, по зонам тектонических нарушений движутся грунтовые воды. В-третьих, в таких зонах полезное

ископаемое смято и раздроблено, качество его ухудшено, проходка и крепление выработок затруднены.

Постминерализационные тектонические нарушения (деформации) делятся на складчатые и разрывные. Складчатые нарушения наиболее характерны для осадочных месторождений металлического и неметаллического сырья и угля. Если им подвержены жесткие непластичные полезные ископаемые (железные руды, известняки), то изменения мощности тела не отмечается. При складчатых деформациях пластичных полезных ископаемых (гипс, уголь, соль, графит) обычно происходит уменьшение мощности пластов на крыльях и увеличение в замках складок.

Наиболее распространенными на месторождениях разрывными нарушениями являются сбросы, взбросы и сдвиги. Они характерны как для эндогенных, так и для экзогенных месторождений. Обычно встречаются комбинации различных нарушений. По взаимоотношению простираний залежи и сместителя сбросы и взбросы делят на продольные, поперечные и диагональные.

При изучении разрывных тектонических нарушений часто важно определить направление движения отдельных блоков, что помогает обнаружить смещенную часть тела полезного ископаемого. Для этой цели используют такие геологические и структурные признаки как загибы пластов (пласты пластичных пород несколько изогнуты по направлению движения), борозды на зеркалах скольжения (глубина борозд уменьшается в направлении движения), ориентировка «слоистости» в глинке трения и др.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте характеристику основных морфологических типов тел полезных ископаемых.
2. Какие геологические элементы определяют форму, размеры и условия залегания изометричных, плоских и трубообразных тел полезных ископаемых?
3. Какие тела (месторождения) полезных ископаемых называются сингенетическими и эпигенетическими, согласными и секущими?
4. Какие существуют типы выклинивания и контактов тел полезных ископаемых?
5. Назовите основные виды тектонических нарушений первичного залегания тел полезных ископаемых.

2.1.3. Вещественный состав полезных ископаемых

[На оглавление](#)

Являясь природными минеральными образованиями, все полезные ископаемые обладают определенным вещественным (минеральным и химическим) составом, строением, или структурно-текстурными особенностями, а также некоторым комплексом физических, физико-химических и технологических свойств. Все эти характеристики в общем случае обуславливают качество полезных ископаемых, которое имеет важнейшее значение для оценки месторождений с целью их промышленного использования.

Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных, или ценных, и сопутствующих им нерудных, или жильных, минералов. В металлических рудах рудные минералы являются носителями ценных металлов (табл. 2), в неметаллических ценные минералы служат носителями элементов-металлоидов или же сами представляют практический интерес благодаря специфическим свойствам.

Количественные соотношения между рудными и сопутствующими жильными минералами колеблются в разных месторождениях в широких пределах. Так, в золотоносных жилах кварца на долю золота приходится тысячные доли процента, в полиметаллических рудах содержание галенита и сфалерита может достигать 30 - 50%; богатые руды железа почти целиком состоят из рудных минералов.

По составу преобладающей части минералов выделяются следующие типы руд:

самородные - самородные металлы и интерметаллические соединения - медь, золото, платина;

сернистые и им подобные - сульфиды, арсениды и антимониды тяжелых металлов - меди, цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена;

оксидные - оксиды и гидроксиды железа, марганца, хрома, олова, урана, алюминия;

карбонатные - карбонаты железа, марганца, магния, свинца, цинка, меди;

сульфатные - сульфаты бария, стронция, кальция;

фосфатные - апатитовые и фосфоритовые неметаллические руды, а также фосфаты некоторых металлов;
 силикатные - сравнительно редкие руды железа, марганца, меди; широко распространенные неметаллические полезные ископаемые— слюда, асбест, тальк;
 галоидные) - минеральные соли и флюорит.

По вещественному составу, определяющему промышленную ценность и технологические свойства, полезные ископаемые разделяются на природные типы и промышленные сорта.

Таблица главные ценные минералы руд. 2.1

| Элемент | Минерал | Формула | Со- держание эле- мента, % | Пл отность, п-10', кг/м3 |
|----------|--------------------------|---|--|-----------------------------------|
| Алюминий | Диаспор | $AlO(OH)$ | 47,2 | 3,3 |
| » | Бёмит | $AlO(OH)$ | 47,2 | 3,0 |
| » | Гидраргилит (гиббсит) | $Al(OH)_3$ | 36,2 | 2,4 |
| | Нефелин | $KNa_3[AlSiO_4]_4$ | 18,9 | 2,6 |
| » | Алунит | $KAl_3[S0_4]_2(OH)_6$ | 20,5 | 2,7 |
| Барий | Барит | $(Ba, Sr)[504]$ | 58,0 | 4,3 |
| Бериллий | Берилл | $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ | 5,1 | 2,7 |
| Вольфрам | Вольфрамит | $(Fe, Mn)[WO_4]$ | 60,5 | 7,0 |
| » | Шеелит | $Ca[WO_4]$ | 63,8 | 6,0 |
| Железо | Магнетит | Fe_3O_4 | 72,3 | 5,2 |
| » | Гематит | Fe_2O_3 | 70,0 | 5,2 |
| » | Лимонит | $FeO(OH) \cdot nH_2O$ | 55,0 | 4,0 |
| » | Сидерит | $Fe[CO_3]$ | 48,1 | 3,8 |
| » | Ильменит | $(Mg, Fe)TiO_3$ | 36,8 | 4,5 |
| Калий | Сильвин | KCl | 52,4 | 2,0 |
| » | Карналлит | $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ | 14,1 | 1,6 |
| Литий | Сподумен | $LiAl[Si_2O_6]$ | 8,1 | 3,2 |
| » | Лепидолит | $KLi_2Al[Si_4O_{10}] \cdot$ $(Fe, OH)_2$ | 3,7 | 2,8 |
| Марганец | Пирролюзит | MnO_2 | 63,2 | 4,8 |
| » | Манганит | $MnO(OH)$ | 62,5 | 4,3 |
| » | Псиломлан | $\tau MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ | 45,0 | 4,6 |
| Медь | Медь само- род | Si | 100 | 8,8 |
| » | Халькозин | Si_2S | 79,8 | 5,7 |
| » | Ковелли | $Si_2S \cdot SiS_2$ | 66,5 | 4,7 |
| » | Халькопирит | $SiFeS_2$ | 34,6 | 4,2 |
| » | Борнит | $Si_5Fe_3S_4$ | 63,3 | 5,2 |
| » | Куприт | Si_2O | 88,8 | 6,0 |
| » | Малахит | $Si_2[CO_3](OH)_2$ | 57,5 | 4,0 |
| » | Азурит | $Si_3[CO_3]_2(OH)_2$ | 55,3 | 3,8 |
| Молибден | Молибденит | MoS_2 | 60,0 | 4,8 |
| Мышьяк | Арсенопирит | $FeAsS$ | 46,0 | 6,0 |
| » | Реальгар | AsS | 70,1 | 3,5 |
| » | Аурипигмент | As_2S_3 | 61,0 | 3,5 |
| Никель | Пентландит | $(Fe, Ni)_9S_8$ | 34,2 | 4,8 |
| » | Силикаты никеля | | 18,0 | 2,8 |

| | | | | |
|--------|--------------|--|------|-----|
| Олово | Касситерит | Sn ₂ | 78,7 | 7,0 |
| Ртуть | Киноварь | HgS | 86,2 | 8,1 |
| Свинец | Галенит | PbS | 86,6 | 7,5 |
| Сера | Сера само- | S | 100, | 2,0 |
| » | род- | | 0 | |
| » | Пирит | FeS ₂ | 53,4 | 5,2 |
| » | Пирротин | Fe _{1-x} S | 36,5 | 4,6 |
| » | Гипс | CaSO ₄ ·2H ₂ O | 23,2 | 2,3 |
| Сурьма | Антимонит | Sb ₂ S ₃ | 71,4 | 4,6 |
| Титан | Рутил (тита- | TiO ₂ | 60,0 | 4,2 |
| » | нит) | | | |
| » | Ильменит | (Mg, Fe)TiO ₃ | 31,6 | 4,7 |
| Фосфор | Апатит | Ca ₅ [P ₀₄] ₃ (F, Cl, ОН) | 41,5 | 3,2 |
| » | Фосфорит | Смесь апатита и гидроксил- | 20,0 | 3,0 |
| | | апатита | | |
| Фтор | Флюорит | CaF ₂ | 48,8 | 3,2 |
| Хром | Хромит | FeCr ₂ O ₄ | 46,4 | 4,4 |
| Цинк | Сфалерит | ZnS | 67,1 | 3,8 |

Типами полезных ископаемых называют их природные разновидности, выделяемые в зависимости от минерального состава, текстурных и структурных особенностей с учетом возможности пространственного обособления. Промышленные сорта включают один или несколько природных типов полезных ископаемых, разработка которых рентабельна и обеспечивает необходимое качество получаемой продукции.

По степени концентрации ценных минералов различают богатые (массивные, сплошные), рядовые и бедные (вкрапленные) руды. По генезису руды делят на первичные (неизменные) и вторичные. Наконец, существует группировка минерального сырья по сортам, основанная на различии специфических свойств и характеристик ценных минералов.

Важным показателем вещественного состава руд, влияющим на оценку их качества, служит содержание вредных примесей. Для руд железа и марганца вредными примесями являются сера и фосфор, для бокситов - кремнезем и сера, для золотых руд - мышьяк, для фосфоритов - магний, для серных руд - общий углерод, битумы, мышьяк и селен. Вредные примеси снижают качество руд, а в ряде случаев делают крайне сложными или невозможными их переработку и использование.

В большинстве случаев руды кроме главных содержат сопутствующие ценные компоненты. Их извлечение даже при небольшом содержании повышает общую ценность руд. Часто попутные ценные компоненты по стоимости превышают главные, а их запасы в комплексных месторождениях нередко выше, чем на крупных самостоятельных месторождениях. К сожалению, многие комплексные руды труднообогатимы.

Для полезных ископаемых, которые используются целиком, без предварительной переработки (например, строительные горные породы), ценные и сопутствующие минералы не выделяются. К основным характеристикам их вещественного состава, определяющим качество минерального сырья, относятся физико-технические свойства пород, соответствующие направлениям промышленного применения.

Специфический состав имеют твердые горючие ископаемые - угли, горючие сланцы; они содержат органические и неорганические компоненты. Органические компоненты представляют собой обособленные элементы исходного растительного материала и продуктов его преобразования. Они обычно различаются под микроскопом, так как, с одной стороны, обладают определенными морфологическими и структурными признаками, а с другой, - изменчивым под влиянием геологических факторов химическим составом и физическими свойствами. По особенностям состава и свойств среди твердых горючих ископаемых выделяют макротипы (литотипы), микролитотипы и микрокомпоненты.

К неорганическим компонентам, обязательно присутствующим в твердых горючих ископаемых в больших или меньших количествах, относятся минеральные примеси (глинистые минералы, карбонаты, сульфиды железа, кварц и др.). Кроме минеральных примесей в твердых горючих ископаемых содержится от 15 до 60 % влаги.

В состав органических компонентов входят углерод, водород, кислород, азот, сера и фосфор. Минеральные примеси и вода считаются балластом. Сера и фосфор принадлежат к вредным примесям. Содержание балластных и вредных составляющих для большинства направлений использования твердых горючих ископаемых строго лимитируется.

Текстурно-структурные особенности полезных ископаемых являются важными показателями оценки качества минерального сырья для технологических целей. Взаимоотношения минеральных агрегатов, форма, размеры и способы сочетания в них минералов влияют на схему переработки полезных ископаемых, обуславливают оптимальную крупность их дробления и измельчения, обеспечивающую наиболее полное раскрытие зерен и извлечение полезных компонентов в соответствующие концентраты

Текстура полезных ископаемых определяется пространственным взаиморасположением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу, форме, размерам и структуре. По масштабам проявления выделяют мега-, макро- и микро- текстуры. Первая характеризует крупные по площади минеральные агрегаты, взаимоотношения между которыми изучаются в естественных или искусственных обнажениях. Макроструктура различается визуально в отдельных штуфах полезного ископаемого. Микротекстура наблюдается под микроскопом.

Структура полезных ископаемых определяется формой, размерами и способом сочетания отдельных минеральных зерен или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах. Микроструктура изучается в мелкозернистых агрегатах под микроскопом.

По морфологическим признакам выделяются следующие типы текстур полезных ископаемых: массивная, пятнистая, полосчатая, прожилковая, сфероидальная, почковидная, дробленая, пустотная, каркасная, рыхлая (рис. 2.5).

Массивная (сплошная) текстура характеризуется равномерным выполнением пространства агрегатами моно- или полиминерального состава; она распространена на месторождениях всех генетических типов.

Пятнистой (такситовой, вкрапленной) текстуре свойственны неправильные выделения рудных минералов среди нерудной минеральной массы. Она отмечается в месторождениях всех типов, кроме осадочных.

Полосчатая текстура и ее разновидности - ленточная, слоистая, линзовидная.

Плойчатая, гнейсовидная, гребенчатая и др. - представлены чередованием полос различного минерального состава или с различной структурой. Отдельные разновидности полосчатой текстуры присущи месторождениям определенных типов:

слоистая - осадочным,

гнейсовидная, сланцеватая и плойчатая - метаморфогенным,

гребенчатая (крустификационная) и поточная (флуктуационная) - магматогенным.

Прожилковая текстура типична для магматических и гидротермальных месторождений. Она образуется системой сетчатых, пересекающихся или почти параллельных прожилков.

Сфероидальная текстура отличается концентрическими выделениями минеральных агрегатов. Для различных типов месторождений характерны отдельные ее разновидности:

- нодулярная - для магматических,
- кокардовая, друзовая и секреционная - для гидротермальных,
- конкреционная и секреционная - для месторождений выветривания,
- оолитовая, бобовая, конгломератовая - для осадочных, кольцевая,
- друзовая и лучистая - для метаморфогенных.

Почковидная текстура возникает при выделении минеральных масс из коллоидных растворов. Наиболее часто она наблюдается в рудах месторождений выветривания и гидротермальных.

Текстура дробления формируется в результате дробления минеральных масс ранней генерации и последующей цементации обломков минералами поздних генераций. Отдельные ее разновидности — брекчиевая, брекчиевидная, петельчатая — отмечаются в рудах месторождений метаморфогенных, магматических, гидротермальных и выветривания.

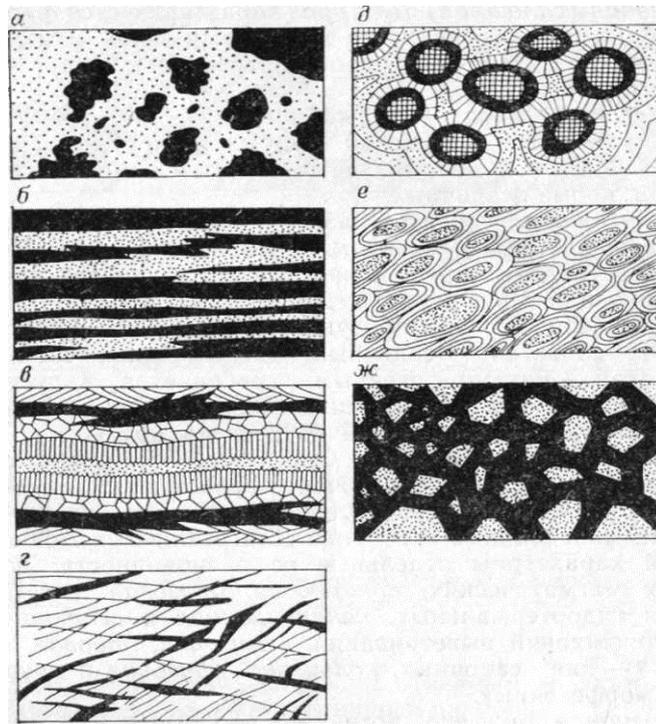


Рис. 2.5. Типы текстур полезных ископаемых (по В. И. Смирнову):
 а - пятнистая, б - полосчатая, в - кристификационная, г - прожилковая, д - кокардовая, е - оолитовая, ж – брекчиевая

Пустотная (пористая, пузырчатая, сотовая) текстура типична для отдельных участков месторождений выветривания и отличается кавернозным строением рудной массы, обусловленным избирательным выщелачиванием минералов.

Каркасная (ячеистая, ящичная) текстура также возникает в зоне окисления рудных месторождений. Она представлена системой тонких минеральных перегородок, ячейки которых выполнены рыхлой минеральной массой.

Рыхлая (обломочная, землистая, порошковая, сажистая) текстура наблюдается на месторождениях выветривания и осадочных. Она свойственна слабо уплотненным осадкам, сложенным обломками и зернами различного размера.

Среди структур полезных ископаемых по морфологическим признакам выделяются следующие типы: равномернозернистая, неравномернозернистая, пластинчатая, волокнистая, зональная, кристаллографически ориентированная, тесного срастания, замещения, дробления, колломорфная, сферолитовая, обломочная (рис.2.6.).

Равномернозернистая структура характеризует минеральные агрегаты, сложенные зернами минералов приблизительно одного размера. Она типична для эндогенных месторождений. В рудах магматогенных месторождений встречаются равномернозернистые структуры отложения (гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, сидеронитовая и др.), а в рудах метаморфогенных месторождений - структуры перекристаллизации.

Неравномернозернистая структура отмечается в мелкозернистых агрегатах, включающих выделения крупных зерен, или в крупнозернистых агрегатах, содержащих мелкие включения какого-либо минерала. Этот тип структур присущ магматическим и гидротермальным месторождениям.

Пластинчатая и волокнистая структуры, наблюдаемые в эндогенных месторождениях, характеризуются соответственно пластинчатой и нитевидной формой слагающих полезное ископаемое минеральных выделений.

Зональная структура выражается в закономерном чередовании минеральных полос, последовательно отлагавшихся из гидротермальных растворов.

Кристаллографически ориентированная структура (решетчатая, эмульсионная) свойственна магматическим, пегматитовым и реже гидротермальным месторождениям. Для нее типичны выделения одного минерала по кристаллографическим направлениям другого.

Структура тесного срастания (сетчатая, графическая и др.) возникает в результате глубокого проникновения одних минералов в другие с образованием сложных извилистых границ. Она встречается преимущественно в магматогенных месторождениях.

Структура замещения формируется в процессе метасоматического выделения одних минералов по контурам ранее образовавшихся. Ее разновидности - петельчатая, скелетная, реликтовая - отмечаются в рудах зоны выветривания и гидротермальных месторождений.

Структура дробления наблюдается в основном в метаморфогенных месторождениях. Она является результатом отложения поздних минералов в разрушенных зонах ранее выделявшихся агрегатов.

Колломорфная структура полезных ископаемых коры выветривания, а также осадочного и гидротермального происхождения развивается при выделении минералов из коллоидных растворов.

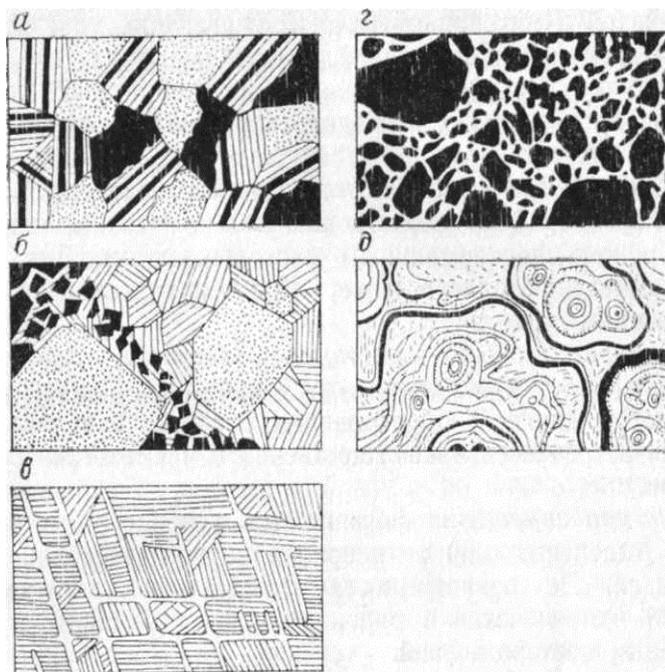


Рис. 2.5. Типы структур полезных ископаемых (по В. И. Смирнову):
а - равномернозернистая, б - неравномернозернистая, в - кристаллографически ориентированная, г - дробления, д - колломорфная

Сферолитовая структура отличается лучистым или концентрически-округлым строением минерального агрегата. Она наблюдается в рудах месторождений выветривания и гидротермальных. Обломочная структура типична для осадочных месторождений. Она характерна для раздельнозернистых или сцементированных минеральных масс.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется качеством полезных ископаемых?
2. Какие характеристики определяют вещественный состав металлических и неметаллических руд, ископаемых углей, строительных горных пород?
3. Назовите главные промышленные минералы руд алюминия, вольфрама, железа, марганца, меди, никеля, серы, фосфора.
4. Что такое типы и сорта полезных ископаемых?
5. Что называется текстурой и структурой полезных ископаемых?

2.1.4. Геологические условия образования месторождений полезных ископаемых

[На оглавление](#)

Изучение геологических условий образования месторождений полезных ископаемых включает в себя вопросы, касающиеся их генетической систематики, связи с определенными геологическими структурами и комплексами горных пород, источников и способов отложения полезных минеральных масс, а также физико-химических параметров процессов рудообразования.

Таблица 2.2.

| Генетическая классификация полезных ископаемых | | | |
|--|------------------------------|--|---|
| Серия | Группа | Класс | Подкласс |
| Эндогенная | Магматогенная | Магматический | Раннемагматический Позднемагматический Ликвационный |
| | | Пегматитовый | Простых пегматитов Перекристаллизованных пегматитов Метасоматически замещенных пегматитов |
| | | Гидротермальный | Плутоногенный (глубинный) Вулканогенный (приповерхностный) |
| | Магматогенно-метаморфогенная | Контактово-метасоматический | Альбититовый Грейзеновый Скарновый (известково- и магнезиально-скарновый) |
| | Метаморфогенная | Метаморфизованный | Регионально-метаморфизованный Контактово-метаморфизованный |
| | | Метаморфический | Регионально-метаморфический Контактово-метаморфический |
| Эндогенно-экзогенная | Магматогенно-седиментогенная | Вулканогенно-осадочный Гидротермально-осадочный | Не выделены » » |
| Экзогенная | Седиментогенная | Выветривания | Остаточный Инфильтрационный |
| | | Осадочный | Механический Химический Биохимический |

2.1.4.1. Генетическая классификация месторождений

[На оглавление](#)

Классификация любых объектов заключается, как известно, в объединении их в группы, близкие по определенным признакам, которые являются принципами классификации. Следовательно, выделение групп месторождений, сходных по условиям формирования, основано на генетическом принципе. Генетическая систематика месторождений имеет важное научное и практическое значение, поскольку именно условия образования месторождений определяют закономерно-

сти их размещения в земной коре, основные пространственно-морфологические и объемно-качественные характеристики.

Существует достаточно большое число вариантов классификаций месторождений по их генезису. В таблице 2.2. приведен один из наиболее распространенных. Самыми крупными единицами классификации являются серии - эндогенная, эндогенно-экзогенная и экзогенная, выделенные по принципу источников энергии, за счет которой совершаются геологические процессы, приводящие к формированию месторождений полезных ископаемых.

Объединение месторождений в группы связано с тремя основными процессами петрогенеза, а следовательно, и рудообразования - магматизмом, метаморфизмом и седиментогенезом. При этом наряду с традиционно описываемыми магматогенными, метаморфогенными и седиментогенными месторождениями дополнительно введены переходные магматогенно-метаморфогенная группа в эндогенной серии и магматогенно-седиментогенная в эндогенно-экзогенной серии. Поскольку каждый из названных процессов очень сложен по характеру развития во времени и пространстве, формам и условиям проявления, физико-химическому механизму обособления и накопления минеральных масс, именно на этих генетических принципах основано выделение более мелких единиц классификации - классов и подклассов.

Так, магматогенные месторождения подразделяются на классы в соответствии с основными этапами эволюции и дифференциации магматических расплавов, в течение которых меняется и характер среды минералообразования.

Подклассы связываются со временем и механизмом обособления полезных минеральных масс, глубиной формирования месторождений.

Метаморфогенные месторождения классифицируются согласно основным типам метаморфизма.

Для седиментных классификация базируется на основных этапах седиментогенеза (в широком смысле этого слова) - мобилизации вещества в коре выветривания и последующем осадко-накоплении, а также на физико-химическом механизме протекания этих процессов.

2.1.4.2. Связь месторождений с основными структурными элементами земной коры

[На оглавление](#)

Месторождения полезных ископаемых пространственно и генетически связаны с определенными участками земной коры, или ее основными структурными элементами, от истории геологического развития которых зависят в конечном итоге как характерные для каждого из них типы месторождений, так и условия их формирования. В связи с этим выделяются месторождения:

- 1) геосинклинальных областей;
- 2) платформенных областей;
- 3) дна морей и океанов.

Месторождения геосинклинальных областей. Геосинклинальные области представляют собой наиболее подвижные в тектоническом отношении участки земной коры. На всем протяжении развития этих мобильных областей при их постепенном превращении в относительно стабильные складчатые сооружения образуются эндогенные и экзогенные месторождения многих полезных ископаемых. Однако условия формирования месторождений существенно различаются на разных стадиях эволюции геосинклиналей. В их геологической истории выделяют две основные стадии: раннюю (ортогеосинклинальную) и позднюю (орогенную).

Ранняя стадия развития геосинклинали охватывает наиболее длительный отрезок времени - от ее заложения до основных фаз складчатости. Геологические процессы, в том числе и рудообразующие, происходят в это время в обстановке преобладающего растяжения земной коры, приводящего к нарушению ее сплошности, а также в условиях общего прогибания территории, мощного осадконакопления, интенсивного проявления подводного базальтового вулканизма. В прогибах накапливаются мощные толщи вулканогенных и осадочных пород, а по крупным разломам внедряются магмы основного и ультраосновного состава, слагающие интрузивные тела.

Ко всем комплексам пород ранней стадии геосинклинального развития - осадочным, эффузивным и интрузивным - приурочены определенные группы полезных ископаемых, причем в формировании рудных скоплений основное значение имеют мантийные источники вещества.

С осадочными комплексами связаны месторождения обломочных и глинистых пород, карбонатных пород с пластовыми залежами железных и марганцевых руд, бокситов, фосфоритов и др.

В субмаринных условиях образуются мощные вулканогенные толщи базальт-липаритового состава, с которыми ассоциируют вулканогенно- и гидротермально-осадочные месторождения меди, цинка, свинца, а также оксидных руд железа и марганца.

Ультраосновные и основные интрузивы продуцируют месторождения хромитов, титаномагнетитов, металлов платиновой группы.

Поздняя (орогенная) стадия соответствует проявлению главных фаз складчатости и постепенному превращению мобильной геосинклинальной области в молодое горно-складчатое сооружение. Она характеризуется сменой знака тектонических движений и общим воздыманием территории, которое начинается в центральных ее частях и постепенно разрастается к периферии. Интенсивно проявляются процессы метаморфизма.

Главным фазам складчатости свойственна мощная интрузивная деятельность, приводящая к образованию батолитовых тел гранитоидного состава. Для них типичны пегматитовые, альбититовые, грейзеновые месторождения олова, вольфрама, тантала, лития, бериллия. С умеренно кислыми гранитоидами ассоциируют скарновые месторождения вольфрама и гидротермальные золота, меди, молибдена, реже свинца и цинка. С малыми интрузиями заключительных этапов развития геосинклиналей генетически связаны гидротермальные месторождения руд цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов, а также скарновые месторождения комплексных руд (свинцово-цинковых, вольфрам-молибденовых).

С наземными эффузивами преимущественно андезитдацитового состава ассоциируют гидротермальные вулканогенные месторождения золота, серебра, олова, ртути. Предполагается, что источники рудного вещества на этой стадии имеют смешанный мантийно-коровый характер.

С процессами осадконакопления, которые в течение орогенной стадии развиваются в пределах прогибов, связано образование месторождений строительных материалов, каустобиолитов, минеральных солей. Большинство месторождений геосинклинальных областей отличается сложной морфологией тел полезных ископаемых, их сильной тектонической нарушенностью, что предъявляет особые требования к процессам их разработки.

Месторождения платформ. Платформы являются относительно устойчивыми в тектоническом отношении областями земной коры, характеризующимися двухъярусным строением с соответствующими каждому из ярусов комплексами месторождений полезных ископаемых.

Нижний структурный ярус, или фундамент платформ, сложен обычно складчатыми сильно метаморфизованными формациями пород архейского, протерозойского или более молодого возраста. Верхний ярус - платформенный чехол - представлен относительно спокойно залегающими осадочными, реже вулканогенно-осадочными породами фанерозоя.

Для гранито-гнейсового основания наиболее типичны месторождения слюдяных и редкометалльных пегматитов. К метаморфическим образованиям этого же структурного яруса относятся крупнейшие месторождения железистых кварцитов.

Многие месторождения платформ образованы в связи с проявлениями магматизма. С трапповым магматизмом связано формирование месторождений сульфидных медно-никелевых руд, исландского шпата. В случаях, когда траппы контактируют с пластами углей, возникают месторождения графита. Очень характерны для платформ месторождения алмазоносных кимберлитов. С ультраосновными — щелочными породами, часто слагающими многофазные кольцевые интрузии, ассоциируют месторождения флогопита, редких земель, алюминиевого сырья.

Месторождения платформенного чехла формируются в основном в ходе экзогенных геологических процессов. Среди них следует назвать месторождения бокситов, железных и марганцевых руд, фосфоритов, калийных и каменных солей, углей, огнеупорных глин и различных строительных материалов. В образовании экзогенных месторождений значительную роль играют процессы, обусловленные жизнедеятельностью различных организмов.

Месторождения дна морей и океанов. Мировой океан занимает 70,8 % поверхности нашей планеты и является областью с особым океаническим типом строения земной коры. Безусловно, он представляет собой область образования многих месторождений полезных ископаемых. Однако наши знания о них пока очень ограничены.

К особому типу рудных месторождений здесь принадлежат железо-марганцевые конкреции, приуроченные к глубинным зонам большинства океанов и заключающие в себе грандиозные по масштабам запасы полезных компонентов. Конкреции - полиметалльные образования, содержащие железо, марганец, кобальт, никель, ванадий. Наибольшие запасы таких конкреций обнаруже-

ны вдоль западного побережья США на глубинах 1500—3000 м, где они покрывают площадь около 5 млн. км². В ряде стран предпринимаются попытки наладить промышленную разработку этих богатейших руд.

Другой сравнительно недавно обнаруженный тип рудных проявлений - установленные в глубоководных частях океанов металлоносные горячие рассолы и полиметалльные рудные жилы, приуроченные обычно к зонам крупных разломов. В их локализации большое значение имеют рифтовые структуры.

Наконец, общеизвестно содержание в морской воде большого числа полезных металлических и неметаллических компонентов, суммарные запасы которых во много раз превышают таковые во всех известных месторождениях континентов. Однако из-за низкого содержания химических элементов и отсутствия дешевой технологии массового извлечения их из вод морей и океанов пока не производится, хотя попытки освоения этих ресурсов уже предпринимаются во многих странах.

2.1.4.3. Геологические и физико-химические факторы, определяющие условия образования и размещения месторождений

[На оглавление](#)

Все характеристики месторождений (форма, условия залегания, размеры, вещественный состав) определяются историей и процессами геологического развития тех участков земной коры, которые вмещают месторождения. Поэтому месторождения полезных ископаемых необходимо изучать во взаимосвязи с окружающей их геологической средой путем анализа условий, геологических факторов, благоприятствующих образованию полезных ископаемых. Для формирования различных генетических групп месторождений ведущими факторами являются магматические, стратиграфические, литологические и тектонические.

Магматические факторы. Различные эндогенные месторождения полезных ископаемых связаны с определенными по составу комплексами изверженных горных пород.

С ультраосновными породами (дунитами, перидотитами, пироксенитами) ассоциируют магматические месторождения металлов платиновой группы, хромитов, никель-кобальтовых руд, титаномагнетита, алмазов. Кроме того, к этим породам приурочены гидротермальные месторождения асбеста, магнезита, талька.

Основные породы (габбро, нориты, анортозиты) продуцируют магматические месторождения титаномагнетитовых и сульфидных медно-никелевых руд. Для щелочных пород (нефелиновые сиениты) характерны магматические месторождения апатита и нефелина.

Граниты являются материнскими породами для пегматитовых месторождений мусковита, драгоценных камней и редких элементов. К умеренно кислым гранитоидам тяготеют контактово-метасоматические (скарновые) месторождения железа, вольфрама, молибдена, а также гидротермальные месторождения золотых, медных, оловянных, полиметаллических и урановых руд.

Связь месторождений полезных ископаемых с изверженными породами бывает генетическая (прямая, явная) и парагенетическая. В первом случае магматические, пегматитовые и скарновые месторождения непосредственно ассоциируют с конкретными массивами изверженных пород, а рудные тела залегают, как правило, в их пределах. Парагенетическая связь отмечается для многих гидротермальных месторождений, рудные тела которых могут не иметь прямой связи с интрузивами, но те и другие являются производными единых глубинных магматических очагов.

Литологические факторы обнаруживаются в приуроченности постмагматических месторождений к горным породам, которые характеризуются специфическим составом, физико-химическими и физико-механическими свойствами. В этом случае свойства и состав горных пород выступают как факторы, способствующие развитию оруденения.

Известны гидротермальные месторождения, которые формируются при замещении рудным веществом карбонатных пород. Крупные месторождения медных, свинцово-цинковых, сурьмяно-ртутных и других руд часто локализуются в породах с повышенной пористостью и трещиноватостью, в горизонтах, сложенных хрупкими горными породами.

Стратиграфические факторы обуславливают приуроченность экзогенных месторождений к определенным стратиграфическим частям геологического разреза. Месторождения и вмещающие их породы образуются в результате одних и тех же процессов и входят в состав конкретных геологических формаций

Осадконакопление было связано с колебательными тектоническими движениями земной коры и происходило ритмично. В период затухания горообразования при трансгрессии моря формировались рудные месторождения железа, марганца, бокситов. В силу этого подобные месторождения залегают в низах трансгрессивных серий определенного возраста. В период поднятий и регрессии моря возникали месторождения каоустобиолитов и минеральных солей. Поэтому они встречаются в верхних частях регрессивных серий осадков.

Для многих месторождений характерна связь с отложениями определенного возраста, которая хорошо выдерживается в пределах различных геологических структур. Такая связь наблюдается в пределах угленосных бассейнов, месторождений минеральных солей, фосфоритов, бокситов, железных руд.

Тектонические факторы. Размещение месторождений полезных ископаемых, рудных полей и поясов контролируется, как правило, крупными тектоническими элементами. К ним относятся глубинные разломы, складчатые зоны, предгорные прогибы, внутригорные котловины, платформенные антеклизы и синеклизы.

Особенно большое рудоконтролирующее значение имеют глубинные разломы. Эти зоны протягиваются на многие сотни километров при ширине до десятков километров. К глубинным разломам тяготеют эндогенные месторождения полезных ископаемых, реже - осадочные месторождения угля и минеральных солей. С зонами региональных надвигов, сбросов, сдвигов, смятия связаны месторождения цветных и редких металлов Рудного Алтая, Забайкалья, Кавказа, Многочисленные месторождения приурочены к границе платформ и складчатых областей.

Глубина образования. Месторождения полезных ископаемых формируются на различных глубинах, под которыми понимают расстояние от земной поверхности, соответствующей времени рудообразования, до места локализации полезных минеральных масс. Можно выделить четыре основных глубинных зоны формирования полезных ископаемых:

- 1) поверхностно-приповерхностную;
- 2) малых глубин (гипабиссальная);
- 3) средних глубин (абиссальная);
- 4) больших глубин (ультраабиссальная).

Поверхностно-приповерхностная зона простирается от поверхности земли до глубины 1 0-5 км. Здесь происходит становление всех месторождений экзогенного генезиса, а также вулканогенно- и гидротермально-осадочных месторождений. Иногда в приповерхностных условиях образуются отдельные магматические и скарновые месторождения.

Зона малых глубин (гипабиссальная) охватывает интервал от 1 -1,5 до 4 км. Это наиболее благоприятная для возникновения эндогенных месторождений зона, характеризующаяся оптимальными физико-механическими свойствами среды, поскольку в породах широко развиты разрывные нарушения, благоприятствующие перемещению рудообразующих растворов или расплавов. С этой зоной связано формирование подавляющего большинства плутоногенных гидротермальных месторождений, скарновых месторождений железа и меди, а также магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд и карбонатитов.

Зона средних глубин (абиссальная) распространяется примерно от 4 до 10 км. Низкая пористость и пластичность пород, отсутствие открытых трещин затрудняют просачивание растворов, в связи с чем в этой зоне преобладает инфильтрационно-диффузионный массоперенос и широко распространены метасоматические процессы.

Здесь формируются преимущественно пегматитовые и контактово-метасоматические месторождения.

Зона больших глубин (ультраабиссальная) наименее благоприятна для рудообразования, поскольку при высоком всестороннем давлении трещины полностью закрыты, породы обладают высокой пластичностью и слабопроницаемы для растворов. К этой зоне в основном приурочено становление метаморфогенных месторождений.

Возникшие в различных условиях глубинности месторождения могут быть неодинаково эродированы. Глубина эрозионного среза определяется положением тел полезных ископаемых относительно современной земной поверхности. Можно выделить три степени эродированности месторождений: начальную, когда рудные тела только вскрываются эрозией и месторождение перспективно на глубину; полную, когда на поверхности обнажаются корневые части рудных тел и перспективы месторождения уже ограничены, и среднюю — промежуточную. Обычно глубина эрозионного среза определяется при геологоразведочных работах с использованием различных геохимических и минералогических методов.

Температура и давление. Месторождения полезных ископаемых формируются в локальных участках земной коры - рудообразующих системах, важнейшими термодинамическими параметрами которых являются температура и давление. Температурный интервал становления различных месторождений достаточно широк - от 0 -50 °С для экзогенных и до 800 - 900 °С и даже 1200 - 1300°С для эндогенных. Определение температур рудного процесса за редким исключением производится косвенными методами, среди которых могут быть названы термометрические (по газовой-жидким включениям в минералах), минералогические (с помощью минеральных термометров, основанных на фазовых переходах в различных минералах) и геохимические (базирующиеся на зависимости коэффициента распределения элементов в сосуществующих минералах от температуры их формирования).

Давление при процессах рудообразования обычно колеблется от сотни до нескольких сотен мегапаскалей, достигая в редких случаях, например, для месторождений алмазов в кимберлитах, 5- 7 ГПа. Надежных экспериментальных методов его определения в настоящее время нет, хотя делаются попытки количественной оценки давления в рудообразующих системах по замерам давлений во включениях в минералах.

Помимо температуры и давления, важными физико-химическими параметрами рудообразующих систем являются кислотность — щелочность среды (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Еh), режим. Углекислоты, серы, химическая активность ионов.

Источники вещества и способы его отложения. Источники вещества, из которого формируются полезные минеральные массы месторождений, достаточно разнообразны. Основными из них считаются следующие:

- 1) магматические расплавы корового или мантийного происхождения;
- 2) газовые, газовой-жидкие и жидкие растворы, которые могут отделяться от магмы на определенных стадиях ее эволюции или возникать вне связи с магматическими расплавами; среди растворов немагматического генезиса следует назвать образующиеся путем дегазации из глубоких частей земной коры и верхней мантии, а также минерализованные поверхностные и подземные воды;
- 3) горные породы различного происхождения, подвергающиеся механическому и химическому воздействию в экзогенных или эндогенных условиях и составляющие ту геологическую среду, в которой осуществляется перемещение расплавов и растворов, активно взаимодействующих с ней и заимствующих при этом многие ценные компоненты;
- 4) продукты жизнедеятельности различных животных и растительных организмов;
- 5) вещество космического происхождения.

Отложение вещества полезных ископаемых из минералообразующих сред также имеет различный характер. Исходя из названных источников, можно говорить об отложении вещества из расплавов, растворов или его перегруппировке в твердом состоянии.

Отложение вещества из расплавов, осуществляющееся при образовании магматических и пегматитовых месторождений, носит характер кристаллизации, происходящей при прогрессивном снижении температуры.

Наиболее распространенным способом является выделение вещества из водных и газовой-водных природных растворов. Этот процесс обычно регулируется изменением температуры, давления, концентрации и другими физико-химическими условиями среды. Поскольку вещество в растворах может находиться в ионно-молекулярной форме (в истинных растворах), в виде коллоидных частиц (в коллоидных растворах) или взвесей, способы его отложения различны. Среди них следует назвать:

- 1) механическое осаждение;
- 2) самопроизвольную коагуляцию коллоидных растворов;
- 3) химическое осаждение, являющееся результатом различных химических реакций, а также испарения и пересыщения растворов;
- 4) биохимическое осаждение в результате жизнедеятельности и отмирания животных и растительных организмов.

Из газовых растворов вещество может накапливаться путем сублимации или возгонки. В результате указанных способов выделения вещества образуются залежи отложения.

Особо необходимо отметить способ отложения вещества при обменных химических реакциях растворов с боковыми породами (процесс метасоматоза), наиболее широко распространенный при формировании контактово-метасоматических месторождений. Массоперенос здесь имеет

фильтрационно-диффузионный характер, а возникающие залежи полезных ископаемых являются телами замещения.

Перегруппировка вещества в твердом состоянии, происходящая при изменении температуры и давления, при фильтрации химически активных растворов — основной способ образования полезных минеральных масс в месторождениях метаморфогенного генезиса. Массоперенос при этом обладает диффузионным или фильтрационно-диффузионным характером.

Все вышеизложенное указывает на чрезвычайную сложность формирования месторождений полезных ископаемых, большое разнообразие геологических и физико-химических условий, определяющих процессы рудогенеза.

Контрольные вопросы и задания

1. На каких принципах построена предлагаемая классификация месторождений полезных ископаемых, и какие таксономические единицы она содержит?

2. Какими особенностями условий образования и вещественного состава характеризуются месторождения геосинклинальных и платформенных областей?

3. Какие виды полезных ископаемых приурочены к дну морей и океанов?

4. Дайте характеристику геологических факторов, определяющих условия образования и размещения месторождений полезных ископаемых.

5. Назовите глубинные зоны формирования месторождений полезных ископаемых. Какие типы месторождений формируются в различных зонах?

6. Какие физико-химические параметры определяют условия образования полезных ископаемых?

7. Назовите источники вещества и способы его отложения при формировании полезных ископаемых.

2.2. Система геологического изучения недр.

[На оглавление](#)

Геологическое изучение недр проводится последовательно и планомерно, чтобы не только получить необходимую геологическую информацию о недрах, но и своевременно выявить промышленные и отбраковать непромышленные скопления полезных ископаемых. В общей системе геологического изучения недр можно выделить четыре основных этапа: геологическая съемка территории; поиски месторождений полезных ископаемых; их разведка; эксплуатация (разработка) месторождений. Этапы геологического изучения включают в себя несколько последовательных стадий:

- региональное геологическое изучение территории
- масштаб 1:1 000 000— 1:500 000;
- региональные геофизические, геолого-съёмочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаб 1:200 000(1:100 000);
- геолого-съёмочные работы масштаб 1:50 000 (1:25 000) с общими поисками;
- поисковые работы;
- поисково-оценочные работы;
- предварительная разведка;
- детальная разведка;
- доразведка месторождения: а) не освоенного промышленностью; б)разрабатываемого;
- эксплуатационная разведка.

На каждой стадии геологического изучения недр осуществляется их геолого-промышленная оценка, заключающаяся в определении действительной или возможной значимости изучаемого участка земной коры, в котором содержатся или могут содержаться скопления полезной минерализации или же предполагается горное строительство. С этой целью исследуются состав и строение горных пород и полезного ископаемого, условия залегания, степень и характер тектонической нарушенности, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики месторождения, географо-экономические условия района и т. п.

Геолого-промышленная оценка, так же как и геологическое изучение - процесс непрерывный. Это означает, что каждое новое описание обнажения, скважины, результат исследования пробы должны учитываться и по этим данным должны, если необходимо, вноситься коррективы в оценку на всех этапах промышленного освоения. На предпроектных этапах промышленного освоения недр геолого-промышленная оценка заключается в предварительном изучении геологических условий и определении прогнозных ресурсов, а в случае, если промышленное значение месторождения не вызывает сомнений, то и в подсчете запасов.

На этапе проектирования горнодобывающего предприятия или объекта горного строительства результатом геолого-промышленной оценки должно быть выявление с необходимой степенью достоверности всех пространственно-морфологических, объемно-качественных, гидрогеологических и инженерно-геологических факторов и показателей осваиваемого природного объекта.

На дальнейших этапах промышленного освоения геолого-промышленная оценка осуществляется в процессе получения новых знаний о геологических особенностях объекта и с учетом изменения технико-экономических показателей и условий его освоения.

Таким образом, необходимую геологическую информацию для геолого-промышленной оценки недр на предпроектных этапах их освоения получают в результате проведения комплексной геологической съемки, поисков и разведки разной степени детальности, а на последующих этапах - по данным доразведки (разведки в пределах горного отвода), эксплуатационной разведки и геологического обеспечения горно-эксплуатационных работ.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие стадии выделяются в общей системе геологического изучения недр?
2. В чем заключается геолого-промышленная оценка недр на различных стадиях их освоения?

2.3. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых

[На оглавление](#)

Итогом геолого-промышленной оценки месторождений полезных ископаемых является подсчет запасов и оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых или определение горно-геологических условий горного строительства.

Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливает единые принципы оценки прогнозных ресурсов, подсчета и учета запасов по степени изученности и хозяйственному значению, а также условия определения подготовленности месторождений для промышленного освоения.

Под запасами и прогнозными ресурсами понимается количество полезного ископаемого и полезных компонентов в пределах месторождения (проявления) или его участка, определенное в недрах, т. е. без вычета потерь при добыче, транспортировке, обогащении и переработке. Запасы строительных материалов подсчитываются (прогнозные ресурсы — оцениваются) в объемном выражении, а запасы других твердых полезных ископаемых — по массе.

Запасы подсчитываются и учитываются, а прогнозные ресурсы оцениваются всеми недропользователями по каждому виду полезных ископаемых и направлениям их возможного промышленного использования.

В соответствии с хозяйственным значением выделяется две группы запасов: балансовые и забалансовые.

К балансовым относятся такие запасы, использование которых согласно утвержденным условиям экономически целесообразно при существующей или осваиваемой технике и технологии с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

Забалансовыми считаются запасы, которые в настоящее время использовать экологически, экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но в будущем можно перевести в балансовые.

Они подсчитываются и учитываются в тех случаях, когда доказана возможность сохранения их в недрах или целесообразность попутного извлечения из недр вместе с балансовыми и последующего сохранения на складах (в отвалах).

К группе забалансовых запасы могут быть отнесены по различным причинам: вследствие малого количества полезного ископаемого и или полезного компонента, низкого содержания последнего, высокого содержания вредных примесей, малой мощности полезного ископаемого, особо сложных условий разработки (например, по причине сильной тектонической нарушенности и др.),

необходимости применения дорогостоящих и сложных схем обогащения или переработки и т.д.

В зависимости от степени изученности соответствующих участков месторождения выделяют четыре категории запасов полезных ископаемых А, В, С₁, С₂. При этом категории А, В, С₁ называются разведанными, а категории С₂ предварительно оцененными. Для отнесения запасов к той или иной категории изучаются с различной степенью детальности пространственно-морфологические особенности полезного ископаемого, качественные характеристики, горно-технические условия. Кроме того, необходимо исследование технологических свойств полезного ископаемого с детальностью, достаточной для категории А - для составления проекта технологической схемы, категории В - для выбора принципиальной технологической схемы, категории С₁ и С₂ - для обоснования промышленной ценности полезного ископаемого.

Таким образом, категории запасов характеризуют не столько точность определения количества полезного ископаемого, сколько полноту и достоверность изучения геологических и горно-технических особенностей соответствующего участка месторождения полезных ископаемых.

Прогнозные ресурсы обычно оцениваются на начальных стадиях геологического изучения недр. В зависимости от детальности проведенных исследований и достоверности полученных данных выделяются три категории прогнозных ресурсов: Р₁, Р₂, Р₃.

Прогнозные ресурсы категории Р₁ оцениваются, как правило, на флангах эксплуатируемых месторождений и учитывают возможность прироста запасов за счет расширения площади разведки за контуры запасов категории С₂. Ресурсы этой категории подсчитываются по результатам поисково-оценочных работ на основе геологических, геофизических и геохимических исследований, по данным геологической экстраполяции количества и качества полезного ископаемого и учитывая литологические стратиграфические и структурные предпосылки.

Прогнозные ресурсы категории Р₂ характеризуют возможность обнаружения новых месторождений на основе выявленных при крупномасштабной геологической съемке проявлений полезной минерализации а также геофизических или геохимических аномалий, природа которых установлена единичными выработками. Количественная оценка прогнозных ресурсов категории Р₂ осуществляется по предварительным параметрам по аналогии с известными месторождениями.

Прогнозные ресурсы категории Р₃ позволяют оценить потенциальные возможности наличия новых промышленных месторождений на основе стратиграфических, литологических и тектонических предпосылок, выявленных при геологической съемке. Количественная оценка прогнозных ресурсов этой категории производится по предположительным параметрам по аналогии с существующими продуктивными районами и областями распространения полезных ископаемых

Классификации запасов полезных ископаемых, действующие в зарубежных странах, построены по схожим принципам: степени изученности (вероятности наличия) и экономической целесообразности (рентабельности) их добычи и разработки.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое запасы и прогнозные ресурсы?
2. На какие группы делятся запасы полезных ископаемых по их народнохозяйственному значению?
3. По каким причинам запасы могут быть отнесены к группе забалансовых?
4. По какому принципу и на какие категории делятся запасы полезных ископаемых?
5. Какие факторы и показатели необходимо и достаточно изучить для отнесения запасов к той или иной категории?
6. Назовите и кратко охарактеризуйте три категории природных ресурсов.

2.4. Геологическая съемка и поиски

[На оглавление](#)

Основная цель геологической съемки - комплексное изучение поверхностной части земной коры и выделение на этой основе перспективных для выявления месторождений полезных ископаемых участков, подлежащих более детальному исследованию. Геологическая съемка осуществляется путем непосредственных геологических наблюдений (документация естественных и искусственных обнажений), дешифрирования аэро- и космических фотоснимков и проведения геофизических, геохимических, петрографических и других видов специальных геологических исследований.

По результатам геологической съемки составляются не только собственно геологическая, но и ряд специальных карт: тектоническая, геоморфологическая, металлогеническая, гидрогеологическая, карта геофизических и геохимических аномалий и др. Карты сопровождаются подробной пояснительной запиской, в которой характеризуются геологическое строение и история геологического развития района, объясняется природа обнаруженных аномалий, обосновываются установленные поисковые признаки и предпосылки.

В зависимости от масштабов составляемых карт и, следовательно, от детальности и объема исследований «геологическая съемка подразделяется на обзорную (масштабы от 1:100 000 000 до 1:500 000), региональную (масштабы от 1:200 000 до 1:50 000) и локальную, или крупномасштабную (масштабы от 1:25 000 до 1:1 000).

Если по результатам геологической съемки выявлены поисковые признаки и предпосылки или геофизические и геохимические аномалии, природа которых может быть связана с наличием полезных ископаемых, то проводятся геологические поиски. Они представляют собой комплекс разнообразных исследований и работ, выполняемых с целью оценки промышленного значения проявлений полезной минерализации или поисковых признаков и предпосылок, установленных в процессе геологической съемки.

Поисковыми признаками считаются какие-либо конкретные факты, указывающие на наличие в данном районе полезной минерализации. Они могут быть как геологического (выходы полезного ископаемого на поверхность, обломки его в делювии и аллювии, повышенная концентрация основных и сопутствующих элементов в почве и золе растений и др.), так и не геологического характера (например, историко-археологического - находки древних горных выработок, остатков плавильных печей, соответствующая топонимика, мифы и др.).

Поисковые предпосылки или критерии - это геологические факты, прямо или косвенно свидетельствующие о возможности обнаружения в данном районе полезных ископаемых. К ним относятся различные геологические факторы стратиграфического, литологического, магматического или тектонического характера, определяющие условия образования или локализации полезных ископаемых,

Геологические поиски выполняют поэтапно с последовательным увеличением детальности исследований: общие поиски масштаба 1:50 000 (1:25 000); поисковые работы масштабов 1:25 000 - 1:5 000; поисково-оценочные работы масштабов 1:5 000 - 1:1 000. Каждый последующий этап организуется, если на предыдущем получены положительные результаты.

В процессе поисков проводят визуальные геологические наблюдения, зарисовывают и описывают естественные и искусственные обнажения, проходят простейшие горные выработки (закопушки, расчистки, небольшие каналы и шурфы), отбирают пробы полезного ископаемого и вмещающих пород, которые затем анализируют и испытывают для оценки качественных показателей, осуществляют разнообразные геофизические измерения и исследования. Основные задачи общих поисков — проверка перспективности поисковых признаков и предпосылок и выяснение природы геофизических и геохимических аномалий, обнаруженных в процессе геологической съемки. Геолого-промышленная оценка исследованной территории на данной стадии заключается в определении прогнозных ресурсов категории C_2 и выделении участков, перспективных для постановки дальнейших поисков.

Поисковые, а затем поисково-оценочные работы выполняются на участках, где полезное ископаемое уже обнаружено. Они сопровождаются небольшими объемами горных работ, химических анализов и геофизических исследований. Их задача состоит в геолого-промышленной оценке проявления полезного ископаемого. Поскольку количественные измерения в процессе поисков проводятся в небольшом объеме и, как правило, недостаточном для подсчета запасов даже

по категории C_2 основной геолого-промышленной оценки служат не расчеты, а обоснованные предположения о форме и размерах тел полезных ископаемых, их качественных показателях и горно-технических условиях разработки. Основным способом оценки - аналогия, т.е. сравнение параметров обнаруженного проявления с уже изученными месторождениями полезных ископаемых.

Сравнению (аналогии) подлежат в обязательном порядке следующие параметры:

масштаб месторождения (общее количество полезного ископаемого, число и размеры тел и др.);

качество полезного ископаемого (содержание полезных и вредных компонентов, текстурно-структурные характеристики, минеральный состав и др.);

продуктивность месторождения (количество полезного ископаемого на единицу площади или объема месторождения);

горнотехнические условия (крепость, устойчивость полезного ископаемого и вмещающих пород, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики и др.);

экономико-географические условия района (обеспеченность энергией, стройматериалами, трудовыми ресурсами, транспортные связи, рельеф, климат, возможности водоснабжения и др.).

Конечным итогом таких сравнений является оценка прогнозных ресурсов по категориям P_2 или P_1 (по результатам поисковых работ) и подсчет запасов по категории C_2 (на стадии поисково-оценочных работ).

Контрольные вопросы и задания

Какие цели и результаты геологической съемки?

Что такое геологические поиски, поисковые признаки, поисковые предпосылки их задачи?

2.5. Методология разведки месторождений полезных ископаемых

[На оглавление](#)

Разведка месторождений полезных ископаемых представляет собой комплекс исследований и необходимых для их выполнения работ, направленных на определение промышленного значения месторождений. Разведкой завершается геологическое изучение данного участка недр на предпроектной стадии его промышленного освоения.

2.5.1. Задачи разведки

[На оглавление](#)

Конечной целью разведки, ее результатом в количественном выражении является подсчет запасов полезного ископаемого и полезных компонентов. Поэтому главная задача разведки - это определение количества и качества полезного ископаемого, содержащегося в месторождении. Количество полезного ископаемого может быть подсчитано путем выявления объема, занимаемого им в пространстве. Следовательно, для решения этой задачи в процессе разведки изучаются форма, размеры, условия залегания и нарушенность тел полезных ископаемых.

Показатели качества полезного ископаемого предопределяются его промышленным назначением. Так, для металлических руд и агрохимического сырья важно установить содержание полезных и вредных компонентов и соединений; для строительных материалов - физические свойства; для минерального топлива - теплоту сгорания и зольность и др. Качество сырья обусловлено не только основными кондиционными показателями, но и характером распределения этих показателей в объеме месторождения, а также наличием различных минеральных и промышленных сортов и типов полезного ископаемого и их взаимным расположением. Оценивается качество полезного ископаемого, исходя из возможностей и условий его дальнейшей переработки, т.е. технологических свойств, которые являются функцией минерального и химического состава, текстурно-структурных характеристик и физико-химических свойств.

Таким образом, для оценки качества полезного ископаемого в процессе разведки выявляются вещественный (минеральный и химический) состав полезного ископаемого, его структурно-текстурные характеристики, физико-химические свойства и особенности распределения всех качественных показателей в пространстве.

Однако определение количества и качества полезного ископаемого не единственные задачи, решаемые в процессе разведки, так как этой геологической информации недостаточно для эффективной эксплуатации месторождения. Проектирование, а тем более строительство горнодобывающего предприятия базируются также на сведениях, характеризующих месторождение и район его размещения. Это, прежде всего, горнотехнические условия: глубина залегания месторождения; отношение тел полезных ископаемых к формам рельефа; возможность развития особых инженерно-геологических явлений (карст, сейсмичность, склонность руд к самовозгоранию и т. п.); физико-механические и водно-физические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород; количество и взаимосвязь водоносных горизонтов, их водообильность, химический и бактериальный состав подземных и поверхностных вод и т. д. Кроме того, необходимы сведения экономико-географического характера: промышленная освоенность района, климат, рельеф, энергетические ресурсы, транспортные возможности, обеспеченность питьевой и технической водой, строительными материалами и т. д.

Таким образом, основными задачами разведки является получение необходимой и достаточной информации о геологических, горнотехнических и экономических условиях освоения месторождения.

2.5.2. Принципы разведки

[На оглавление](#)

Месторождения полезных ископаемых являются природными телами, обладающими разнообразными и изменчивыми свойствами. Однако, несмотря на индивидуальность строения каждого месторождения, в основу разведки любого из них могут быть положены единые принципы, так как геологоразведочный процесс осуществляется на определенном уровне развития производительных сил и преследует одну цель — выявление в недрах промышленных запасов полезных ископаемых.

Разведка месторождений полезных ископаемых очень дорогостоящий и порою длительный процесс, требующий участия большого количества многих специалистов и значительных затрат материальных ресурсов. В то же время, в результате разведки не производятся материальные ценности. Ее итогом является информация о недрах, от достоверности и полноты которой зависит эффективность дальнейшего промышленного освоения месторождения. Поэтому основные принципы разведки построены на геологической основе и исходят из главного принципа социалистического хозяйства - народнохозяйственной целесообразности. Эти принципы таковы:

- полнота исследований;
- последовательные приближения;
- равномерность (равная достоверность);
- наименьшие материальные и трудовые затраты;
- наименьшие затраты времени

Принцип полноты исследований заключается в необходимости изучения с той или иной степенью детальности всего объема, занимаемого месторождением, т. е. в результате проведенной разведки должна быть дана оценка всем телам полезных ископаемых и месторождению в целом.

Соблюдение данного принципа предусматривает выполнение ряда требований, основными из которых являются следующие:

- полное оконтуривание всего месторождения и, если в его состав входит несколько тел, оконтуривание всех тел полезных ископаемых;
- полное пересечение разведочными выработками тела полезного ископаемого или продуктивной зоны;
- всестороннее изучение качественных показателей полезного ископаемого и всех сопутствующих ему минеральных скоплений;
- комплексное изучение месторождения.

Первое требование принципа полноты исследований вытекает из необходимости оценки всех возможных перспектив месторождения. В противном случае не исключены как напрасные затраты на слишком детальное изучение непромышленного проявления, так и неоправданные задержки с вовлечением в эксплуатацию промышленных месторождений.

Рассматривая требование полноты оконтуривания, не следует забывать, что его выполнение не связано с обязательным использованием горных выработок или других дорогостоящих техни-

ческих средств для оконтуривания всей перспективной площади. Естественно, что надежность и точность определения границ месторождения или отдельных тел полезных ископаемых будут определяться, исходя из их масштабов и детальности разведки, с учетом сроков последующей отработки. Однако общие контуры месторождения или поля полезных ископаемых должны быть хотя бы приближенно установлены на самых начальных этапах разведки. При разведке особо крупных месторождений оконтуривание, безусловно, должно проводиться по частям, а общие контуры поля распространения полезного ископаемого выявляться с привлечением геофизических методов и геолого-структурного картирования.

Необходимость соблюдения этого требования можно проиллюстрировать таким примером. Одно из месторождений золота в течение нескольких лет признавалось не заслуживающим промышленного освоения, так как оценивалась только центральная, относительно небольшая жила и не изучались вмещающие породы, которые, как оказалось при более полном исследовании, были пронизаны густой сетью мелких золотосодержащих прожилков, распространяющихся на значительную площадь и глубину. В результате это небольшое «проявление» оказалось промышленным месторождением.

Обязательность выполнения второго требования принципа полноты исследований - полного пересечения тела полезного ископаемого или продуктивной зоны - очевидна. Только при полном, от контакта до контакта, пересечении тела полезного ископаемого можно установить его мощность, условия залегания, распределение минеральных сортов и промышленных типов полезного ископаемого и полезных компонентов.

Необходимость соблюдения третьего требования - всестороннего изучения качества основного полезного ископаемого и всех сопутствующих компонентов - обосновывается, прежде всего, тем, что в природе практически нет мономинеральных руд. Большинство месторождений черных и цветных металлов содержат несколько полезных компонентов, в том числе редкие и рассеянные элементы, а в таком, казалось бы, «простом», полезном ископаемом, как уголь, нередко отмечаются промышленные концентрации ценнейших компонентов - ванадия, урана, германия и др. Кроме того, вблизи тела основного полезного ископаемого или совместно с ним иногда располагаются обособленные скопления другого полезного ископаемого (уголь и огнеупорные глины, уголь и железные руды, железные руды и бокситы, полиметаллы и флюорит, полиметаллы и барит и др.). Причем, нередко эти полезные ископаемые самостоятельного промышленного значения не имеют, но их разработка попутно с основным существенно улучшает экономические показатели горнодобывающего предприятия.

Четвертое требование - комплексность изучения - вытекает из общих задач разведки. Оно означает, что в процессе геологоразведочных работ должны изучаться не только показатели, характеризующие количество и качество полезного ископаемого, но и все другие геологические и горнотехнические условия, т.е. применяемые технические средства должны обеспечивать возможность выполнения гидрогеологических и инженерно- геологических исследований и испытаний.

В заключение необходимо отметить, что принцип полноты исследований не является абсолютным, т.е. он не требует абсолютно полного и детального изучения всего месторождения одновременно. Этот принцип должен соблюдаться в соответствии с уровнем развития техники и технологии и исходить из запросов практики.

Принцип последовательных приближений. Предусматривает постепенное, поэтапное наращивание объема сведений о месторождении. Он прямо связан с принципом полноты исследований. В результате разведки должны быть собраны необходимые, но достаточные для проектирования и эксплуатации, данные о строении месторождения, количестве и качестве полезного ископаемого, горнотехнических условиях его разработки. Однако, далеко не все обнаруженные проявления полезной минерализации могут иметь промышленное значение — в среднем только одно из двухсот проявлений оказывается месторождением. Более того, многие проявления, оцененные на начальных стадиях исследования как перспективные, при дальнейшем изучении признавались не представляющими промышленного интереса. Вместе с тем, сразу получить достаточно полные и точные данные обо всем месторождении практически невозможно, да и не всегда целесообразно, особенно в случае его сложного строения или значительных масштабов. Таким образом, необходимость соблюдения этого принципа продиктована прежде всего экономическими соображениями: расходовать средства на разведку с наименьшим риском их неоправданных затрат или замораживания. Действительно, при постепенном увеличении детальности изучения можно своевременно прекратить разведку, если выясняется, что месторождение непромышленное, и тем

самым избежать неоправданного расходования средств. Если же месторождение очень большое, то разведка участков, которые будут разрабатываться через длительное время, означает преждевременную трату средств, т.е. их замораживание или даже омертвление.

На практике этот принцип выражается в соблюдении стадийности разведки. Как уже упоминалось, выделяется несколько последовательных стадий разведки:

- поисково-оценочные работы;
- предварительная разведка;
- детальная разведка;
- доразведка (разведка в пределах горного отвода);
- эксплуатационная разведка.

Принцип равномерности (равной достоверности). Заключается в необходимости равнодостоверного изучения всего месторождения. Однако, выполнение этого принципа не означает, что все пункты наблюдений или разведочные выработки должны располагаться на одинаковом расстоянии друг от друга во всех направлениях. Равномерность должна быть геологическая, а не геометрическая, т.е. разведочные выработки следует располагать с учетом анизотропии свойств полезного ископаемого.

Если, например, коэффициент вариации распределения полезного компонента по простиранию тел в два раза меньше, чем вкрест простирания, то равнодостоверная характеристика показателей качества по всей площади тела будет получена, когда расстояние между разведочными выработками вкрест простирания будет в два раза меньше, чем по простиранию (рис. 2.7, а), а размещение выработок «равномерно» - на одинаковых расстояниях по простиранию и вкрест простирания тела (см. рис. 2.7, б) - будет ошибочным, так как информация о распределении полезного компонента по простиранию будет избыточной. Таким образом, принцип равной достоверности не будет соблюден, а затраты на проведение дополнительных выработок окажутся излишними.

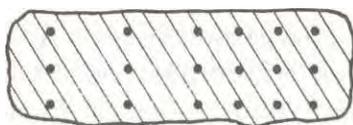


Рис. 2.7. Расположение разведочных выработок с учетом анизотропии свойств полезного ископаемого:

а - правильное; б – неправильное

Рассматриваемый принцип предъявляет к технике и методике геологоразведочных работ следующие требования:

равномерность освещения разведочными выработками всего месторождения или участков, находящихся в одной и той же стадии разведки;

равномерность размещения пунктов определения качественных показателей полезного ископаемого - пунктов опробования;

применение технических средств разведки, дающих соизмеримые результаты;

использование равнозначных и равноточных методик исследования вещества полезного ископаемого.

Необходимость требований равномерного (с геологической точки зрения) освещения разведочными выработками всего месторождения и равномерного распределения пунктов опробования очевидна - если какие-либо участки месторождения не будут вскрыты разведочными выработками и опробованы или если на разных участках будут использоваться различные сети, то правильно оценить количество и качество полезного ископаемого будет невозможно и, следовательно, главные задачи разведки не будут выполнены.

Однако, равномерность распределения выработок на месторождении не следует понимать буквально. В практике разведочных работ нередко одна часть месторождения находится в стадии детальной разведки, а другая — в стадии предварительной. Естественно, что в таких случаях размещение выработок (и пунктов опробования) в целом по месторождению не может быть равномерным.

На решение главных задач разведки направлены также другие требования принципа равномерности. Действительно, нельзя оценить с одинаковой достоверностью количество и качество полезного ископаемого, если один участок месторождения разведывается горными выработками, а

другой только геофизическими методами или если качественные показатели в одном случае определяются химическими анализами, а в другом - по косвенным данным.

Принцип наименьших материальных и трудовых затрат. Означает, что объемы геологоразведочных работ должны быть минимальными, но достаточными для выполнения основных задач разведки. Иначе говоря: выработок, исследований, испытаний, анализов должно быть ровно столько, сколько необходимо для выявления с нужной степенью достоверности всех характеристик разведываемого месторождения или рудного тела. Очевидно, что меньший объем работ не позволит получить нужной степени достоверности, а больший приведет к излишним затратам средств. При поисках оптимального соотношения между максимальной достоверностью и минимальными затратами средств следует помнить, что при достижении некоторого значения точности показателя (разного, конечно, для разных характеристик полезного ископаемого), увеличение точности на долю процента вызывает рост затрат на несколько процентов или даже в несколько раз.

Принцип наименьших затрат времени. Этот принцип имеет наибольшее экономическое значение: чем быстрее завершится разведка, тем скорее можно начать эксплуатацию месторождения и тем раньше получить отдачу от вложенных на разведку средств. Если в промышленной значимости месторождения нет сомнения, то ради сокращения сроков разведки могут быть нарушены другие принципы, главным образом, принцип последовательных приближений, т.е. стадийность разведки.

Итак, рассмотрены пять принципов разведки. Первый из них отражает цель разведки, второй и третий - методологию, четвертый и пятый - технико-экономические показатели геологоразведочных работ. На первый взгляд, принципы разведки противоречат друг другу: принцип полноты исследований, например, принципу наименьших материальных и трудовых затрат и некоторым требованиям принципа равномерности; принципы последовательных приближений и наименьших материальных и трудовых затрат — принципу наименьших затрат времени и др. Однако, эти противоречия носят не антагонистический характер. Более того, их наличие стимулирует разработку и совершенствование важнейшей проблемы геологоразведочного дела: достижения необходимой и достаточной достоверности исследования.

Методологические принципы (полноты исследований, равномерности) обычно соблюдаются, но вся разведка подчинена одной цели - скорейшему получению прибыли, скорейшей продаже запасов. Поэтому иногда главным и практически единственным принципом становится принцип наименьших затрат времени. Как правило, разведка осуществляется в пределах наиболее богатых участков месторождения.

В случае, если месторождение или его часть окажется нерентабельной для разработки, в затратах на разведку предусмотрена норма риска, выражаемая в процентах от общей стоимости разведки.

2.5.3. Основные задачи стадий разведки

[На оглавление](#)

Как уже отмечалось, в соответствии с принципом последовательных приближений геологоразведочный процесс осуществляется в пять последовательных стадий разведки: поисково-оценочные работы, предварительная разведка, детальная разведка, доразведка и эксплуатационная разведка. В практике геологоразведочных работ стадии разведки обычно отчетливо отличаются друг от друга, особенно при разработке новых месторождений с неясными промышленными перспективами. В то же время при разведке месторождений достаточно крупных или содержащих остродефицитное сырье нередки случаи, когда не только невозможно отделить стадии друг от друга во времени, но и уже в процессе разведки начинается строительство горно-добывающего предприятия.

Стадия поисково-оценочных работ. Основные задачи поисково-оценочных работ — установление промышленного типа найденного проявления полезных ископаемых и его приближенная геолого-экономическая оценка. Как правило, поисково-оценочные работы приурочены к поверхности и тяжелые технические средства (подземные горные выработки, глубокие скважины) еще не применяются. На этой стадии проводится первая отбраковка месторождений, и, по своей сути, поисково-оценочные работы являются промежуточным звеном между поисками и собственно разведкой. На основе данных поисковых работ обычно разрабатываются технико-экономические

соображения о перспективах выявленного рудопоявления полезных ископаемых (ТЭС), позволяющие принять обоснованное решение о целесообразности и сроках проведения предварительной разведки объекта (начальная оценка).

Стадия предварительной разведки. Главная задача предварительной разведки - общая оценка месторождения полезных ископаемых. Для ее решения проводится следующий комплекс работ:

выясняются общие размеры месторождения;

приближенно определяются форма, условия залегания, мощность, интенсивность развития тектонических нарушений и общие размеры тел полезных ископаемых;

приближенно оцениваются качественные показатели, особенности распределения полезных и вредных компонентов, минеральных типов и промышленных сортов, возможная схема технологического процесса переработки или обогащения полезного ископаемого;

4) проводится общая оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения и экономико-географической обстановки района его размещения.

На основе материалов предварительной разведки выполняется ориентировочный подсчет запасов (по категориям C_1 и C_2) с целью оценки масштабов месторождения, а также составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная промышленная оценка месторождения, обосновываются предварительные кондиции для отбраковки непромышленной части запасов. Если месторождение имеет очень большие размеры и дальнейшая разведка всей площади нецелесообразна, то выделяются (обосновываются) участки для постановки детальной разведки.

Стадия детальной разведки. Основная задача детальной разведки - изучить месторождение с полнотой и достоверностью, достаточной для составления проекта его разработки. Проведение работ этой стадии требует вложения значительных средств и большого времени. В общих затратах на разведку на их долю приходится основная часть. Поэтому детальная разведка начинается только, если принято решение о разработке месторождения. Детальная оценка служит основой для разработки приемлемого для банка документа, обеспечивающего целесообразность и экономическую эффективность инвестиций в реализации проекта.

На крупных месторождениях, а также на месторождениях острodefицитного сырья и сложного геологического строения, где разведка осуществляется преимущественно горными выработками, детальная разведка должна совмещаться с проектированием и строительством горнодобывающего предприятия.

В процессе детальной разведки ведут следующие работы:

с высокой точностью оконтуривают каждое тело полезного ископаемого, устанавливают его форму и условия залегания;

детально изучают характер и закономерности изменчивости морфологии и внутреннего строения тел полезных ископаемых;

выделяют и оконтуривают в пространстве минеральные типы и промышленные сорта полезного ископаемого, а также безрудные и некондиционные участки внутри тел полезных ископаемых;

устанавливают все разрывные нарушения и выявляют их типы, направления и амплитуды смещения по ним;

определяют содержания и особенности распределения в пространстве полезных, сопутствующих и вредных компонентов;

исследуют структурно-текстурные характеристики полезного ископаемого и его технологические свойства (для каждого промышленного сорта и минерального типа) с детальностью, достаточной для составления проекта технологической схемы обогащения;

устанавливают гидрогеологические условия месторождения;

определяют инженерно-геологические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород и другие горно-технические условия разработки месторождения.

Конечными результатами детальной разведки являются подсчет запасов и разработка промышленных кондиций. Эти основные отчетные документы детальной разведки. Все материалы разведки (карты, разрезы, планы, проекции, результаты испытаний и анализов, геофизических, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований) передаются проектным организациям для составления проекта отработки разведанного месторождения.

Стадия доразведки. После передачи месторождения в промышленное освоение обычно возникает необходимость дополнительного изучения детально разведанного участка месторождения или расширения его размеров. В таких случаях проводится доразведка месторождения (ранее эта

стадия геологоразведочного процесса носила название «разведка в пределах горного отвода», или «промразведка»).

Основные задачи, методика выполнения работ, расположение и типы выработок в процессе доразведки нового, еще не разрабатываемого месторождения полностью аналогичны таковым при детальной разведке. Дополнительно может быть поставлена лишь одна задача - перевод запасов в более высокие категории (из В в А, из С в В и др.) в пределах участков, подлежащих первоочередной разработке, если количество разведанных запасов высоких категорий (А и В) недостаточное для рентабельной эксплуатации месторождения в начальный период его отработки.

Доразведка месторождения осуществляется с целью расширения минерально-сырьевой базы действующего горнодобывающего предприятия. Она охватывает преимущественно фланги и глубокие горизонты месторождения. Основные задачи и методика, в общем, те же, что и на предыдущих стадиях разведки, однако есть ряд особенностей, обусловленных тем, что доразведка обычно ведется в пределах месторождения с хорошо изученными геологическими и географо-экономическими условиями.

Рассмотрим основные особенности доразведки (по сравнению с детальной разведкой). Во-первых, одной из главных ее задач является перевод запасов в более высокие категории. Во-вторых, в ходе работ этой стадии широко применяются технические средства горнодобывающего предприятия, а площадь сечения горных выработок принимается такой, чтобы их без реконструкции можно было бы использовать в процессе эксплуатации, даже если это увеличивает затраты на доразведку. В-третьих, расстояния между горно-разведочными выработками выбираются кратными расстоянию между горно-эксплуатационными выработками. Это положение можно пояснить следующим примером.

Для изучения участка месторождения с детальностью, соответствующей категории А, достаточно проходить рудные штреки на расстоянии 60 м по вертикали. Однако, если высота эксплуатационного этажа принята равной 50 м, то разведочные рудные штреки должны отстоять друг от друга именно на 50 м. В случае, если высота этажа 50 м, а для обеспечения категории А расстояние между выработками должно составлять 30 м, то следует проходить их через 25 м, применяя для промежуточных межгоризонтных выработок уменьшенные сечения.

5. Стадия эксплуатационной разведки. Эксплуатационная разведка начинается с момента строительства горнодобывающего предприятия и ведется вплоть до его ликвидации. Опыт разработки месторождений, особенно цветных, редких и благородных металлов, показывает, что во многих случаях степень разведанности (достоверность общих результатов разведки), получаемая при подсчете запасов по категориям А + В + С, обычно достаточна для составления технических проектов строительства горнодобывающих предприятий, но не обеспечивает оптимального оперативного и текущего планирования, а также рационального проведения горно-подготовительных, нарезных и очистных работ. Геологоразведочные работы на этой стадии разведки выполняются в пределах сравнительно небольших участков месторождения, которые планируются отработать в ближайшие месяцы или год-два (минимальный срок).

Основные задачи эксплуатационной разведки - уточнение в пределах эксплуатационного блока или группы блоков количества и качества запасов полезного ископаемого, условий залегания, горнотехнических условий и других характеристик, необходимых для обеспечения годовых и текущих планов горнодобывающих предприятий наиболее разведанными достоверными запасами и повышение на этой основе технико-экономических показателей работы предприятий.

В отличие от предшествующих стадий, эксплуатационная разведка проводится в контурах рудных тел, характеризуется (с учетом ранее пройденных горных выработок и скважин) максимальной плотностью сети наблюдения и, соответственно, наиболее достоверными результатами, она тесно связана с горно-подготовительными и нарезными работами, а также с добычей руды.

В соответствии с целевым назначением, временем проведения и типом решаемых задач эксплуатационная разведка разделяется на опережающую и сопровождающую.

Основные задачи опережающей эксплуатационной разведки - определение запасов полезного ископаемого и полезных компонентов и уточнение горно-технических условий в пределах подготавливаемых к выемке запасов. Данные этого вида эксплуатационной разведки используются для текущего планирования. Разведочные выработки размещают по определенной сети с учетом сложности геологического строения разведываемого участка. По времени проведения опережающая эксплуатационная разведка совпадает или несколько опережает проходку горно-подготовительных выработок.

Результаты опережающей эксплуатационной разведки, наряду с информацией, получаемой при проходке горноподготовительных и нарезных выработок, используются для подсчета подготовленных запасов, корректировки схем подготовки и проектов отработки рудных тел или их участков, расчета нормативов потерь и разубоживания, геолого-экономической оценки части запасов эксплуатируемых месторождений, оперативного планирования, перевода запасов из низших категорий в высшие.

Объектом основного внимания при эксплуатационной разведке на конкретном месторождении являются параметры руд и рудных тел, недостаточно изученные на стадиях предварительной или детальной разведки и значительно влияющие на ход горно-добычных работ. Эти обстоятельства обуславливают следующие особенности эксплуатационной разведки, отличающие ее от других стадий:

разведка проводится не на всем месторождении, а по мере развития добычных работ, опережая их не более чем на один-два года (проведение разведки на больший период приводит к «омертвлению» основных фондов;

кроме того, эффективность ее будет уменьшаться с увеличением глубины);

задачи, последовательность проведения, пространственная приуроченность и допустимые пределы опережения фронта очистных работ приводят к тому, что разведочные выработки и скважины часто не пересекают рудное тело на всю мощность, поскольку в ряде случаев скважины и выработки задаются для решения частной задачи, например, для установления контакта висячего или лежащего блока, амплитуды смещения, прослеживания тектонически ослабленных зон и др.;

система эксплуатационной разведки и плотность разведочной сети зависят не только от природных геологических факторов, но и от применяемых систем разработки;

методики эксплуатационной разведки при открытом и подземном способах разработки существенно различаются.

Главная задача сопровождающей эксплуатационной разведки заключается в уточнении конкретных деталей строения, особенностей залегания, качественных показателей полезного ископаемого и горнотехнических условий в пределах эксплуатационного блока. Объекты сопровождающей эксплуатационной разведки - участки рудных тел в пределах очистных блоков, уступов карьеров, где ведется добыча.

Результаты сопровождающей эксплуатационной разведки служат основой для решения следующих задач геологического обеспечения: повседневного контроля и корректировки проводимых очистных работ; оперативного планирования и составления оптимальной шихты (сутки, декада, месяц); учета и нормирования потерь и разубоживания; сравнения (по отдельным блокам) данных детальной разведки с результатами эксплуатации.

Объемы и целевое задание сопровождающей эксплуатационной разведки на действующем предприятии определяются годовым планом горных работ и корректируются при составлении месячных графиков проходки выработок и добычи. Для новых предприятий, согласно нормативным требованиям, объемы сопровождающей разведки учитываются при составлении проектов их строительства. Эксплуатационная разведка обоих видов выполняется за счет средств горнодобывающего предприятия, его техническими средствами и под руководством его геологической службы.

Экономическая эффективность эксплуатационной разведки определяется достигнутым за счет ее проведения снижением себестоимости выпускаемой продукции и более эффективным использованием вложенных в предприятие капитальных затрат, т.е. увеличением прибыли предприятия. Эксплуатационная разведка экономически оправдана лишь в случае, если затраты на ее проведение меньше, чем сумма экономии, получаемая при эксплуатации месторождения за счет накопления дополнительной информации. Эта информация должна обеспечить более эффективную и планомерную работу, прежде всего, горного цеха и обогатительной фабрики за счет уменьшения количества горноподготовительных работ, снижения потерь и т.д.

При расчете удельных объемов горных выработок, скважин и проб эксплуатационной разведки на рудных месторождениях учитываются следующие горно-геологические условия: способ отработки месторождения, структурно-морфологические типы рудных тел; сложность их внутреннего строения и условия залегания в масштабах участка или горизонта; степень неравномерности распределения в рудах основных, сопутствующих и вредных компонентов и сортности руд; горнотехнические параметры эксплуатации и системы разработки.

Различные способы разработки месторождений (открытый или подземный) обуславливают применение различных систем и технических средств эксплуатационной разведки.

Методика и объемы эксплуатационной разведки для месторождений, обрабатываемых открытым способом, определяются в зависимости от сложности их внутреннего строения, кроме того, они учитывают способ проведения и объемы вскрышных работ, высоту и число уступов, схему последовательности их разработки. Назначение опережающей эксплуатационной разведки на карьерах или угольных разрезах состоит в уточнении, прежде всего, внешних контуров залежи на горизонтах (одном-двух), расположенных ниже горизонта текущих очистных работ, в предварительном прослеживании и оконтуривании внутрирудных блоков пустых пород, ореолов развития различных природных типов и промышленных сортов руд. Это связано с необходимостью определения разносов бортов карьера, а также с задачами перспективного и текущего планирования добычи. Соответственно запасы руд, охваченные опережающей эксплуатационной разведкой, должны быть не меньше объема годовой добычи, а для обеспечения маневрирования горными работами - превышать его в два-три раза.

Основными техническими средствами опережающей эксплуатационной разведки на карьерах являются колонковые вертикальные или наклонные скважины, а также бескерновые скважины, реже - каналы и данные шламowego опробования перебуров буровзрывных скважин. При сопровождающей эксплуатационной разведке, как правило, проводятся опробование шлама буровзрывных скважин, а также бороздовое опробование стенок и подошвы уступов.

Плотность разведочной сети определяется в зависимости от сложности геологического строения. В среднем она в два раза превышает плотность сети для запасов категории В.

Систему эксплуатационной разведки часто приспособляют к системе детальной разведки путем последовательного уменьшения расстояния между скважинами в профилях детальной разведки. Разведочная сеть сгущается дифференцированно в зависимости от сложности строения залежи. При этом, в первую очередь, бурят скважины в контурной зоне. Промежуточные профили разбуривают в случаях, если данные основных профилей не дают однозначного решения.

Профили могут быть различной протяженности, например, короткими, охватывающими приконтурную полосу либо участки внутрирудных прослоев пустых пород, технологически различных типов и сортов руд и др. На участках сложного выклинивания и сильной тектонической нарушенностью сеть может сгущаться. Кроме того, для решения отдельных неясных вопросов о геологическом строении объекта бурят одиночные скважины. На рис. 2.8 показана схема эксплуатационной разведки для пластообразных залежей. Первоначальная сеть скважин (50×50 м) сгущена здесь в два раза, что вызвано необходимостью уточнения качественного состава руд и контуров рудных пластов.

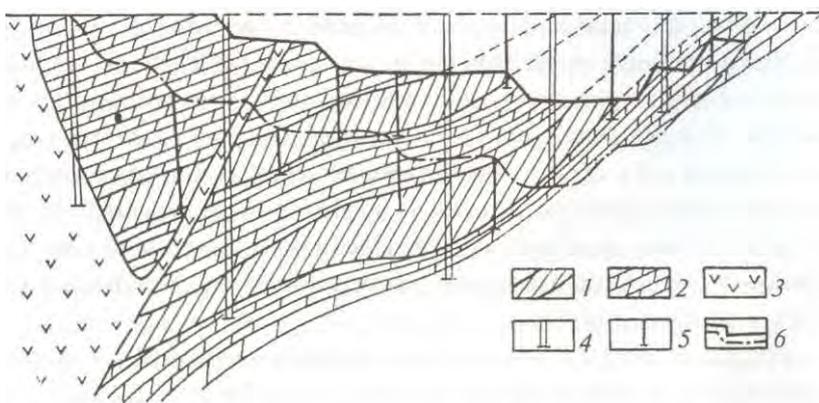


Рис. 2.8. Схема эксплуатационной разведки пластообразных залежей «бакальского» типа. По М.Н. Альбову и А.М. Быбочкину. 1 - рудные тела; 2 - доломиты и известняки; 3 - диабазы; 4, 5 - скважины: 4 - детальной разведки, 5 - эксплуатационной разведки; 6 - положения контура карьера по мере углубления добычных работ

На месторождениях руд цветных и редких металлов эксплуатационная разведка проводится преимущественно с помощью бурения колонковых или бескерновых скважин, а также проходки контрольных шурфов (иногда каналов). Необходимость проходки горных выработок обусловлена расхождением данных разведки и эксплуатации, возникающим из-за избирательного

истирания керна. Однако в ряде случаев доказана высокая представительность шламов бескерновых скважин большого диаметра, поэтому они могут служить контрольными по отношению к скважинам колонкового бурения малого диаметра. К сожалению, в бескерновых скважинах нельзя установить текстурные особенности руд, ориентировку и строение прожилков, характер распределения компонентов, что значительно снижает достоверность и представительность получаемой по ним информации.

Сопровождающая эксплуатационная разведка на карьерах (угольных разрезах) совпадает по времени с очистными работами, ведущимися с использованием буровзрывных скважин. Кроме того, роль разведочных выполняют также нарезные траншеи, борта уступов и забои карьера. Основные задачи, стоящие перед сопровождающей эксплуатационной разведкой, состоят в детальном оконтуривании типов руд, внутрипородных прослоев, изучении характера распределения компонентов в рудах, проведении технологического опробования и картирования. По данным опробования буровзрывных скважин составляются проекты на массовые взрывы, осуществляются планирование и контроль добычи.

Плотность сети отбора проб зависит от характера распределения компонентов в рудном теле; определенное влияние оказывают также размеры очистного блока и расстояния между буровзрывными скважинами. Наиболее распространены системы с отбором проб из каждой пробуренной скважины по сети 6×6, 8×8 м (сложные по распределению компонентов и сортов залежи) или через одну скважину 12×12 м (относительно простые залежи). Для залежей с отчетливо выраженной анизотропией в горизонтальном сечении распределения компонентов устанавливается, как правило, прямоугольная сеть: опробуется каждая скважина вкрест простирания и через одну по простиранию. Параметры сети опробуемых скважин и представительность шламовых проб на каждом месторождении. Устанавливаются экспериментально, иногда методом аналогии, а также с помощью аналитических методов. Следует также отметить, что, помимо химического опробования, шлам буровзрывных скважин используют для анализа малых технологических проб. При определенных условиях для опробования буровзрывных скважин применяют геофизические методы.

Одна из важнейших задач эксплуатационной разведки на карьерах - прогноз основных параметров залежи на нижних горизонтах. Эта задача в большинстве случаев решается путем последовательного сгущения сети скважин детальной разведки. Однако на ряде месторождений скважины эксплуатационной разведки не позволяют осуществить прогноз пространственного размещения сортов руд на нижележащих горизонтах. Так, для условий Сарбайского и Соколовского железорудных месторождений России доказано, что опережающая эксплуатационная разведка практически не позволяет уточнить данные детальной разведки о распределении, количественном соотношении и качественной характеристике сортов руд. Указанные обстоятельства заставили отказаться от опережающей эксплуатационной разведки, а сортовые планы и разрезы составлять с учетом структурных элементов и особенностей внутреннего строения рудных залежей, установленных по данным детальной разведки и уточненных в процессе геологической документации уступов карьера.

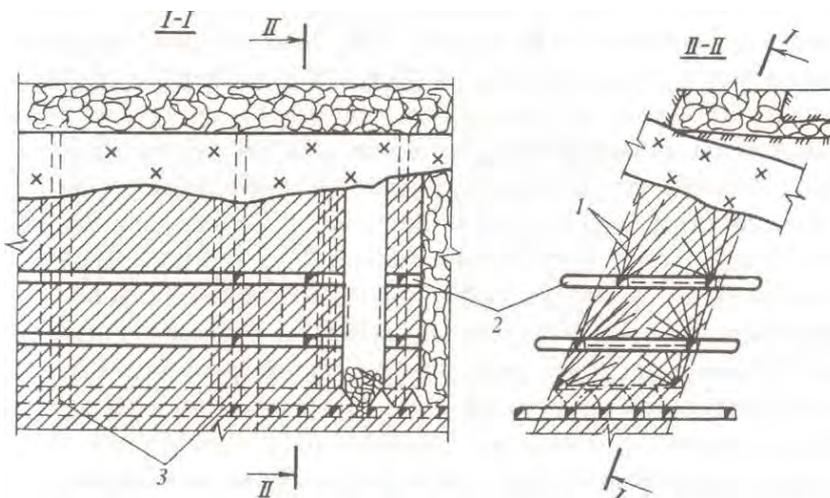


Рис. 2.9 Система разработки подэтажными штреками с маганизированием руды:

1 - буровзрывные скважины, подлежащие опробованию при сопровождающей эксплуатационной разведке; 2 - выработки, подлежащие опробованию при опережающей эксплуатационной разведке; 3 - отрезные восстающие.

Эксплуатационная разведка при подземной разработке значительно многовариантнее, чем при открытой. Это обусловлено, с одной стороны, разнообразием морфологических типов залежей, вовлекаемых в обработку, а с другой стороны - многочисленностью систем разработки: с открытым выработанным пространством, с креплением, с закладкой выработанного пространства или с обрушением налегающих пород (при наличии средне- и неустойчивых руд и вмещающих пород) и др.

При подземных работах более отчетливо, чем при открытых, обособляются две подстадии эксплуатационной разведки. Для обоснования методики сопровождающей эксплуатационной разведки системы разработок при подземной добыче руды разделены на две группы: 1) допускает пребывание людей в очистном пространстве (потолкоуступная с распоркой крепью, с маганизированием руды, слоевая с закладкой), что обеспечивает непосредственно наблюдение и опробование очистного забоя; 2) допуск людей в очистное пространство исключен (подэтажное и этажное обрушение, подэтажные штреки и др., рис. 2.9, так как отбойка руды ведется с помощью скважин. При этом сопровождающаяся разведка совмещается с проходкой нарезных выработок и бурением скважин для отбойки руды.

Основными техническими средствами сопровождающей эксплуатационной разведки служат горные выработки, подземное колонковое или ударно-механическое бурение.

При разработке рудных тел малой мощности, допускающими пребывание людей в очистном пространстве, сопровождающая разведка сводится, в основном, к организации эксплуатационного опробования; чаще всего применяется бороздвое опробование. При отработке жильных рудных тел со сложной морфологией или значительной нарушенностью проводится эксплуатационное опробование, проходятся горные выработки (орты, рассечки), реже бурятся колонковые скважины. При отработке мощных линейно-вытянутых рудных тел системами с отбойкой руды глубокими скважинами, исключая пребывание людей в очистном пространстве, сопровождающая разведка сводится к бурению колонковых скважин и организации опробования и каротажа взрывных скважин.

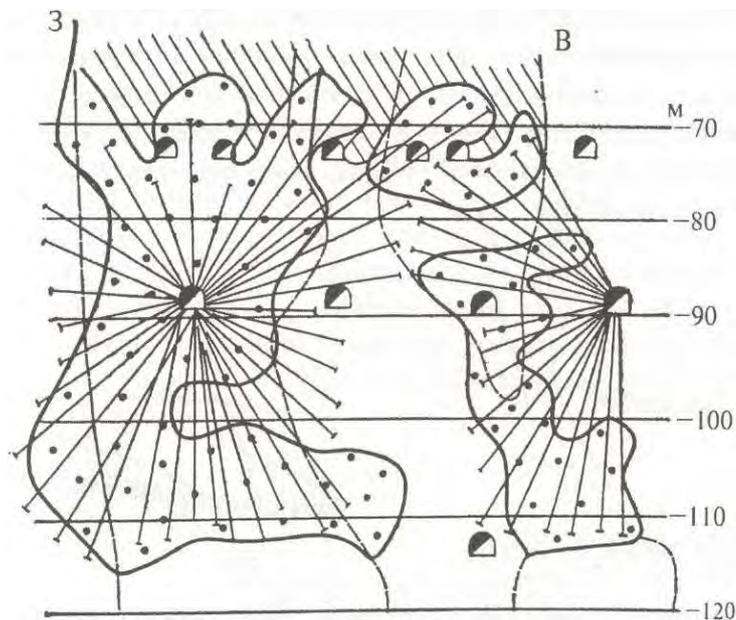


Рис. 2.10. Уточнение контура рудного тела по результатам магнитного каротажа (Ауэрбаховское скарново-магнетитовое месторождение, Россия).

1,2 - контуры рудного тела: 1 - на время составления проекта отработки, 2 - по данным магнитного каротажа буровзрывных скважин; 3 - выработанное пространство

Плотность эксплуатационного опробования, т.е. число взрывных скважин на очистной блок, подлежащих опробованию, а также длина интервалов опробования, зависят от степени неравномерности оруденения, расположения вееров скважин и целей опробования. Например, для уточнения содержания полезного компонента в обуренной ленте желателен опробовать интервалы

всех скважин, расположенных в пределах промышленных руд при длине секции 2-3 м. Для уточнения контура промышленных руд с помощью горизонтальных или вертикальных вееров взрывных скважин, расположенных по простиранию рудного тела, полностью опробуются только оконтуривающие скважины. При расположении вееров перпендикулярно простиранию рудного тела опробуются лишь конечные интервалы взрывных скважин. Если необходимо установить качество отбитой руды, то взрывные скважины опробуются на всю длину.

На рис. 2.10. показаны схема разведки, совмещенная с очистной выемкой, и уточнение контуров рудного тела по данным магнитного каротажа для условий Ауэрбаховского скарново-магнетитового месторождения железа в России. При расчете средних содержаний в сечении веера буровзрывных скважин учитывалось, что расстояние между скважинами не остается постоянным, плотность сети опробования у устья скважин несравненно выше, чем у забоев. Если не учитывать отмеченное обстоятельство, то можно получить значительно искаженные средние содержания по вееру и в целом по блоку. Так, по данным А.С. Сунцева, при опробовании месторождений абсолютное отклонение расчетных содержаний от истинного среднего в сечении может варьировать по модулю от 1,8 до 8,7 %, что при среднем содержании железа в рудах 45 % дает отклонение (относительное) от 4 до 20 % при допустимом до 2 %.

Опережающая эксплуатационная разведка, как уже отмечалось, совмещается с проходкой горно-капитальных или горноподготовительных выработок. По ее результатам определяются или уточняются запасы, качество и пространственное размещение полезного ископаемого в пределах выемочного участка и эксплуатационного блока. Полученные данные используют для локального проектирования отработки и текущего (годового) планирования горных работ.

В процессе подготовки рудных тел, относящихся к жильному типу, опережающая разведка чаще всего проводится с помощью ортов и подземных скважин, которые проходятся из этажных штреков и восстающих. Это позволяет установить особенности морфологии и условий залегания смещенных частей жил, проследить параллельное расположение сближенных рудных тел и коротких апофиз (рис. 2.11; 2.12), определить размер и пространственное положение встречающихся в жилах безрудных участков, оконтуривать рудные столбы, выяснить возможности их селективной отработки и т.д.

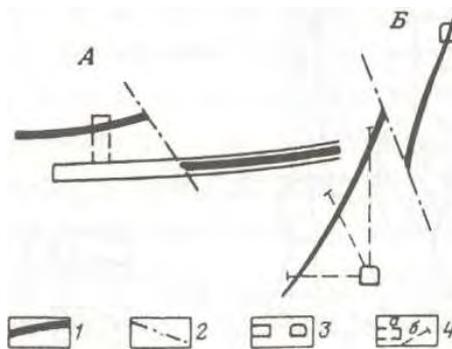


Рис. 2.11.. Поиск смещающих частей рудной жилы рассечками (А) и скважинами (Б):
1 — жила; 2 — разрывные нарушения; 3 — горные выработки; 4 — выработки эксплуатационной разведки (а — рассечки, б — скважины)

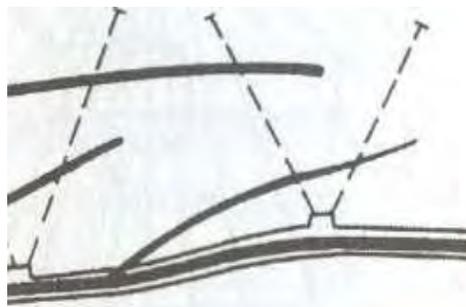


Рис. 2.12. Прослеживание апофиз и поиски сближенных рудных тел горизонтальными скважинами.

Усл. обозначения - см. рис. 2.11.

На месторождениях, представленных мощными рудными телами, уточняются углы падения рудного тела между горизонтами, прослеживаются нарушения и выясняются амплитуды смещения рудных тел, устанавливаются положение контактов, наличие сблизженно-параллельных рудных тел, прослеживается выдержанность рудных тел по простиранию и падению, особенно на этажных горизонтах. Эти задачи решаются путем проходки расположенных соосно или в шахматном порядке ортов и рассечек, а также бурения одиночных скважин или вееров горизонтальных подземных скважин, а также нисходящих или восходящих вееров скважин (рис. 2.13.).

При исключительно сложной морфологии рудных тел скважины в значительной мере заменяются горными выработками, например, проходят рассечки из восстающих выработок, в отдельных случаях — подэтажные штреки с ортами. Это позволяет уточнить мощность рудного тела (рис. 2.14).

При выборе методики опережающей эксплуатационной разведки и плотности сети наблюдений за основу принимается тот фактор, который оказывает решающее влияние на ход подготовительных и очистных работ в конкретных горно-геологических условиях. Например, при установлении плотности сети на Высокогорном железорудном месторождении определяющим критерием служит факт смещения рудных тел послерудной тектоникой (рис. 2.15.). Плотность сети бурения разведочных скважин определяется длиной тектонически однородных блоков, размеры которых варьируют от 5 до 90 м, составляя в среднем 25 м. Поэтому задачей эксплуатационной разведки является уточнение положения тектонически однородных участков на нижележащем горизонте. Скважины задаются с таким расчетом, чтобы получить хотя бы одно пересечение в пределах блока. Поэтому расстояние между разведочными пересечениями составляет в среднем 25 м и изменяется в зависимости от конкретной обстановки, которая выясняется на основании данных эксплуатации верхних горизонтов. После оконтуривания руд на основном горизонте обосновывается система разработки и составляется проект на отработку камер и дальнейшую разведку блока.

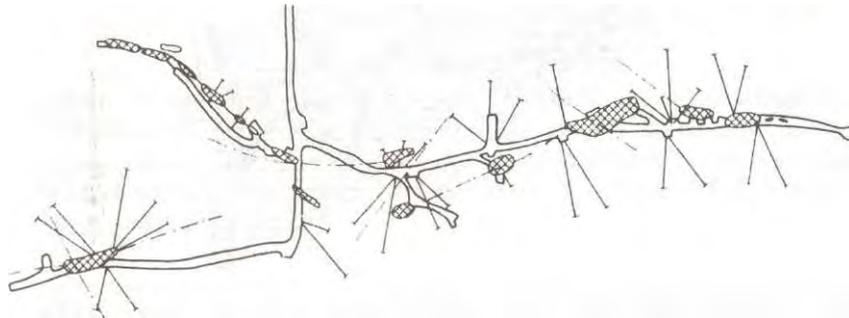


Рис. 2.13. Система опережающей эксплуатационной разведки линзовидных рудных тел веерами подземных горизонтальных скважин

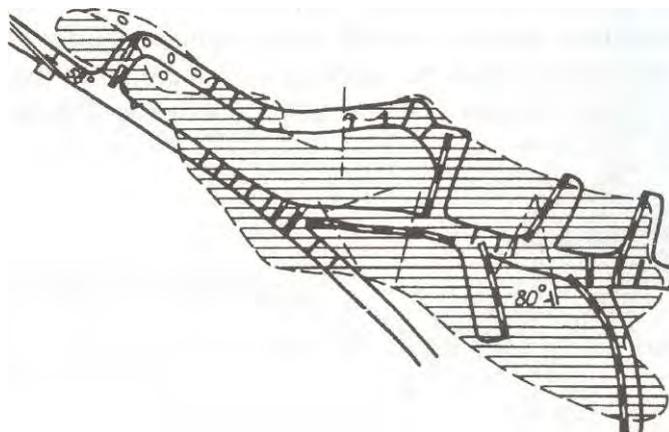


Рис. 2.14. Опережающая эксплуатационная разведка линзовидного рудного тела системой ортов:

1 - контур рудного тела; 2 - зоны брекчирования; 3 - тектонические нарушения

При разведке рудных тел Богословской группы скарново-магнетитовых месторождений в качестве основного критерия принята сложность формы рудного тела и его внутреннего строения (рис. 2.16). Эксплуатационная разведка осуществляется бурением скважин из выработок технического назначения. Наиболее рациональное расположение разведочных скважин — веерообразное в одной плоскости, вкрест простирания или по падению рудного тела. Ввиду незакономерного изменения формы и внутреннего строения в первую очередь сеть детальной разведки сгущается вдвое, а при выявлении больших изменений — еще вдвое, вплоть до 10-12 м.

Скважины располагаются преимущественно в плоскостях вертикальных и горизонтальных сечений, но иногда применяется и «пучкообразное» их бурение с расчетом пересечения руды на различных разведочных линиях. Таким образом, разведочная сеть не может быть стандартной, ее параметры изменяются от 25×25 до 25х(10-И2) м. Применение геофизических исследований, например, магнитного каротажа, является обязательным и существенно повышает эффективность разведочно-эксплуатационных работ.

Значительно сложнее в техническом отношении разведка горизонтальных и пологозалегающих тел с изменчивой мощностью и непостоянным углом падения. В этих случаях для разведки используют подготовительные выработки, пройденные в лежащем боку рудного тела, из которых бурятся восстающие скважины; часто скважины располагаются веером с очень острыми углами встречи рудного тела.

Эксплуатационная разведка весьма сложных по строению залежей редких и благородных металлов проводится штреками, ортами и рассечками, которые проходят так, чтобы их можно было использовать в качестве заездов при выпуске руды из блоков. Для разведки используют также вентиляционные или перепускные восстающие, отстоящие друг от друга по простиранию рудного тела на 20 м, из которых проходятся рассечки или бурятся короткометражные скважины с расстоянием между ними по падению рудного тела 10-20 м.

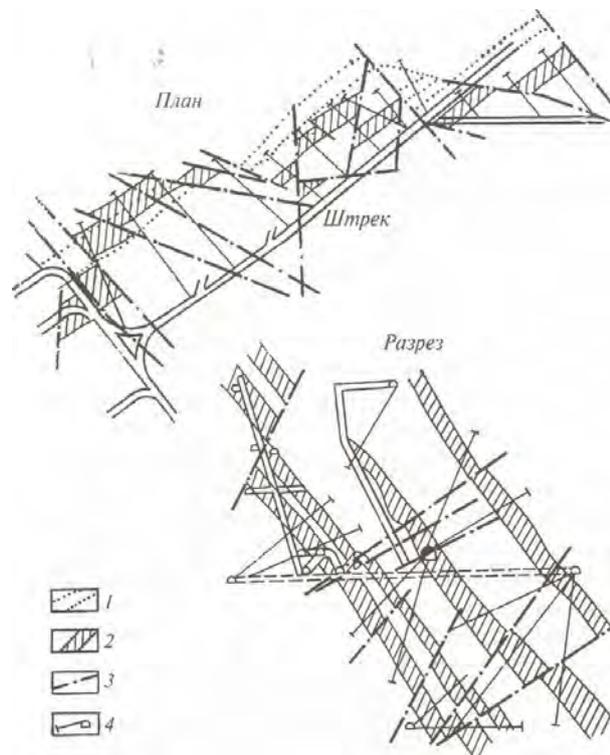


Рис. 2.15. Схема эксплуатационной разведки рудных тел Высокогорского скарново-магнетитового месторождения. (Россия) Контурсы рудного тела по данным: 1 - детальной разведки. 2 - эксплуатационной разведки; 3 - тектонические нарушения; 4 - скважины эксплуатационной разведки

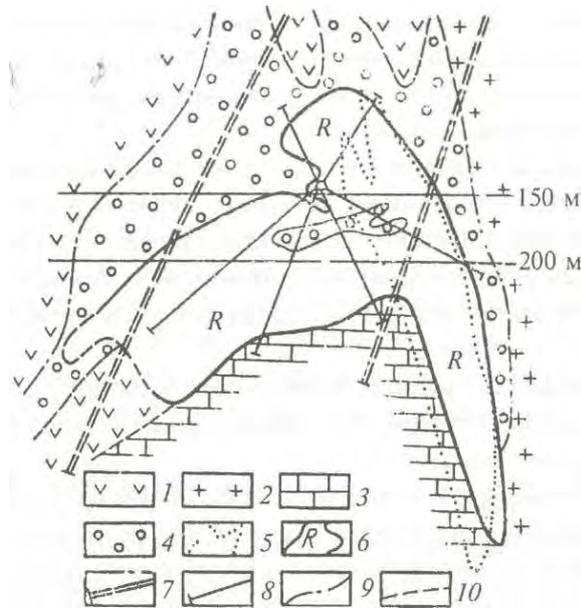


Рис. 2.16. Разрез Северопесчаного скарново-магнетитового железорудного месторождения. Россия

1 — порфириты; 2 — диориты; 3 — известняки; 4 — скарны; 5, 6 — контуры рудного тела по данным: 5 — детальной разведки, 6 — эксплуатационной разведки; 7, 8 — скважины: 7 — детальной разведки, 8 — эксплуатационной разведки; 9 — тектонические контакты; 10 — геологические границы

Эксплуатационная разведка при подземной добыче угля. Необходимость эксплуатационной разведки на действующих угольных шахтах вызвана высокой изменчивостью горногеологических факторов на месторождениях, недоразведанностью шахтных полей в период детальной разведки, а также повышенными требованиями современной высокомеханизированной технологии добычи угля. К основным задачам эксплуатационной разведки относятся:

уточнение и детальное изучение тектоники шахтных полей, характера изменчивости гипсометрии кровли и почвы угольных пластов, поиски смещенных частей последних;

выяснение изменчивости структуры и мощности пластов, их вещественного состава, обеспечение реальными запасами угля;

детальное изучение газоносности угольных пластов и газодинамических явлений для выбора схемы и расчета параметров вентиляции выработок;

изучение физико-механических свойств горных пород с целью управления кровлей и обеспечения бесперебойной работы механизированных комплексов в очистных забоях.

По данным эксплуатационной разведки проводится текущее и оперативное планирование добычи угля, разрабатываются мероприятия по безопасному ведению горных работ, предварительному осушению и дегазации угольных пластов.

Эксплуатационная разведка осуществляется путем бурения колонковых разведочных скважин с поверхности, проходки подземных выработок (орты, квершлагги, рассечки и др.), а также бурения подземных скважин из горных выработок. Широкое распространение получили геофизические методы, в частности, для прослеживания тектонических разрывов угольных пластов (подземная радиолокация), выявления карстовых полостей (электроразведка, сейсмоакустический метод).

В процессе эксплуатационной разведки уточняют положение водоносных горизонтов и водообильных зон путем бурения скважин из подземных горных выработок. Для предупреждения внезапного прорыва воды бурят опережающие скважины по оси выработок. Водоносные зоны тектонических нарушений разведывают скважинами, которые бурят из горных выработок вкрест простирания сместителей.

Дополнительное изучение физико-механических свойств горных пород при эксплуатационной разведке проводится по керну скважин, а также путем изучения материала подготовительных, очистных и горно-разведочных выработок. Участки, опасные по выбросу угля и газа,

изучаются специально путем бурения опережающих скважин, в горных выработках анализируются признаки выбросоопасности и горных ударов. Газоносность угольных пластов на разрабатываемом горизонте определяют и в выработках, и в подземных скважинах.

2.5.4. Методы разведки

[На оглавление](#)

Общепринятого определения понятия «методы разведки» в настоящее время нет. Нередко методами разведки называют те или иные способы расположения разведочных выработок или технических средств, что, конечно, не совсем верно. Наибольшим признанием пользуется трактовка основоположника советского геологоразведочного дела В.М. Крейтера, который, исходя из самого определения понятия «метод» (способ познания, изучения явления), предложил присваивать его таким разведочным мероприятиям, которые позволяют теоретически обоснованно решать главные задачи разведки независимо от сложности и разнообразия используемых технических средств. В.М. Крейтер предлагал три основных метода разведки: создание системы разрезов, опробование полезного ископаемого и оценочное сопоставление.

Создание системы разведочных геологических разрезов является до настоящего времени основным способом выяснения формы, внутреннего строения и условий залегания месторождения. Разрезы могут быть вертикальными и горизонтальными, поэтому выделяются три разновидности метода разрезов:

- вертикальные разрезы,
- горизонтальные разрезы,
- комбинированный- вертикальные и горизонтальные разрезы.

В последние годы приобретает самостоятельное значение еще один метод познания морфологических особенностей месторождений полезных ископаемых - геометризация месторождений с помощью персональных компьютеров(ПК). Ранее, до внедрения ПК в практику и теорию геологоразведочного дела, способы изучения формы и строения тел полезных ископаемых с помощью построения изолиний мощности и других показателей были очень трудоемки и довольно приблизительны. Поэтому они использовались, главным образом, в качестве вспомогательных, иллюстративных. Сейчас существуют пакеты прикладных программ для ПК с графопостроителями, позволяющие в короткие сроки и с точностью, соответствующей детальности разведки, получить исчерпывающую и наглядную информацию о внутренних и внешних особенностях строения тел полезных ископаемых. Вполне возможно, что в будущем этот метод вытеснит традиционный метод создания системы разрезов.

Единственный способ изучения качественных показателей полезного ископаемого — это опробование. Вопросы, связанные с опробованием, рассматриваются далее.

Оценочное сопоставление представляет собой способ выявления возможностей и условий использования месторождения по данным разведки. Промышленная оценка ведется в течение всего процесса разведки и заключается в сравнении параметров разведываемого месторождения (значения которых меняются или уточняются с каждой новой выработкой, пробой, анализом и др.) с параметрами других подобных, но уже освоенных месторождений, а также в определении народнохозяйственной целесообразности дальнейшего освоения данного месторождения полезных ископаемых.

2.5.5. Технические средства разведки

[На оглавление](#)

Задачи разведки решаются с помощью технических средств, характеризующихся различной стоимостью и скоростью проведения работ, а также обладающих разной достоверностью получаемых данных. Выделяются три группы технических средств разведки:

- разведочные горные выработки,
- разведочные буровые скважины,
- геофизические работы.

Разведочные горные выработки. Позволяют получить наиболее полную и достоверную информацию, так как они обеспечивают непосредственный доступ исследователя к полезному ис-

копаемому и поэтому исследования могут быть проведены в максимальном объеме и, в случае необходимости, повторены. Кроме того, горные выработки можно продолжить в любом направлении.

Для целей разведки используются поверхностные и подземные горные выработки. К поверхностным выработкам относятся расчистки, закопушки, канавы, шурфы и дудки.

Расчистками и (или) закопушками обнажают полезное ископаемое при мощности рыхлых отложений, перекрывающих полезное ископаемое, не более 1 м. Чаще эти выработки применяют при поисковых работах.

Канавы представляют собой горизонтальные выработки трапециевидного поперечного сечения и глубиной не более 5 м. В зависимости от назначения среди них различают магистральные и прослеживающие (собственно разведочные). Магистральные канавы служат для изучения геологического строения рудовмещающей толщи. Они проходятся вкрест простирания вмещающих пород и тел полезных ископаемых и имеют значительную длину (до нескольких сотен метров), вскрывая вмещающие породы на значительные расстояния от полезного ископаемого. Прослеживающие канавы также проходятся вкрест простирания, но их длина определяется видимой мощностью полезного ископаемого. Они располагаются на расстоянии от 20 до 50 м друг от друга. Если мощность рудного тела меньше ширины полотна канавы, то разведочные канавы ориентируют по его простиранию, прослеживая рудное тело вдоль. В этом случае длина канавы зависит от протяженности тела.

Шурфы и дудки - это вертикальные выработки прямоугольного (шурфы) или круглого (дудки) поперечного сечения. Их глубина достигает 20-30 м. Шурфы обычно проходят скреплением стенок и на большую (>10 м) глубину или в неустойчивых породах, поэтому их сечения довольно значительны - 1,5-3,5 м и более, а дудки - в крепких устойчивых породах, поэтому их сечения, как правило, не превышают 1 м. Вертикальные поверхностные выработки предназначены для разведки верхней части полезного ископаемого, перекрытого наносами большой мощности. С этой целью из шурфов и дудок проходят небольшие горизонтальные выработки - рассечки, располагаемые как по простиранию тела полезного ископаемого, так и вкрест его.

К подземным выработкам относятся шахты, квершлагги, штреки, орты, восстающие и штольни. Разведочные шахты представляют собой вертикальные выработки прямоугольного сечения площадью от 5 до 12 м, начинающиеся у поверхности и имеющие большую глубину. Из стволов шахт проводится система горизонтальных подземных выработок, включающая в себя:

квершлагги, проходимые диагонально или вкрест простирания пород и полезного ископаемого для полного пересечения продуктивной толщи;

штреки, ориентированные параллельно простиранию тел полезных ископаемых;

орты, отходящие от штреков и позволяющие получить полное пересечение рудного тела по мощности.

Для прослеживания полезного ископаемого по восстанию или падению из горизонтальных выработок, штреков, квершлаггов или ортов проходят наклонные или вертикальные выработки - восстающие (снизу-вверх) или уклоны и слепые стволы (сверху-вниз).

Штольни - это горизонтальные выработки, проходимые с поверхности по простиранию тела полезных ископаемых (продольные) или вкрест его (поперечные). Они применяются в условиях гористого рельефа местности.

В зависимости от способа откатки отбитой горной массы (скреперными лебедками, рельсовым транспортом или самоходными горными машинами) и вида крепления сечения горизонтальных горных выработок колеблются от 3,5 до 7,1 м".

Скорости проходки горных выработок зависят от способа проходки, крепости и условий залегания пород, от площади сечения и вида выработки. Для поверхностных горизонтальных выработок (канав) - это сотни метров в месяц, для поверхностных вертикальных - десятки метров, подземных горизонтальных - до 100 м в месяц, для подземных вертикальных - от 15 (стволы шахт) до 40 м (восстающие).

Буровые скважины. Это - вертикальные, наклонные или горизонтальные выработки цилиндрического сечения небольшого (от 36 до 250 мм) диаметра и значительной (до 2,5 км и более) глубины. По способу разрушения породы различают:

вращательное,

ударно-вращательное

ударное бурение.

При вращательном бурении порода разрушается либо по всему забою скважины (бурение сплошным забоем), либо по внешнему кольцу (колонковое бурение); во втором случае в центре скважины остается цилиндрический столбик неразрушенной породы, называемый керном.

Колонковое бурение - главный вид разведочного бурения, так как оно позволяет непосредственно (по керну) изучать полезное ископаемое и вмещающие породы, а в случае отбора ориентированного керна - довольно точно определять условия залегания пород даже по единичным скважинам. По виду применяемого бурового наконечника (коронки) различают алмазное, твердосплавное и дробовое колонковое бурение. Частицы разрушенной породы удаляются из забоя скважины промывочной жидкостью или сжатым воздухом. Основным показателем качества колонкового бурения считается выход керна - отношение длины полученного керна к длине пробуренного интервала, выраженное в процентах. Данные по скважинам, в которых выход керна не превышает 50-70 %, обычно в расчет не принимаются (скважины бракуются). Для подсчета запасов по высшим категориям (А и В) учитываются данные по скважинам, в которых выход керна по полезному ископаемому составляет не менее 85-90 %.

Бурение скважин сплошным забоем может быть вращательным, ударно-вращательным и ударным. При этом виде бурения керн не получают, порода измельчается на мелкие кусочки и пыль - шлам, который выносится на поверхность сжатым воздухом, промывочной жидкостью или удаляется из скважины специальным сосудом - желонкой. Шлам имеет смешанный состав и поступает на поверхность с некоторой задержкой - уже после проходки соответствующего интервала, поэтому определение состава пород и оценка качества полезного ископаемого в данном случае весьма затруднительны, а выявление условий залегания пород и текстурно-структурных характеристик полезного ископаемого вообще невозможно. Эти виды бурения применяются, главным образом, при эксплуатационной разведке для общей оценки качества полезного ископаемого в больших объемах.

Скорость и стоимость бурения разведочных скважин зависят от его вида, крепости (буримости) пород, глубины и угла наклона скважины и варьируют в широких пределах, но она во всех случаях значительно ниже, чем стоимость проходки горных выработок в тех же условия.

Высокие скорости разведочных работ, их относительная дешевизна обусловили широкое применение бурения в качестве основного (а иногда и единственного) технического средства при разведке месторождений горючих ископаемых, строительных материалов, агрохимического сырья, черных и некоторых типов месторождений цветных металлов. Повсеместное использование разведочного бурения в качестве главного технического средства сдерживается рядом недостатков, присущих этому виду работ.

Во-первых, небольшой объем керна часто не позволяет получить достаточное для всестороннего изучения полезного ископаемого количество вещества. Кроме того, полный выход керна - явление достаточно редкое, а какими причинами вызвано разрушение керна и на каком интервале, выяснить удастся далеко не всегда.

Во-вторых, в процессе бурения ствол скважины отклоняется от заданного направления в горизонтальной (азимутальное искривление) и в вертикальной (зенитное искривление) плоскостях.

Точно установить истинное положение его в пространстве довольно трудно. Искривления скважин вызываются как геологическими (неоднородность физических свойств горных пород, их трещиноватость, слоистость, сланцеватость), так и техническими (перекос направляющей трубы, неправильное забуривание скважин, неудачно выбранный режим бурения и др.) причинами.

В-третьих, нередки случаи искажения содержания полезного компонента в керне вследствие его избирательного истирания. Если полезное ископаемое по физико-механическим свойствам и (или) текстурно-структурным особенностям разрушается в процессе бурения легче или, наоборот, труднее вмещающих пород, то может произойти, либо обеднение, либо обогащение керна полезным ископаемым по сравнению с истинным содержанием его в массиве. В случаях, когда степень обеднения или обогащения керна установлена, ошибка определения показателей качества по керну может учитываться с помощью поправочного коэффициента. Однако гораздо чаще удается выявить лишь общую тенденцию искажения, а не его величину.

Чтобы свести к минимуму влияние указанных недостатков бурения, скважины обязательно завершаются горными выработками. Только когда доказано, что получаемая в результате бурения геологическая информация достаточно полна и достоверна, разрешается использовать скважины в качестве главного технического средства разведки. В противном случае, а также, когда заверочные горные работы не проводятся, разведочное бурение рассматривается в качестве вспомогательного средства оценки общих условий и перспектив месторождения.

Геофизические работы. В процессе разведки месторождений с помощью методов геофизики решают следующие задачи:

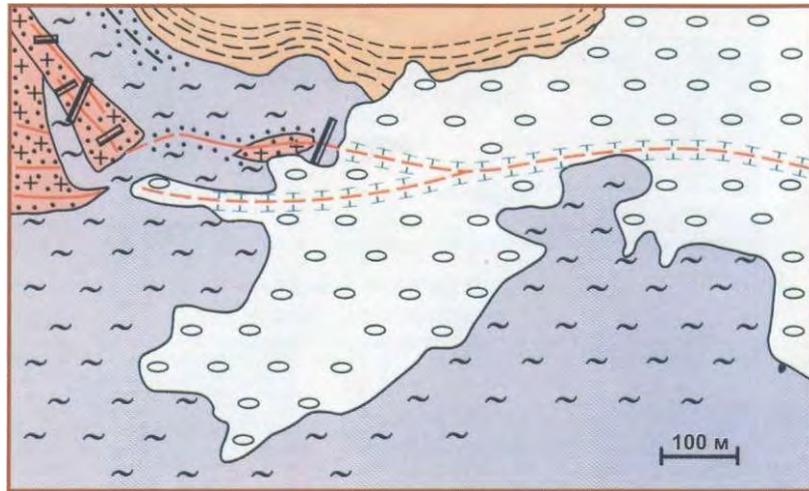
выясняют общую геологическую структуру района и оконтуривают перспективные участки; изучают внутреннее строение месторождения — прослеживают и приближенно оконтуривают тела полезных ископаемых или характерных (маркирующих) пород, выясняют положение тектонических нарушений;

приближенно (а для урановых руд и некоторых типов руд меди, свинца, олова и других — точно) определяют содержания полезных и вредных компонентов;

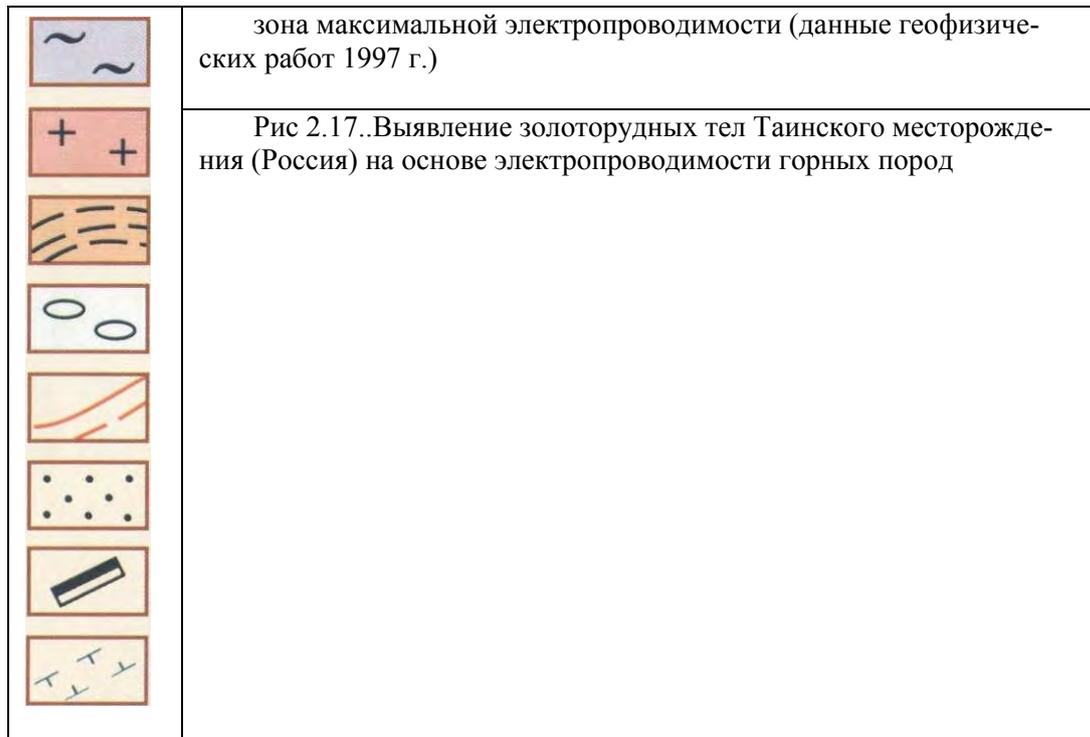
устанавливают физические свойства пород и полезного ископаемого (плотность, водонасыщенность, упругие характеристики и др.);

контролируют бурение скважин (измеряют искривления — проводят инклинометрию и каротаж).

Каротаж скважин и инклинометрия осуществляются в обязательном порядке, тогда как другие геофизические работы выполняются при наличии благоприятных условий (заметного отличия в значениях тех или иных физических свойств различных геологических образований). Под геофизическим каротажем понимаются исследования естественных и искусственных физических полей по стволу скважины. С его помощью устанавливается состав пород и уточняется положение их границ, определяется мощность полезного ископаемого и его качественные характеристики, изучаются температурный режим, водо-, газоносность и другие явления, влияющие на условия разработки месторождения. С помощью скважинных геофизических работ выявляется зенитное и азимутальное искривление скважин. По сравнению с бурением и проходкой горных выработок стоимость геофизических работ в несколько раз меньше, а скорость их проведения в несколько раз больше. Однако, интерпретация геофизических данных далеко не всегда однозначна, поэтому геофизические работы используют обычно в качестве вспомогательного средства. На рис. 2.17. приведен пример выявления золоторудных тел на основе электропроводности горных пород.



| | |
|--|--|
| | серпентиниты массивные и рассланцованные |
| | плагииграниты Холбинского комплекса |
| | сланцы оспинской свиты |
| | моренные ледниковые отложения |
| | золоторудные тела (установленные и предполагаемые метасоматические околорудные изменения (березитизация, реже сульфидизация) |
| | канавы (1997 г.) |



2.5.6. Системы разведки

[На оглавление](#)

Системы разведки - это комплекс технических средств, которые дают возможность с достаточной достоверностью и полнотой выяснить форму, размеры, условия залегания, качественные характеристики полезного ископаемого, определить его количество и горно-технические условия разработки, т.е. решить основные задачи разведки. Выделяют три основные группы систем разведки: буровые, горные и горно-буровые.

Буровые системы. Применяют при разведке месторождений, характеризующихся устойчивыми формами, большими размерами, непрерывностью оруденения и относительно равномерным распределением показателей качества. В зависимости от геологических особенностей разведываемого месторождения используют три основных вида буровых систем: мелких вертикальных, глубоких вертикальных и наклонных скважин. В пределах каждого вида название конкретных систем определяется по типу бурового оборудования, например, система мелких вертикальных скважин ударно-канатного бурения или система вертикальных скважин колонкового бурения и др.

Системы мелких вертикальных скважин предназначены для разведки неглубокозалегающих пологих и горизонтальных плитообразных тел с относительно равномерным распределением качественных показателей, т.е. для разведки месторождений глин, песков, грунтовых вод, месторождений коры выветривания, сильно обводненных долинных россыпей и др.

Системы глубоких вертикальных скважин служат для разведки глубокозалегающих пологих плитообразных и крупных изометричной формы тел месторождений углей, медистых песчаников, медно-порфириновых руд, соли и других неметаллических полезных ископаемых.

Системы наклонных скважин используют при разведке крутопадающих и наклонных плитообразных, а также пластовых, жило- и линзообразных тел полезных ископаемых, развитых на медноколчеданных месторождениях, стратиформных полиметаллических, геосинклинальных месторождений углей, пластовых фосфоритных типа Каратау и др.

Горные системы. Применяются для разведки тел полезных ископаемых, как правило, очень сложной формы, с крайне изменчивыми условиями залегания и распределением полезных компонентов. Выделяют три вида горных систем: шурфы, штольни и шахты. Внутри каждого вида от-

дельные системы называются по комплексу входящих в них выработок. Например, система шурфов с рассечками или система разведочных шахт с квершлагами и штреками и др.

Системы разведочных шурфов служат для разведки пологих плитообразных или небольших изометрических тел полезных ископаемых, залегающих на глубинах до 20—30 м от поверхности, т.е. для разведки месторождений кирпичных глин, каолинов, корундов, малообводненных россыпей золота, аллювиальных и делювиальных россыпей алмазов и др.

Системы разведочных штолен используют в условиях гористого рельефа для разведки самых разнообразных по формам и условиям залегания тел полезных ископаемых.

Системами разведочных шахт разведываются тела крайне изменчивых форм, условий залегания и распределения полезных компонентов, расположенные относительно глубоко от поверхности. Чаще всего это месторождения редких и драгоценных металлов и минералов.

Горно-буровые системы. Используются для разведки большинства месторождений черных, цветных, редких и драгоценных металлов и многих месторождений неметаллических полезных ископаемых (рис. 2.18.).

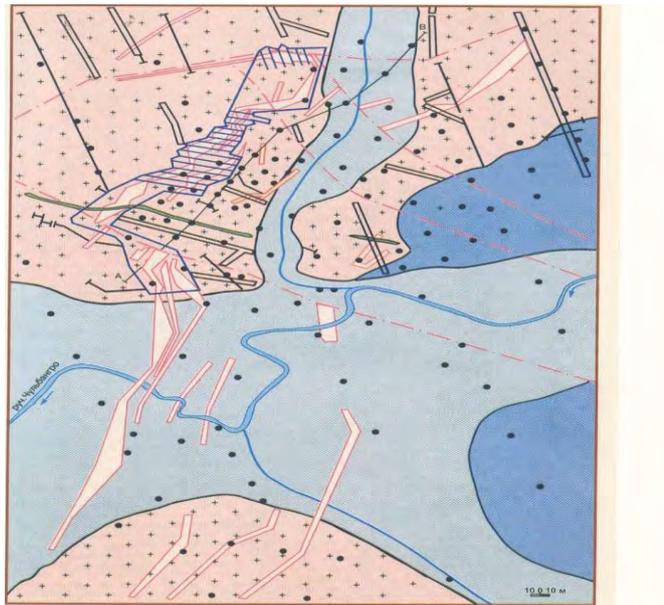


Рис.2.18. Горно-буровая система разведки Бамского золоторудного месторождения (Россия)

В зависимости от степени изменчивости свойств полезного ископаемого в одних системах преобладают скважины, в других - горные выработки. Наибольшим распространением пользуются два вида систем: разведочных штолен и скважин; разведочных шахт и скважин.

Как и в предыдущих случаях, конкретные системы называются по виду составляющих их выработок, например, система разведки шахтой с квершлагами, штреками, а также поверхностными и подземными скважинами. Общие условия применения горно-буровых систем те же, что и горных - с их помощью разрабатываются тела сложной формы, значительных размеров, с изменчивыми условиями залегания, неравномерным распределением полезных компонентов, но залегающие на больших глубинах.

Таким образом, выбор той или иной системы разведки определяется, главным образом, геологическими факторами. Однако на комплекс используемых технических средств могут влиять и географо-экономические условия района: рельеф, климат, транспортные возможности и др.

2.5.7. Расположение разведочных выработок

[На оглавление](#)

Система геологических разрезов создается на основе анализа геологической документации разведочных выработок, поэтому эти выработки должны располагаться в определенном порядке, обеспечивающем достаточно правильное представление о форме, строении и особенностях распределения качественных показателей полезного ископаемого.

В соответствии с принципом полноты исследования разведочные выработки должны полностью пересекать тело полезного ископаемого, что позволит получить данные о морфологических и качественных особенностях этого тела на всем его протяжении в данном направлении. С помощью построения разрезов через соседние выработки можно уже осветить некоторый объем месторождения или отдельного тела полезного ископаемого. Точность разреза тем выше, чем ближе к его плоскости будут размещаться разведочные выработки, так как построение разреза путем проекций на его плоскость всегда чревато ошибками, особенно в случае сложного залегания и изменчивой морфологии тел. Отсюда вытекает первое правило: разведочные выработки должны располагаться по возможности в плоскости намечаемого разреза. Назначение разрезов состоит в том, чтобы с максимальной полнотой освещать форму, элементы залегания, внутреннее строение полезного ископаемого и его взаимоотношения с вмещающими породами. Очевидно, что наилучшим образом это может быть достигнуто, когда направление разреза совпадает с направлением наиболее резкого изменения свойств полезного ископаемого. Это утверждение справедливо и в отношении отдельных выработок. Из этого следует второе правило: разведочные разрезы (и отдельные разведочные выработки) должны быть ориентированы по направлению максимальной изменчивости свойств полезного ископаемого.

Чаще всего изменчивость свойств полезного ископаемого наименьшая по простиранию тел, поэтому третье правило может быть сформулировано так: плоскости разведочных разрезов должны быть ориентированы поперек направления простирания тела полезного ископаемого. В том случае, когда тела полезного ископаемого имеют изометричную форму и не обладают закономерной изменчивостью свойств в каком-либо направлении, ориентировка разрезов определяется техническими соображениями. И здесь правильнее говорить не об ориентировке разрезов, а о расположении выработок по площади месторождения, т.е. о сети выработок.

Размещение выработок по сетке возможно и тогда, когда тело полезного ископаемого характеризуется выраженной анизотропией формы или свойств; только в этом случае сетка тоже будет анизотропной.

Таким образом, существуют два способа расположения разведочных выработок: по линиям (разрезам, профилям) и по сетке. При расположении по сетке разведочные выработки помещаются в ее узлах. По форме сетка может быть квадратной, прямоугольной или ромбической (треугольной). Пересечение линий, проведенных через ее узлы, образует систему пересекающихся разрезов, чем достигается объемная характеристика тела полезного ископаемого.

Необходимо иметь в виду, что термин «разведочная сеть» подразумевает любое регулярное расположение разведочных выработок, т.е. не только по геометрически правильной сетке, но и по линиям (профилям). Нерегулярное размещение разведочных выработок допускается только на отдельных участках при очень резких отклонениях от общей закономерности каких-либо параметров месторождения (мощности, условий залегания, распределения полезных компонентов и др.) для уточнения этих аномальных явлений.

Выбор той или иной формы разведочной сети обусловлен морфологическим типом тела полезного ископаемого, поскольку для каждого из них требуется различный подход к разведке, в частности, разная ориентировка разрезов. Напомним, что по соотношению размеров выделяются тела трех морфологических типов: изометричные, плито- и трубообразные.

Изометричные тела (штокверки, гнезда и др.), имеющие близкие размеры во всех трех измерениях, обычно разведываются по квадратной или треугольной сетке, чтобы можно было построить систему разноориентированных пересекающихся разрезов.

Плитообразные тела (пласты и пластообразные залежи, жилы, линзы и др.) - наиболее распространенные в природе. Разведка их определяется условиями залегания и очертаниями в плане или в проекции на плоскость, параллельную падению тела. При горизонтальном или пологом залегании тела полезного ископаемого может применяться сетка любой формы: квадратная, прямоугольная или ромбическая. В случае крутого падения тела разведка осуществляется профилями (линиями), ориентированными перпендикулярно его простиранию. Положение профилей и выработок на профиле выбирается так, чтобы точки пересечения выработками полезного ископаемого составили в плоскости тела правильную сеть (рис. 2.19).

Трубообразные тела (рудные столбы, трубы, вытянутые штоки) разведываются системой разрезов, ориентировка которых зависит от положения тела полезного ископаемого в пространстве. Горизонтальные или пологие трубы рассекаются вертикальными разведочными разрезами вкрест простирания (точнее, протяжения) тел, так как максимальная изменчивость их свойств чаще всего наблюдается в поперечном направлении. Крутопадающие трубы разведывают горизонтальными

разрезами. Итак, расположение разведочных выработок определяется формой, условиями залегания и изменчивостью свойств полезного ископаемого. Для количественной характеристики разведочные разрезы (и отдельные разведочные выработки) должны быть ориентированы по направлению максимальной изменчивости свойств полезного ископаемого.

Чаще всего изменчивость свойств полезного ископаемого наименьшая по простиранию тел, поэтому третье правило может быть сформулировано так: плоскости разведочных разрезов должны быть ориентированы поперек направления простирания тела полезного ископаемого. В том случае, когда тела полезного ископаемого имеют изометричную форму и не обладают закономерной изменчивостью свойств в каком-либо направлении, ориентировка разрезов определяется техническими соображениями. И здесь правильнее говорить не об ориентировке разрезов, а о расположении выработок по площади месторождения, т.е. о сети выработок.

Итак, расположение разведочных выработок определяется формой, условиями залегания и изменчивостью свойств полезного ископаемого. Для количественной характеристики размещения разведочных выработок по площади месторождения пользуются понятием параметра разведочной сети. Это понятие включает в себя следующие характеристики: глубину разведки, плотность и густоту разведочной сети.

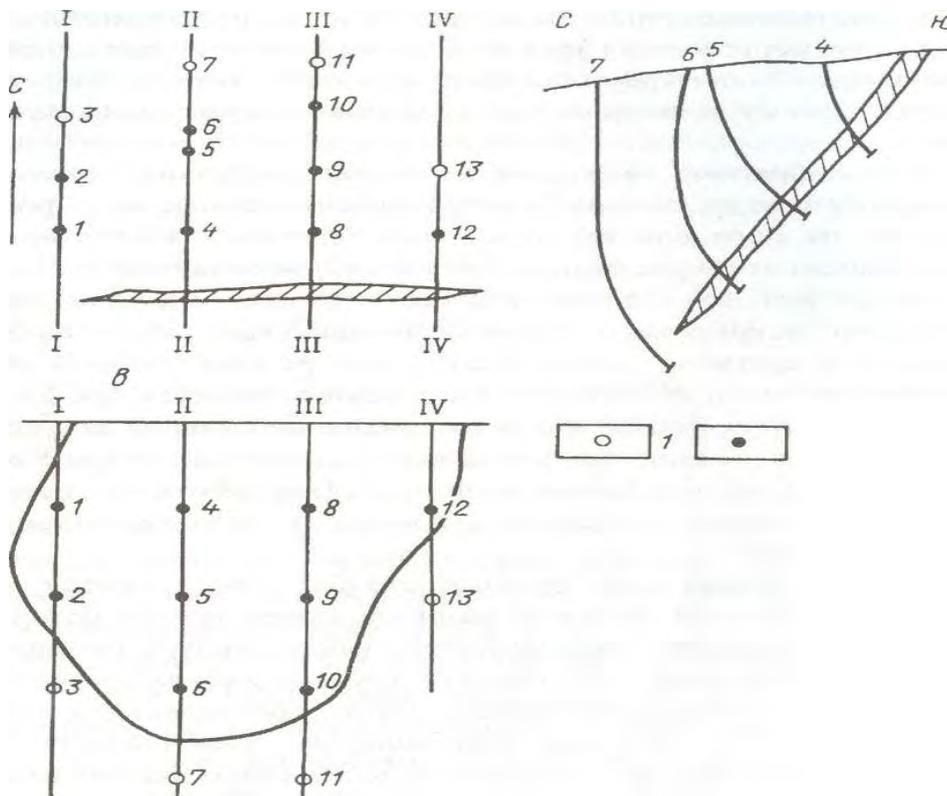


Рис. 2.19. Схема разведки плитообразного тела (жилы):

а - план; б - разрез по линии II-III; в-проекция на наклонную плоскость, параллельную падению жилы; 1,2 - скважины: 1 - не встретившие полезное ископаемое, 2 - пересекшие рудное тело; 3 — рудное тело (а) и его контур в проекции (б)

Глубина разведки показывает, на какое расстояние от поверхности вскрыто разведочными выработками полезное ископаемое. Она обусловлена, с одной стороны, глубиной распространения полезного ископаемого, с другой, если полезное ископаемое простирается на очень большие глубины, - технико-экономическими соображениями. В последнем случае глубина разведки устанавливается заранее исходя из сроков отработки месторождения по падению или технических возможностей применяемого оборудования.

Плотность разведочной сети S_0 выражается отношением всей площади месторождения S к числу разведочных выработок n , полностью пересекших полезное ископаемое, т.е. $S_0 = S/n$.

В практике геологоразведочного дела для количественной характеристики разведочной сети чаще используют понятие густота разведочной сети — т.е. расстояние между выработками, выраженное в метрах, например, 100×50 м. Первая цифра обычно соответствует расстоянию между соседними выработками по простиранию тела, вторая — по падению. При разведке профилями указываются расстояние между профилями (первая цифра) и расстояние между выработками в профиле (вторая цифра).

Все параметры разведочной сети должны отвечать следующим требованиям:

общее число выработок и глубина разведки должны быть минимально необходимыми;

в каждом разведочном разрезе тело полезного ископаемого должно быть пересечено в нескольких (минимум в двух) точках (требование «перекрытого пересечения»).

Необходимость соблюдения первого требования диктуется, главным образом, экономическими соображениями и соответствует принципам наименьших материальных и трудовых затрат и наименьших затрат времени. Несоблюдение требования перекрытого пересечения ведет к неверному или недостаточно полному определению формы, условий залегания и качества полезного ископаемого.

Так, при разведке месторождения цементного сырья — известняка, погребенного под наносами небольшой мощности, использовалась система вертикальных скважин (рис. 2.20), каждая из которых только один раз пересекала пласт известняка или глины, т.е. разрез получается не перекрытым. В результате, качество сырья определялось только в одном пересечении и судить о характере его распределения по простиранию каждого пласта было невозможно. Следовало применить систему наклонных скважин. В этом случае качество и условия залегания полезного ископаемого характеризуются достаточно полно. Использование такой системы несколько удорожает разведку, но достоверность и полнота полученной информации с избытком окупают незначительное увеличение затрат.

На параметры разведочной сети влияют следующие факторы:

степень и характер изменчивости полезного ископаемого;

размеры тела полезного ископаемого;

тип применяемых разведочных выработок;

стадия разведки.

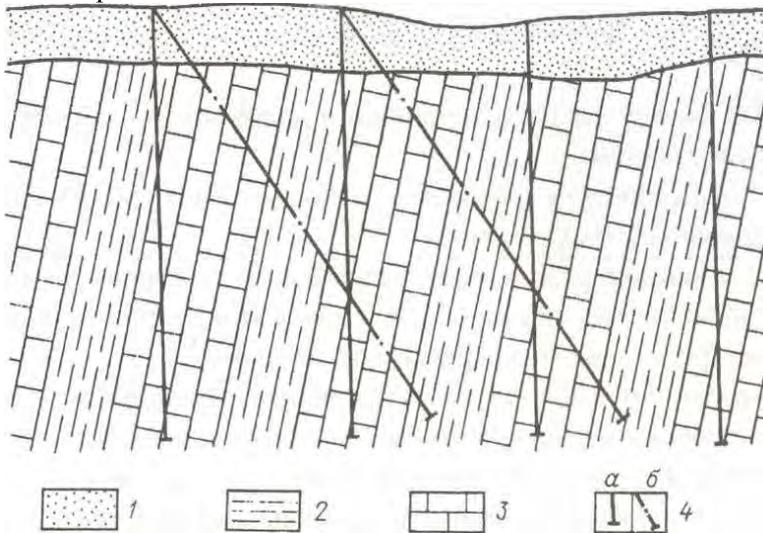


Рис. 2.20. Пример создания перекрытого пересечения:

1 — наносы; 2 — глины; 3 — известняки; 4 — неправильная (а), не дающая возможность получить перекрытое сечение, и правильная (б) ориентировка скважин

Значение первого фактора очевидно - чем больше и сложнее изменчивость распределения полезного компонента, мощности и условий залегания, тем плотнее должна быть разведочная сеть.

Влияние второго фактора - размеров тела полезного ископаемого сказывается, главным образом, при разведке небольших тел. В таких случаях на первый план выступают требования точности расчета средних величин показателей, для чего могут потребоваться расстояния между выработками меньшие, чем это понадобилось бы для характеристики собственно геологических условий месторождения. Например, размеры тела меньше, чем необходимая густота разведочной се-

ти, но для выполнения требования перекрытого разреза нужно не менее двух выработок. Следовательно, фактическое расстояние между выработками будет меньше, чем принятые параметры.

Зависимость от третьего фактора обусловлена достоверностью разведочных данных, получаемых техническими средствами различного типа. Так, при разведке горными выработками расстояния между ними будут больше, а плотность или густота соответственно меньше, чем при разведке скважинами.

Параметры разведочной сети должны соответствовать детальности решения поставленных задач, поэтому на стадии предварительной разведки, когда требуется общая приближенная оценка месторождения, расстояния между выработками будут значительно больше, чем на стадии детальной разведки, в задачи которой входит точное и полное определение всех характеристик месторождения.

Оптимальные параметры разведочной сети устанавливают несколькими способами: аналогий, экспериментальным и аналитическим.

Способ аналогий. Заключается в применении уже апробированной на другом месторождении разведочной сети, если разведываемое месторождение имеет близкие к эталонному характеристики. На способе аналогий основаны и специальные инструкции, рекомендуемые определенные сети выработок и технические средства для разных стадий разведки определенных типов месторождений.

Экспериментальный способ выявления параметров разведочной сети имеет две модификации. Первая основывается на сравнении параметров месторождения, установленных по данным различных вариантов более редкой сети, с параметрами, полученными при эксплуатации или при заведомо переуплотненной разведочной сети. По мере увеличения расстояний между разведочными выработками, принимаемыми в расчет, ошибка в оценке величины показателей месторождения тоже растет. В итоге выбирается такая плотность разведочной сети, которая при наибольших расстояниях между выработками дает достаточно точные значения сравниваемых показателей месторождения. Результаты расчетов используются на том же месторождении, если оно продолжает разведываться, или на других аналогичных объектах. Этот способ, очень широко применяющийся в практике геологоразведочных работ, получил название способа разрежения.

Вторая модификация экспериментального способа определения параметров разведочной сети построена на том же принципе разрешения, но эталоном служит искусственная модель. Модель может быть как физическая (из гипса, глины и других материалов), так и математическая. Выводы о рациональности параметров разведочной сети для месторождения с моделируемыми свойствами распространяются на подобные месторождения.

Аналитические способы расчета параметров разведочной сети базируются на применении математической статистики, теории вероятностей и других математических методов оценки степени изменчивости различных показателей полезного ископаемого. Широкое использование этих способов сдерживается тем, что пока не установлены количественные закономерности изменчивости свойств полезного ископаемого в зависимости от условий образования и факторов локализации оруденения.

В настоящее время многие научно-исследовательские организации работают над вопросами применения математических методов и ПК в геологоразведочном деле, так как от того, насколько правильно определены параметры разведочной сети, зависят сроки, стоимость, а главное — достоверность разведочных данных.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите этапы геологического изучения недр.
2. Что понимается под запасами и прогнозными ресурсами недр?
3. Дайте характеристику балансовых запасов полезных ископаемых.
4. Дайте характеристику забалансовых запасов полезных ископаемых. Дайте характеристику запасов в зависимости от степени изученности
5. недр.
6. Какие факторы и показатели характеризуют степень изученности запасов различных категорий?
7. Дайте характеристику месторождений по сложности геологического строения.
8. Что является основной целью геологической съемки и поисков?
9. Что такое разведка месторождений полезных ископаемых и каковы ее главные задачи?

10. Назовите основные принципы разведки. В чем заключается принцип полноты исследований и соблюдение каких требований он предусматривает?
11. Поясните смысл принципа последовательных приближений. Как он отражается в практике геологоразведочных работ?
12. В чем заключается принцип равномерности? Какие требования он предъявляет к методике и технике проведения геологоразведочных работ?
13. Каковы основные требования принципа наименьших материальных затрат?
14. Перечислите основные цели, задачи и результаты поисково-оценочной стадии и предварительной разведки.
15. Каковы цели, задачи и результаты детальной разведки месторождений? В каких случаях проводится детальная разведка?
16. Охарактеризуйте цели и задачи опережающей эксплуатационной разведки. Для решения каких вопросов используются данные опережающей эксплуатационной разведки?
17. Охарактеризуйте цели и задачи сопровождающей эксплуатационной разведки. Для решения каких вопросов используются данные сопровождающей эксплуатационной разведки?
18. Дайте сравнительную характеристику эксплуатационной разведки при открытых и подземных горных работах.
19. Назовите и охарактеризуйте основные методы разведки.
20. На какие группы делятся технические средства разведки?
21. Что такое системы разведки? Назовите их основные виды и укажите условия выбора той или иной системы.
22. Дайте краткую характеристику буровых систем разведки.
23. Когда принимаются горные и горно-буровые системы разведки? Какие их виды Вам известны?
24. Какие основные правила определяют расположение разведочных выработок? Назовите главные способы их размещения.
25. От каких основных характеристик месторождений зависит выбор формы разведочной сети?
26. Что такое параметры разведочной сети? Какими способами выбираются оптимальные параметры сети?

2.6. Геолого-промышленная оценка месторождения

2.6.1. Задачи оценки

[На оглавление](#)

Правильная и своевременная геолого-экономическая оценка месторождений на всех стадиях геологоразведочных работ служит основой их рационального планирования, оценки их экономической эффективности, способствуя своевременному выявлению минеральных ресурсов и рациональному использованию недр.

Геолого-экономическая (или геолого-промышленная) оценка осуществляется в процессе изучения месторождения или проявления полезных ископаемых непрерывно, так как каждая новая выработка, каждый анализ вносят изменения и уточнения в количественную и качественную оценку объекта и горногеологические условия его разработки.

Основная цель геолого-промышленной оценки на этапе поисков - определение целесообразности дальнейшего освоения изучаемого проявления полезных ископаемых, т.е. целесообразности постановки предварительной разведки. Поскольку информации, получаемой по результатам поисков, обычно недостаточно для конкретных технико-экономических расчетов, то основным способом геолого-промышленной оценки на этой стадии является аналогия - сравнение установленных характеристик проявления полезных ископаемых с показателями хорошо изученного, аналогичного по промышленно-геологическому типу месторождения.

В отдельных случаях на этапе поисков (чаще, поисково-оценочных работ) геолого-промышленная оценка может осуществляться путем технико-экономических расчетов. Целесообразность дальнейшего освоения месторождения подтверждается расчетом возможной производи-

тельности, сроков существования будущего горнодобывающего предприятия и ценности полезного ископаемого, выполняемым, исходя из возможного (так как запасы на этой стадии не подсчитываются) количества полезного ископаемого и полезных компонентов, содержащихся в месторождении, и потребности промышленности в данном виде сырья.

Геолого-промышленная оценка по результатам предварительной разведки практически целиком базируется на технико-экономических расчетах. Основой такой оценки являются технико-экономическое обоснование (ТЭО) предварительных кондиций и технико-экономический доклад (ТЭД), в котором рассматривается экономическая целесообразность дальнейшего освоения месторождения, исходя из его масштабов, горнотехнических условий разработки, возможных технологических схем переработки полезного ископаемого и экономико-географических условий района. Для месторождений, заслуживающих дальнейшего освоения, в ТЭДе обосновывается возможность совмещения детальных разведочных работ с проектированием и строительством горнодобывающего предприятия, и рекомендуются участки для первоочередного освоения. В ходе геолого-промышленной оценки по результатам детальной разведки должны быть определены:

количество запасов полезного ископаемого (устанавливается при изучении формы, условий залегания и размеров тел полезных ископаемых путем построения системы геологических разрезов);

качество полезного ископаемого и количество полезных (основного и сопутствующих) компонентов (выявляются опробованием) ;

технологические свойства полезного ископаемого, т. е. возможность и рациональность извлечения всех полезных компонентов или переработки полезного ископаемого для дальнейшего использования в соответствующих отраслях промышленности (устанавливаются в ходе технологического опробования);

горнотехнические условия разработки месторождения (выясняются по результатам гидрогеологических и инженерно- геологических исследований, а также при изучении пространственно-морфологических особенностей тел полезного ископаемого) ;

экономико-географические условия района месторождения - климат, рельеф местности, энергетические ресурсы, транспортные условия, обеспеченность топливом и местными строительными материалами, трудовые ресурсы, экономический профиль района и т. д.

Окончательная оценка месторождения проводится после завершения разведки, точнее, после подсчета запасов и утверждения промышленных кондиций, так как главным критерием промышленной значимости месторождения, основой расчетов его ценности являются запасы полезного ископаемого и полезных компонентов. Причем, важно определить не только количество запасов минерального сырья, но и их достоверность, т. е. важно, чтобы эти запасы оказались при отработке в том месте, имели то качество и те особенности, которые были установлены в процессе подсчета запасов. На основе подсчета запасов оцениваются годовая производительность горнодобывающего предприятия, выпуск товарной продукции (руды или концентратов), себестоимость, рентабельность разработки месторождения с учетом мероприятий по сохранению окружающей среды. При этом оценочные показатели могут рассчитываться не только для всего месторождения, но и для отдельных его участков.

2.6.2. Понятие о кондициях

[На оглавление](#)

Как правило, промышленное значение имеет не все разведанное месторождение или тело полезного ископаемого, а только та их часть, которая по количеству и качеству минерального сырья, а также условиям отработки пригодна для рентабельной эксплуатации. Оконтуривание и подсчет промышленных запасов с выделением среди них балансовых и забалансовых осуществляются на основе кондиций.

Кондиции на минеральное сырье. Представляют собой совокупность требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям их разработки, обеспечивающих экономически выгодную и безопасную эксплуатацию месторождения. Эти требования выражаются параметрами кондиций — лимитными (предельными) значениями некоторых натуральных показателей для оконтуривания и подсчета запасов (бортовое и минимальное промышленное содержание полезного компонента, минимальная мощность тел полезного ископаемого и др.).

Кондиции разрабатываются и уточняются в процессе геолого-экономической оценки месторождений по материалам их разведки и эксплуатации путем составления специального технико-экономического обоснования с учетом способа добычи и технологии переработки минерального сырья. ТЭО кондиций составляются применительно к отдельным месторождениям самими недропользователями или проектными (научно-исследовательскими) организациями и утверждаются в установленном порядке. В соответствии с этапами изучения и освоения месторождений кондиции разделяются на разведочные (временные и постоянные) и эксплуатационные.

Временные разведочные кондиции разрабатываются по материалам оценки или незавершенной разведки месторождения. Они служат для предварительной оценки масштабов и экономической значимости месторождения, определения целесообразности инвестирования в дальнейшее изучение. Необходимость разработки, содержание и порядок рассмотрения временных разведочных кондиций устанавливаются самими недропользователями или, в соответствующих случаях, органами управления государственным фондом недр.

Постоянные разведочные кондиции разрабатываются по материалам завершенных геолого-разведочных работ (детальная разведка, доразведка) и имеют своей целью установление масштабов и промышленной ценности месторождения для определения целесообразности и экономической эффективности его промышленного освоения.

ТЭО разведочных кондиций должно содержать в себе геологическое, горно-техническое, технологическое, экологическое и экономическое обоснования. Для комплексных месторождений в ТЭО необходимо рассмотреть возможность использования как основного полезного ископаемого, так и совместно с ним залегающих полезных ископаемых, а также подземных вод, участвующих в обводнении месторождения (для хозяйственно-питьевого водоснабжения или извлечения из них полезных компонентов). Разведочные кондиции для подсчета запасов вскрышных и вмещающих пород, пригодных для хозяйственного использования, разрабатываются и утверждаются одновременно с кондициями для подсчета запасов основных полезных ископаемых.

В ТЭО кондиций должны быть доказаны возможность сохранности в недрах для последующего извлечения и целесообразность отдельного складирования и сохранения для использования в будущем забалансовых разведанных запасов, а также рассмотрена и обоснована целесообразность подсчета и учета запасов, заключенных в охранных целиках крупных водоемов и водотоков, населенных пунктов, капитальных сооружений и сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры. Вопрос об отнесении запасов в охранных целиках к балансовым или забалансовым решается на основе технико-экономических расчетов, в которых учитываются затраты на перенос сооружений или специальные способы отработки запасов.

Разведочные кондиции разрабатываются, исходя из экономического эффекта освоения месторождения в целом, определенного на основе сложившегося на период составления ТЭО кондиций цен, тарифов и налоговых ставок. В процессе освоения месторождения возникает необходимость корректировки усредненных показателей разведочных кондиций для конкретных геологически или технологически обособленных участков месторождения с учетом актуальной ситуации на рынке товарного продукта, производимого горнодобывающим предприятием. Для реализации такой корректировки существуют эксплуатационные кондиции.

Эксплуатационные кондиции разрабатываются по инициативе недропользователя при необходимости уточнения граничных требований к качеству извлекаемого полезного ископаемого и условий его залегания применительно к конкретным частям месторождения (этажам, подэтажам, эксплуатационным блокам, панелям, выемочным участкам, существенно отличающимся по условиям отработки от средних показателей, принятых при обосновании разведочных кондиций), а также для обеспечения стабильной безубыточной работы предприятия в период резкого изменения рыночной конъюнктуры на минеральное сырье, продукты его переработки и цен на энергетические и другие ресурсы. Параметры эксплуатационных кондиций в отличие от разведочных могут быть дифференцированы по участкам месторождения с учетом уточненных в процессе доразведки и эксплуатации данных об их геологическом строении и условиях отработки полезного ископаемого.

Эксплуатационные кондиции разрабатываются на основе детального геологического изучения месторождения, анализа проектов разработки конкретных блоков, технологических схем переработки минерального сырья с учетом актуальных цен, тарифов и налоговых ставок. ТЭО эксплуатационных кондиций составляется, как правило, на ограниченный срок, соответствующий

величине запасов полезного ископаемого, заключенного в намеченных к отработке на этот период технологически обособленных частях месторождения. При этом должна обеспечиваться сохранность запасов, временно не вовлекаемых в промышленное освоение. Таким образом, в процессе разработки месторождения эксплуатационные кондиции могут неоднократно пересматриваться и корректироваться в зависимости от изменения экономических, геологических и горно-технических факторов.

Параметры кондиций, которые необходимы для геолого-экономической оценки данного месторождения, устанавливаются в зависимости от вида полезного ископаемого и наличия сопутных полезных ископаемых и компонентов, геологического строения месторождения, горно-геологических условий его отработки, обоснованного ТЭО способа добычи и переработки полезного ископаемого, требований промышленности к качеству минерального сырья. Для оконтуривания и подсчета запасов большинства месторождений руд и нерудного сырья достаточно следующих основных параметров кондиций.

Бортовое содержание - наименьшее содержание полезного компонента (для комплексных руд - суммы содержаний компонентов, приведенных к содержанию условного основного компонента, имеющего максимальную извлекаемую ценность) в пробах, включаемых в подсчет запасов при оконтуривании тела полезного ископаемого по мощности (пересечению разведочной выработкой) в случае отсутствия его четких геологических границ. Бортовое содержание устанавливается на уровне, обеспечивающем максимальную экономическую эффективность использования запасов. Оно определяется на основе повариантных технико-экономических расчетов. Как правило, выполняется не менее трех (обычно четыре-пять) вариантов с расчетными значениями бортового содержания выше и ниже оптимального.

Минимальное содержание компонента в краевой выработке устанавливается кондициями для месторождений, представленных относительно маломощными телами полезного ископаемого, имеющими четкие геологические границы и характеризующимися закономерным снижением содержания полезных компонентов, что обычно наблюдается в краевых частях тел, но иногда может быть и внутри них. Расчет минимального содержания компонента в краевой (оконтуривающей) выработке выполняется аналогично расчету бортового содержания повариантным способом. Минимальное промышленное содержание полезного компонента (или приведенное к содержанию условного компонента) в подсчетном блоке - содержание, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение эксплуатационных затрат на получение товарной продукции при нулевой рентабельности производства.

Минимальная мощность тел полезного ископаемого - устанавливается, исходя из применения оптимальных для данного месторождения способа и систем разработки, а также оборудования для механизации добычных работ. Оконтуривание маломощных тел с повышенным содержанием полезных компонентов производится по метропроценту (метрограмму), исходя из установленных кондициями минимальной мощности тела полезного ископаемого и бортового содержания, а при геологических границах тела - по минимальному содержанию в краевой выработке.

Максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных полезных ископаемых, включаемых в подсчет запасов, зависит от горно-геологических условий месторождения, определяющих системы разработки и применяемое оборудование, и от технологии переработки минерального сырья.

Максимально допустимые содержания вредных примесей в подсчетном блоке, в выработке или пробе устанавливаются в соответствии с требованиями действующих стандартов и технических условий к качеству товарной продукции горнодобывающего предприятия.

Требования к выделению при подсчете запасов типов и сортов полезного ископаемого устанавливаются при наличии на месторождении нескольких природных разновидностей полезного ископаемого, отличающихся по технологическим свойствам и требующих отдельной добычи и переработки (либо строго дозированной шихтовки). В этом случае в ТЭО кондиций должны быть определены бортовое содержание и другие параметры, необходимые для подсчета запасов полезных ископаемых по типам и сортам.

Максимальная глубина подсчета запасов определяется экономически обоснованными контурами их разработки. В случае открытой разработки месторождений с субгоризонтально залегающими телами полезных ископаемых и ограниченной мощностью вскрышных пород максимальная глубина подсчета запасов обуславливается предельно допустимым коэффициентом вскрыши, относящимся к каждому подсчетному блоку.

Минимальный коэффициент рудоносности в подсчетном блоке регламентируется кондициями для месторождений с прерывистым распределением полезных компонентов, когда промышленные руды по горно-геологическим критериям не могут быть оконтурены и подсчет запасов производится в контурах рудоносной зоны (залежи, тела) статистически. Минимальный коэффициент рудоносности устанавливается на основе прямых расчетов путем сопоставления эксплуатационных затрат на отработку блока с извлекаемой при этом стоимостью конечной товарной продукции.

Минимальные геологические запасы изолированных тел (участков) полезных ископаемых определяются при наличии на месторождениях, подлежащих подземной разработке, изолированных тел (участков), отстоящих на значительном расстоянии от основных тел полезного ископаемого и требующих проходки дополнительных вскрывающих выработок. Рассматриваемый параметр кондиций устанавливается на основе прямого технико-экономического расчета исходя из принципа безубыточной добычи запасов изолированных тел (участков) полезного ископаемого.

Наряду с указанными параметрами кондиций для подсчета запасов отдельных видов минерального сырья, в том числе разрабатываемых нетрадиционными способами, могут применяться и другие параметры кондиций. В частности, для угольных месторождений кондициями регламентируются максимальная зольность углей, требования к их качеству по направлениям использования промышленностью и ряд других параметров. Применительно к месторождениям, разрабатываемым способом подземного выщелачивания, одними из основных параметров кондиций являются минимальный коэффициент фильтрации по блоку (залежи) и предельная глубина залегания подземных вод. Для месторождений облицовочного камня кондициями устанавливается минимальный выход облицовочных плит или блоков.

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) и расчеты параметров разведочных кондиций. Осуществляются на основе анализа и оценки всех основных факторов, определяющих условия реализации проекта освоения месторождения (экономико-географическое положение, горно-геологические, гидрогеологические и другие природные условия, качественная и количественная характеристики запасов полезных ископаемых результаты испытаний технологических проб, наиболее приемлемые способы и системы разработки, предполагаемая схема переработки минерального сырья, номенклатура товарной продукции и схема ее реализации на рынке, экологические последствия разработки месторождения и мероприятия, необходимые для их предотвращения или минимизации).

Экономическая оценка проекта разработки месторождения выполняется на основе моделирования потоков продукции, ресурсов и денежных средств в пределах срока отработки месторождения или его части. Основным показателем, который используется при технико-экономическом обосновании разведочных кондиций, является чистый дисконтированный доход (ЧДД). Дисконтирование - это приведение денежных потоков к единому моменту времени (началу освоения месторождения) с учетом величины банковской ставки. Таким образом, ЧДД есть чистая прибыль предпринимателя, уменьшенная на величину дохода, который он мог бы получить, не вкладывая деньги в проект разработки месторождения, а просто храня их в банке.

Геолого-экономическая оценка месторождения в ТЭО разведочных кондиций выполняется в двух вариантах - базовом, на основе которого определяются общие геологические (потенциальные) запасы месторождения, и коммерческом, устанавливающим ту часть запасов, которая в данный момент может быть отработана с приемлемым экономическим эффектом (балансовые запасы).

Базовый вариант предполагает, что в состав затратных показателей проекта не включаются установленные законодательством на момент разработки ТЭО налоговые и иные, относимые на себестоимость продукции платежи, а также платежи по кредитам банков. Расчетная ставка дисконта принимается равной 10 %. Коммерческий вариант включает в себя все указанные затраты, не учитываемые в базовом варианте. В этом случае ставка дисконта составляет обычно не ниже 15 %.

Технико-экономические показатели эксплуатационных кондиций разрабатываются также на основе анализа дисконтированных потоков денежной наличности с учетом существующих на данный момент цен на производимую продукцию, энергоресурсы, систем и ставок налогообложения, таможенных тарифов, льгот и условий привлечения заемного капитала. Они рассчитываются применительно к конкретной части месторождения, планируемой к отработке в рамках технического проекта в ближайшие несколько лет. Срок действия эксплуатационных кондиций обосновывается в ТЭО и окончательно устанавливается в процессе его государственной экспер-

тизы с учетом реальной экономической обстановки и геологических особенностей эксплуатируемого месторождения.

2.6.3. Подготовленность месторождения для промышленного освоения

[На оглавление](#)

Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых определены условия, при которых месторождение считается подготовленным для промышленного освоения. Эти условия таковы:

запасы утверждены ГКЗ или ТКЗ (если месторождение новое) или Центральной комиссией по запасам отраслевого министерства (если месторождение уже разрабатывается);

вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого изучены с детальностью, достаточной для проектирования технологической схемы извлечения полезных компонентов;

гидрогеологические и инженерно-геологические условия изучены с детальностью, достаточной для составления проекта разработки месторождения;

участки, намеченные к первоочередному освоению, разведаны наиболее детально;

изучены другие полезные ископаемые, залегающие в пределах земельного отвода (вскрышные породы, отходы), определены возможности их использования и подсчитано количество;

оценена возможность хозяйственного и бытового водоснабжения;

разработаны мероприятия по охране окружающей среды и рациональному использованию недр;

утвержденные балансовые запасы должны иметь определенное соотношение различных категорий, варьирующее для месторождений, принадлежащих по сложности геологического строения к разным группам (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Соотношение запасов различных категорий (%) для месторождений различных групп (1-4) по сложности геологического строения

| Категория запасов | Металлические и неметаллические полезные ископаемые | | | | Угли и горючие сланцы | | |
|-------------------|---|----|----|----|-----------------------|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| A | 10 | — | — | — | 20 | — | — |
| B | 20 | 20 | — | — | 30 | 50 | — |
| C ₁ | 70 | 80 | 80 | 50 | 50 | 50 | 100 |
| C ₂ | — | — | 20 | 50 | — | — | — |

2.6.4. Опробывание

[На оглавление](#)

Опробование - практически единственный способ изучения качественных показателей полезного ископаемого. В большинстве случаев оно представляет собой последовательный трехстадийный процесс: отбор, обработку и исследование проб.

Первая стадия заключается в отделении от массива тем или иным способом некоторой порции - пробы - полезного ископаемого или породы, качественные показатели которых изучаются. Вторая стадия - промежуточная. Ее назначение - подготовка пробы к дальнейшим исследованиям, испытаниям, анализам. Задача третьей стадии - получить количественное значение изучаемого показателя качества. Исследования вещества проб, которыми занимаются специальные лаборатории, не являются (за исключением минералого-петрографических исследований) предметом наук геологического цикла, поэтому в данном курсе не рассматриваются.

В соответствии с назначением выделяют следующие основные виды опробования:

химическое - определение химического (элементного) и фазового состава полезного ископаемого;

минералогическое - определение минерального состава полезного ископаемого и вмещающих пород;

технологическое - исследование обогатимости полезного ископаемого;

техническое - анализ физических и горно-технических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород (плотности, влажности, пористости, сопротивления сжатию, разрыву и сдвигу, абразивности, буримости и др.);

геофизическое - исследование физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород и на этой основе определение содержания полезных и вредных компонентов и других показателей качества.

Основные цели разведочного опробования таковы:

характеристика качества полезного ископаемого и закономерностей его распределения в объеме месторождения или тела;

определение количества полезных компонентов (подсчет запасов компонентов);

выявление физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород для оценки горнотехнических условий разработки месторождения.

Для достижения этих целей и успешного решения задач разведки опробование должно отвечать следующим основным принципам - оно должно быть представительным, равномерным, а число проб - минимальным.

Опробование считается представительным, если, во-первых, установленные по данным всей системы опробования особенности распределения показателей качества соответствуют их истинному распределению в объеме месторождения, а во-вторых, значения показателей качества каждой отдельной пробы отвечают их значениям в пределах объема, характеризуемого этой и пробой.

Первое положение этого принципа имеет геологический смысл. Оно означает, что расположение пунктов опробования должно соответствовать морфологическим, структурным и литолого-петрографическим особенностям полезного ископаемого, а также учитывать степень и характер его изменчивости. Второе положение принципа представительности обусловлено, кроме геологических, еще и технико-экономическими соображениями: размеры каждой пробы должны быть минимально необходимыми, так как увеличение массы пробы в арифметической прогрессии вызывает рост стоимости ее обработки в геометрической прогрессии.

Принцип равномерности опробования согласуется с принципом равномерности (равной достоверности) разведки. Пробы должны располагаться равномерно по площади и мощности тела полезного ископаемого, но, конечно, с учетом анизотропии его свойств.

Способы отбора проб определяются, главным образом, назначением опробования и видом опробуемой выработки. Наиболее часто употребляются следующие способы отбора проб: штуфной, точечный, бороздовый, задириковый, валовый, керновый и шламовый.

При штуфном способе от массива отделяется (откалывается или выпиливается) отдельный кусок или блок (штуф) породы или полезного ископаемого массой от 0,2-0,5 до 10-15 кг и более. Этот способ используется при минералогических и физико-механических исследованиях.

Точечный способ заключается в следующем. На обнажение полезного ископаемого или навал отбитой горной массы накладывается реальная или воображаемая сетка с квадратной или прямоугольной формой ячеек. Из узлов ячеек или из их центров откалываются (отбираются) небольшие кусочки полезного ископаемого (частичные пробы), которые вместе составляют начальную пробу. При опробовании точечным способом навала разрыхленной горной массы в забое, отвалах или транспортных емкостях этот способ называется горстьевым, или вычерпывание.

При бороздовом способе на обнаженной поверхности тела полезного ископаемого вручную (зубилом и молотком) или с помощью механического пробоотборника режущего типа с электрическим или пневматическим приводом выбивается или вырезается канавка — борозда — прямоугольного, треугольного или трапециевидного поперечного сечения. Этот способ — самый распространенный как при разведке, так и при разработке месторождений различных видов (главным образом металлических) полезных ископаемых. Размеры поперечного сечения (ширина и глубина) прямоугольных борозд зависят от степени равномерности распределения рудения и мощности рудного тела (табл. 2.2.).

В процессе детальной разведки и особенно эксплуатации, когда отбирается очень большое число проб и допустимо некоторое снижение точности определения показателей качества в каждой из них, ради сокращения затрат на опробование и облегчение обработки проб допускается либо уменьшение сечения борозд, либо даже применение так называемой «пунктирной борозды» (по линии определенного направления и размера отбивается серия кусочков полезного ископаемого, которые и составляют пробу). Следует заметить, что пунктирная борозда дает результаты

довольно низкой точности, поэтому, несмотря на высокую производительность и малую стоимость этого способа опробования, использование его оправдано лишь при эксплуатации месторождений с хорошо изученным и относительно равномерным распределением полезных компонентов.

При опробовании угольных месторождений размер борозды варьирует от (10-16)х(3-5) см для однородных углей до (25-30) х (3-5) см для углей сложного и неустойчивого петрографического состава. На россыпях и месторождениях многих нерудных полезных ископаемых (цементное сырье, кирпичные глины, песчано-гравийные смеси и др.) применяют борозды сечением (25-30) х (10-20) см.

Таблица 2.2

Примерные сечения борозд (см) при опробовании
рудных месторождений

| Характер оруденения | Мощность рудных тел, м | | |
|----------------------------------|------------------------|---------------------|--------|
| | 2,5-2 | от 2,5-2 до 0,8—0,5 | 0,5 |
| Весьма равномерный и равномерный | 5х2 | 6х2 | 10х2 |
| Неравномерный | 8х2,5 | 9х2,5 | 10х2,5 |
| Весьма и крайне неравномерный | 8х3 | 10х3 | 12х3 |

Борозды располагаются перпендикулярно мощности рудного тела и в пределах одного минерального или промышленного типа полезного ископаемого. В случае очень большой мощности или сложного строения полезное ископаемое опробуется секциями длиной 0,7-1,5 м (рис. 2.21). Каждая секция затем обрабатывается и анализируется как отдельная самостоятельная проба.

Задирковый способ заключается в том, что с обнаженной поверхности полезного ископаемого по всей площади сдирается тонкий (обычно не более 2—5 мм) слой полезного ископаемого. Этот способ используется только в случае крайне неравномерного распределения полезных компонентов и малой мощности полезного ископаемого или в качестве контрольного для бороздового и точечного опробования.

При валовом способе в пробу отбирается либо вся горная масса, полученная при проходке данного интервала разведочной выработки по полезному ископаемому, либо какая-то часть, например, каждая вторая, третья, пятая (и др.) лопата, вагонетка, ковш и др. Масса валовой пробы может достигать нескольких тонн, поэтому данный способ опробования предназначен, главным образом, для технологических исследований или для контроля других способов опробования, а также при разведке россыпных месторождений драгоценных металлов и алмазов.

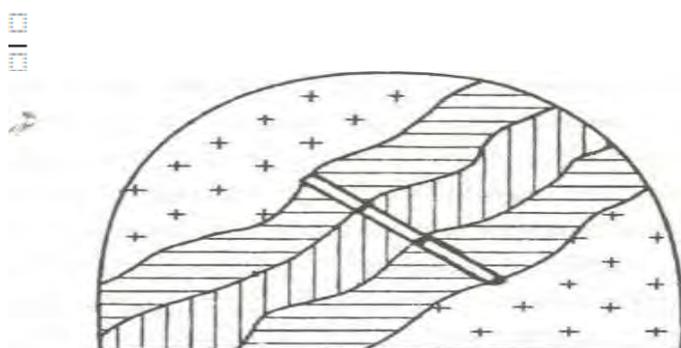


Рис. 2.21. Расположение бороздовых проб (борозд) при опробовании сложного по составу рудного тела:

1 - вмещающие породы; 2, 3 - руды: 2 - галенитовые, 3 - сфалеритовые; 4 - борозды

Керновое опробование проводится следующим образом. Керн скважины раскалывается вдоль длинной оси. Одна половина идет на пробу, вторая остается для контроля и минералогических исследований. Если диаметр керна недостаточен, чтобы из его половинки была получена представительная проба, то отбирается весь керн. Этот способ опробования применяется при разведке всех видов полезных ископаемых.

При шламовом способе отбора в пробу поступают кусочки породы или руды и пыль (шлам), образующиеся при бурении шпуров и скважин. Иногда при низком выходе керна этот способ дополняет керновый.

Помимо упомянутых основных способов опробования, существует несколько путей определения качества полезного ископаемого без отбора отдельных проб. К ним относятся геофизические способы опробования и визуальное (определение содержания полезного компонента «на глаз»), В этих случаях используются различные свойства полезного ископаемого, отличающие его от вмещающих пород.

Геофизическое опробование в последние годы быстро развивается и находит все более широкое применение. В дополнение к таким широко известным способам геофизического опробования, как магнито- (определение содержания железа в магнетитовых рудах) и радиометрия (определение содержания урана и тория путем измерения уровня естественной радиоактивности), добавилась значительная группа ядерно-физических методов, среди которых выделяются два типа: гамма-методы, основанные на измерении искусственных (наведенных) источников гамма-излучения, и нейтронные, регистрирующие интенсивность нейтронного или связанного с ним гамма-излучения. С помощью ядерно-физического опробования возможно определение содержания железа, свинца, ртути, вольфрама, сурьмы, бария, цинка, молибдена, висмута, олова, хрома, никеля, марганца, меди, алюминия, бериллия и других компонентов во многих (но, к сожалению, не во всех) типах руд.

Фото опробование заключается в фотографировании обнажения (забоя или стенки выработки) и подсчете площадей, занятых полезным минералом. Этот способ опробования дает положительные результаты, если по оптическим свойствам полезное ископаемое достаточно резко отличается от вмещающих пород. В таких случаях может применяться и визуальное опробование, с помощью которого при достаточном опыте наблюдателя могут быть получены довольно точные результаты.

Следует отметить, что фото- и визуальное опробование носят вспомогательный характер для приближенной оценки качества полезного ископаемого, так как их точность (особенно визуального опробования) зависит от многих субъективных факторов.

Выбор способа опробования обусловлен двумя группами факторов: геологическими и общими. Главными являются геологические факторы, а именно: промышленный тип месторождения, текстурно-структурные характеристики полезного ископаемого, тип распределения полезных компонентов в руде, размер рудных тел, их мощность и крупность полезного ископаемого. Массивные и равномерно-вкрапленные руды значительной мощности могут опробоваться любым способом, но предпочтительно применение шламового или точечного опробования. Полосчатые, прожилковые и неравномерно-вкрапленные полезные ископаемые рациональнее опробовать бороздовым способом при ориентировке борозды перпендикулярно полосчатости. Крепкие и весьма крепкие полезные ископаемые опробуются либо шламовым (если распределение полезных компонентов относительно "равномерное"), либо точечным и задириковым способами, так как в подобных полезных ископаемых выбивать правильную борозду очень трудно.

Среди общих факторов, влияющих на выбор способа опробования, следует выделить следующие: задачи опробования, объем работ и применяемые системы разработки (при опробовании эксплуатируемых месторождений). Задачи опробования иногда являются решающим фактором. Так, для определения физико-механических свойств полезного ископаемого иного способа, чем штупной (выпиливание правильных кубиков), применить нельзя, а для оценки технологических свойств полезного ископаемого требуется большое количество материала, следовательно, необходимо проводить валовое опробование и др.

Объем работ по отбору проб также может иметь важное значение при выборе способа опробования. Если отбирается сравнительно небольшое число проб, то следует использовать, невзирая на трудоемкость, способы опробования, обеспечивающие максимальную достоверность результатов. Напротив, при больших объемах работ по опробованию предпочтение отдается наиболее простым и дешевым способам отбора проб в ущерб высокой точности результатов по каждой пробе (например, пунктирная борозда вместо обычной).

Влияние применяемых систем разработки на выбор способа опробования преимущественно определяется возможностью и длительностью присутствия людей в выработанном пространстве (если доступ в очистное пространство свободный, то можно применять любой способ опробования, если нет - шламовый или керновый), т.е. доступностью полезного ископаемого для взятия пробы.

Правильность определения качественных особенностей полезного ископаемого обусловлена не только способом опробования, но и параметрами его сети. В этом вопросе главными являются геологические факторы — неравномерность распределения полезного компонента и изменчивость формы тел. Рациональные расстояния между пробами, подтвержденные большим опытом разведки, приводит В.М. Крейтер (табл. 2.3). Почти при всех видах опробования после отбора проб проводится их обработка. При минералогическом опробовании обработка заключается в изготовлении прозрачных и полированных шлифов для изучения полезного ископаемого оптическими методами или же в дроблении вещества проб для исследования минерального состава под бинокляром.

Таблица 2.3.

Расстояния между пробами (по простиранию) на месторождениях разных типов

| Характер распределения компонентов (коэффициент вариации) | Месторождения | Расстояния, м |
|---|--|---------------|
| Равномерный (5—40 %) | Простые углей, горючих сланцев, строительных материалов, флюсов, цементного сырья, серы, каменных и калийных солей, некоторых железных и марганцевых руд, глин, коалинов и др. | 50—6 |
| Неравномерный (40—100%) | Гидротермальные медных и полиметаллических руд, скарновые золоторудные, вольфрамовые, молибденовые | 6-4 |
| Весьма неравномерный (100—150 %) | Некоторые полиметаллические, большинство оловорудных, вольфрамовых, молибденовых, многие золоторудные | 4—2,5 |
| Крайне неравномерный (> 150%) | Многие редких металлов, золоторудные, платиновые | 2,5—2 |

Обработка проб технического опробования зависит от конкретного назначения этого вида опробования. Для выявления физико-механических свойств и средней плотности производится распиловка отобранных штучков на правильные геометрические фигуры: кубики, блочки, а для оценки качества индустриального сырья - сортировка, рассеивание, отмывка и др.

Наиболее сложна обработка проб для химического анализа, особенно многокомпонентных (комплексных) руд. Для собственно анализа обычно достаточно 50-200 г вещества, а начальная масса представительной пробы превышает 3-5 кг. Кроме того, полезные компоненты неравномерно распределены в массе пробы, а полезные минералы находятся в сростках с жильными. Поэтому обработка химических проб выполняется с целью, во-первых, отделения (раскрытия) рудных минералов от жильных и, во-вторых, обеспечения равномерности, гомогенности вещества пробы с тем, чтобы содержание компонентов в лабораторной навеске было таким же, как и в исходной пробе. Эта цель достигается рядом последовательных повторяющихся циклов измельчения, перемешивания и сокращения исходного материала пробы. Степень сокращения пробы в конце каждого такого цикла определяется размером частиц (степенью дробления или измельчения) и степенью неравномерности распределения компонентов. Наиболее употребительной формулой для расчета необходимой массы пробы после очередного этапа дробления и перемешивания (и, тем самым, возможной степени сокращения начальной массы) является формула Г.О. Чечотта:

$$Q = kd^2$$

где Q- масса пробы после сокращения, кг; d — диаметр частиц максимальной фракции, мм; k- коэффициент, зависящий от степени неравномерности распределения компонентов; для различных полезных ископаемых его значение меняется от 0,05 до 1.

На основе этой формулы составляется схема обработки пробы, в которой указываются число этапов дробления, измельчения и истирания материала пробы, а также количество и степень сокращения на каждом этапе измельчения.

2.6.5. Оконтуривание тел полезных ископаемых

[На оглавление](#)

Оконтуривание — это процесс ограничения тела полезного ископаемого в пространстве. Данный процесс обычно включает в себя две процедуры: определение положения опорных точек и соединение последних линией, которая и называется контуром. Оконтуривание тел полезных ископаемых производится на графических материалах: планах, разрезах, проекциях и блок-диаграммах. Выделяются две основные группы контуров - естественные, обусловленные природными причинами, и искусственные. К естественным контурам относятся следующие: нулевой, представляющий собой линию полного выклинивания тела полезного ископаемого или ограничивающий область, в пределах которой полезный компонент отсутствует, а также сортовой, разграничивающий минеральные типы или промышленные сорта полезного ископаемого.

Искусственные контуры, безусловно, связаны с естественными, но они проводятся чаще всего по формальным признакам. Искусственными являются контуры балансовых и забалансовых запасов, категорий запасов, шахтного поля и др. Положение естественных контуров не меняется во времени и пространстве, оно может только уточняться в результате получения дополнительных данных, а искусственных - зависит не только от объема наших знаний о теле полезного ископаемого, но и от различных причин технико-экономического и организационного характера. Например, при пересмотре кондиций (вследствие внедрения более прогрессивной технологии переработки руд или по другим причинам) понизилось предельное содержание полезного компонента в промышленных рудах, в результате контур балансовых руд может «отодвинуться» на значительное расстояние. Другой пример - по итогам проведения дополнительной разведки запасы категории В переведены в категорию А, что вызвало изменение контуров запасов этих категорий, тогда как естественные границы тела полезного ископаемого и в том, и в другом случае остались неизменными.

В зависимости от применяемых способов оконтуривания все группы контуров объединяются в два вида: внутренние и внешние. Внутренние проводятся строго через выработки, пересекающие полезное ископаемое, и, как правило, являются искусственными, а внешние - между такими выработками или за их пределами; последние могут быть как искусственными, так и естественными.

Способ оконтуривания тела полезного ископаемого определяется его морфологическим типом и условиями залегания.

Плитообразные тела при пологом падении оконтуриваются в плане, при крутом - в проекции на вертикальную плоскость, при наклонном - в проекциях на вертикальную и горизонтальную плоскости или в проекции на наклонную плоскость, параллельную падению тела. Оконтуривание трубообразных тел проводится также в проекции на вертикальную или горизонтальную плоскость, а изометричных - обычно в проекции на горизонтальную плоскость. Тела всех морфологических типов оконтуриваются на разрезах и блок-диаграммах.

В порядке убывания точности построения контуров различают три способа оконтуривания: непрерывного прослеживания, интерполяции и экстраполяции.

Непрерывное прослеживание контактов выполняется, когда мощность тела полезного ископаемого меньше размеров прослеживающей выработки (штрека, восстающего, канавы и др.) или же эта выработка проходит непосредственно по контакту тела полезного ископаемого с вмещающими породами. Обычно с помощью этого способа удается построить только часть контура тела полезного ископаемого.

Интерполяция заключается в проведении контура через непосредственно установленные точки контакта полезного ископаемого с вмещающими породами (на разрезах) или через точки пересечения разведочными выработками полезного ископаемого (при построении контура на проекциях — рис. 2.22).

Экстраполяция представляет собой оконтуривание за пределами выработок, встретивших полезное ископаемое, т.е. данным способом отстраивается только внешний контур (см. рис. 2.22). Существуют два вида экстраполяции: ограниченная и неограниченная. Ограниченная экстрапо-

ляция - это проведение контура между выработками, одна из которых пересекла полезное ископаемое, а другая - нет. Конкретное положение опорной точки и, следовательно, контура определяются либо по формальным признакам - на половину, треть, четверть расстояния между этими выработками, либо на основании геологических закономерностей. При неограниченной экстраполяции контур отстраивают за пределами выработок, подсекших полезное ископаемое, т.е. в этом случае установленных пределов экстраполяции нет, но положение опорных точек контура, как и при ограниченной экстраполяции, выявляется либо по формальным признакам - на четверть, половину, целое, удвоенное или другое расстояние между разведочными выработками, либо по геологическим признакам. Естественно, наиболее достоверным будет положение контура, когда определение пределов экстраполяции основывалось на геологических закономерностях

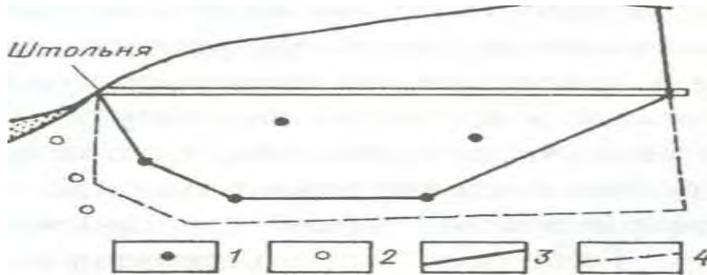


Рис. 2.22. Оконтуривание крутопадающего тела в проекцию на вертикальную плоскость. По В.М. Крейтеру.

1, 2 — точки пересечения скважин с плоскостью проекции: 1 — пересекших рудное тело, 2 — не встретивших полезное ископаемое; 3, 4 — линии контуров: 3 — внутреннего, 4 — внешнего

Наиболее часто встречаются следующие приемы проведения внешнего контура с использованием геологических закономерностей:

по границе различных фаций - довольно типичный способ для месторождений осадочного происхождения; например, для полезных ископаемых, связанных с осадками шельфовой зоны - по границе распространения этих осадков;

по границе «благоприятных» пород; данный прием широко применяется для эпигенетических месторождений, например, проведение контура по границе пород, не проницаемых для гидротермальных растворов;

по тектоническому нарушению, смещающему или ограничивающему тело полезного ископаемого (рис. 2.23).

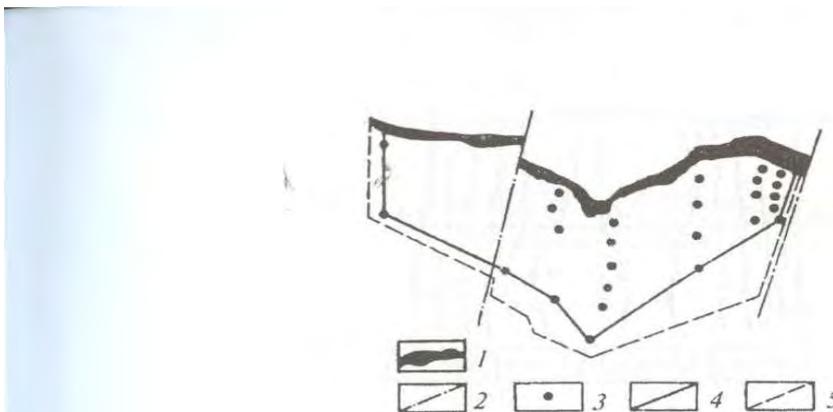


Рис. 2.23. Проведение внешнего контура по тектоническому нарушению.

1 - выход полезного ископаемого на поверхность; 2 - линии разрывных нарушений; 3 - скважины, пересекшие рудное тело; 4, 5 - линии контуров: 4 - внутреннего, 5 - внешнего

по естественному плавному выклиниванию залежи полезного ископаемого; этот способ дает хорошие результаты при оконтуривании линзовидных тел полезных ископаемых. В таком случае

положение внешнего контура может быть выявлено построением либо по углу естественного выклинивания, либо по изолиниям мощности полезного ископаемого (рис. 2.24).

Внешний контур отстраивается способом неограниченной экстраполяции с использованием формальных приемов в тех случаях, когда нет сколько-нибудь убедительных данных о границах распространения продуктивной зоны (площади) за пределами участка, освещенного разведочными выработками. В такой ситуации его положение зависит от размеров тела полезного ископаемого и параметров разведочной сети.

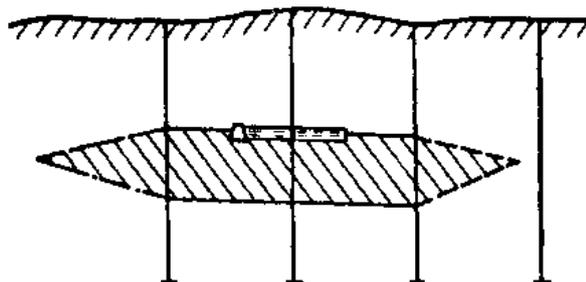
Рис.2.24.Проведение внешнего контура по изолиниям мощности

Точками с цифрами обозначены скважины, пересекающие рудное тело; изолинии мощности(сплошные) построены методом интерполяции - (пунктирные) - методом экстраполяции.

Наиболее часто применяют формальные приемы неограниченной экстраполяции, при которых внешний контур проводится следующим образом:

- параллельно внутреннему на расстоянии, кратном расстоянию между разведочными выработками (предел экстраполяции устанавливается в зависимости от степени изученности месторождения в соответствии с изменчивостью формы тел полезных ископаемых);
- в зависимости от линейных размеров тела полезного ископаемого (правило «полотна») в виде треугольника или прямоугольника, высота которого равна $1/2$ длины или целой длине выхода тела на поверхность;
- по поверхности конуса или полусферы (для изометричных тел), основание которых составляет площадь сечения тела полезного ископаемого, ограниченная внутренним контуром, а высота равна половине среднего поперечного размера тела.

Контур тела полезного ископаемого в различных его участках может быть получен различными способами. Иначе говоря: каждый из перечисленных приемов позволяет построить контур как всего тела полезного ископаемого (см. рис. 2.22—2.24), так и его частей (рис. 2.25).



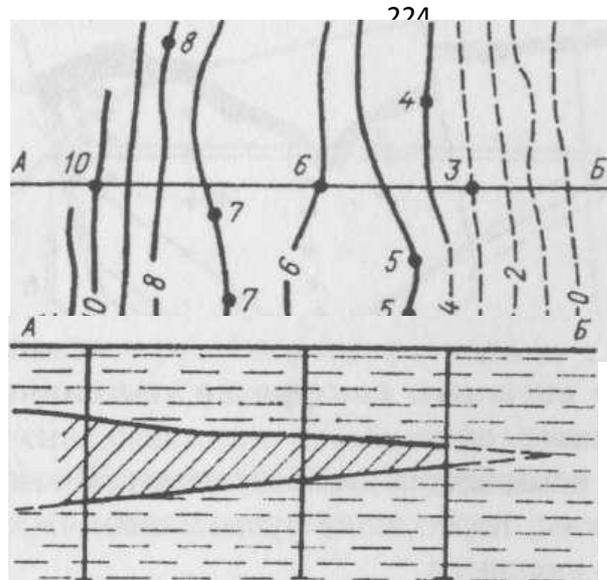


Рис. 2.25. Проведение контура тела полезного ископаемого с использованием различных приемов: непрерывного прослеживания контактов; интерполяции; неограниченной и ограниченной экстраполяции.

2.6.6. Подсчет запасов

[На оглавление](#)

В результате комплекса геологоразведочных работ создается модель месторождения полезных ископаемых. При этом, чем полнее детальность проведенных работ и, главное, оптимальнее методика их выполнения, тем ближе полученная модель соответствует реальному объекту. В общем виде модель месторождения полезных ископаемых включает в себя комплекс разнообразных графических и табличных материалов: систему вертикальных и горизонтальных разрезов; проекции на вертикальную, горизонтальную или наклонную плоскости; блок-диаграммы; таблицы результатов опробования; результаты геофизических, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований и других материалов, характеризующих месторождение. Основная цель подсчета запасов — определение количества полезного ископаемого и полезных компонентов. Чтобы облегчить подсчет, не снижая существенно его точности и достоверности, проводится некоторое упрощение формы тел полезных ископаемых и распределения полезных компонентов. Способ подсчета запасов представляет собой прием, с помощью которого реальное тело полезного ископаемого разбивается на участки (подсчетные блоки) относительно простой формы и (или) с относительно равномерными значениями исходных данных подсчета запасов.

В общем случае количество полезного ископаемого (Q) определяется как произведение его объема V и средней плотности (d).

$$Q = Vd. \quad (2.1)$$

Количество полезного компонента P вычисляется как произведение количества полезного ископаемого (Q) и среднего содержания полезного компонента в подсчетном блоке C , выражаемого в процентах. Расчет ведется по формуле:

$$P = QC/100. \quad (2.2)$$

Во многих случаях объем полезного ископаемого отдельно не вычисляется, так как он, в свою очередь, устанавливается путем умножения площади тела полезного ископаемого S на его среднюю мощность m

$$V = Sm$$

Подставляя значения объема в выражения (2.1) и (2.2), получим:

$$Q = Smd; \quad (2.3)$$

$$P = SmdC/100 \quad (2.4)$$

Формулы (2.3) и (2.4) называются общими формулами подсчета запасов. Первая из них используется для определения количества полезного ископаемого (руды), а вторая — количества металла (полезного компонента). Расчетные показатели, входящие в эти формулы, — площадь тела (блока, сечения и др.), средняя мощность полезного ископаемого в пределах подсчетного блока, среднее содержание полезного компонента в подсчетном блоке и средняя плотность полезного ископаемого - представляют собой исходные данные для подсчета запасов. Площадь тела полезного ископаемого S (блока, сечения, проекции, основания и др.) определяется на графических материалах (планах, проекциях), чаще всего инструментальным способом с помощью специального прибора - планиметра (этот прием подробно изучается в курсе геодезии и здесь не рассматривается). Для приближенного определения площади (или при отсутствии планиметра) либо уподобляют тела полезных ископаемых простейшим геометрическим фигурам (если границы тел или подсчетных блоков представлены прямыми линиями) и проводят простые расчеты, либо пользуются палеткой.

Способ палетки позволяет достаточно точно и относительно быстро установить площадь тела практически любой конфигурации. Палетка - это лист прозрачного материала (например, кальки), на который по квадратной сетке нанесены точки. Каждая точка характеризует определенную площадь (цена деления палетки $-S_0$), зависящую от масштаба палетки и расстояния между точками. Если, например, точки нанесены через 5 мм, то цена деления палетки в масштабе 1 : 1000 будет 25 м², в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 - соответственно 100 и 625 м² и т.д. Для определения площади тела полезного ископаемого (или его части) палетка накладывается на соответствующий графический материал, затем подсчитывается число точек внутри контура N_1 и число точек, попавших на контур подсчетного блока N_2 . Общая площадь вычисляется по формуле:

$$S = S_0 N_1 + S_0 N_2 / 2.$$

Средняя мощность обычно определяется способом среднего арифметического по формуле

$$m = (2.5)$$

где m_i - частные значения мощности в i -м измерении, m ; n - число измерений

Среднее содержание C полезного компонента рассчитывается либо способом среднего арифметического (когда интервалы опробования и распределение отдельных значений содержания полезного компонента по пробам относительно равномерны), либо способом среднего взвешенного по формуле:

$$C = \frac{\sum C_i a_i}{\sum a_i}, \quad (2.6)$$

Где C_i - отдельные значения содержания полезного компонента в i -й пробе, %; a_i - отдельные значения параметра, на который «взвешивается» содержание (интервал опробования, мощность, площадь, объем, плотность и т.д.).

Средняя плотность полезного ископаемого устанавливается по результатам технического опробования и рассчитывается способом среднего арифметического. Конкретные способы подсчета запасов зависят от способов и приемов геометризации. Выбор того или иного способа определяется формой тела полезного ископаемого, его размерами, степенью изменчивости мощности и распределения содержания полезных компонентов, расположением и густотой разведочных выработок, а также практическими задачами подсчета. При всем многообразии существующих способов подсчета запасов наиболее широко применяются три из них: среднего арифметического, геологических блоков и разрезов (сечений).

Способ среднего арифметического, как и следует из его названия, заключается в расчете средних значений исходных данных подсчета запасов, а затем на их основе - количества полезного ископаемого и полезного компонента по формулам (2.3) и (2.4). Этот способ применяется при подсчете запасов полезных ископаемых в рудных телах очень простой формы и строения, с крайне равномерным распределением полезных компонентов. Обычно он используется в качестве дополнительного для проверки точности подсчета основным, более достоверным способом.

Способ геологических блоков состоит в оконтуривании участков (блоков), в пределах которых основные параметры тела полезного ископаемого близки по значениям. Иначе говоря, в пределах геологического подсчетного блока должны быть примерно одинаковы содержания полезного компонента, мощность, степень разведанности (густота или плотность разведочной сети), условия залегания, сорт и тип полезного ископаемого, технологические свойства, гидрогеологические и инженерно- геологические условия, средняя плотность, условия вскрытия и разработки.

В пределах каждого геологического блока исходные данные рассчитываются способом среднего арифметического, а его площадь определяется планиметром или палеткой. Запасы в блоке подсчитываются по формулам (2.3) и (2.4). Общие запасы по месторождению получают путем суммирования запасов полезного ископаемого (руды) и полезных компонентов (металлов) по отдельным блокам, а среднее содержание полезного компонента устанавливается обратным расчетом из формулы (2.2), т.е.:

$$C = 100P/Q \quad (2.7)$$

Способ разрезов (сечений) широко используется в практике геологоразведочного дела, так как позволяет достаточно просто и точно подсчитать запасы полезных ископаемых в телах практически любой формы и сложности геологического строения. Этот способ имеет несколько модификаций: вертикальных параллельных разрезов, вертикальных непараллельных разрезов и горизонтальных разрезов. Наиболее часто используется способ вертикальных параллельных разрезов.

Геологические разрезы расчленяют тело полезного ископаемого на отдельные участки - подсчетные блоки (рис. 2.26). Краевые блоки с одной стороны ограничены контуром рудного тела, с другой - первым (последним) разрезом. Внутренние блоки по простиранию тела ограничены разрезами, а по бокам - контурами тела полезного ископаемого. Таким образом, границами подсчетного блока служат контуры тела полезного ископаемого и разрезы (сечения).

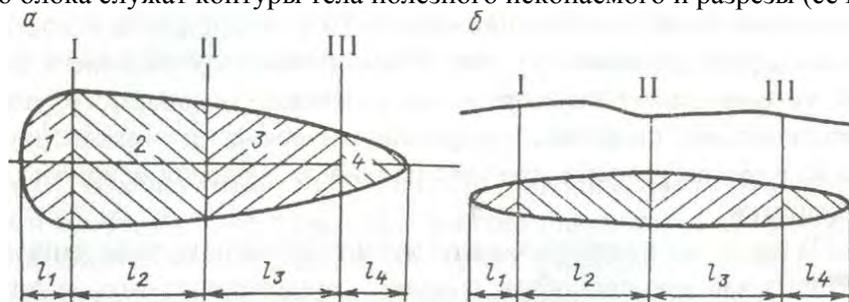


Рис. 2.26. Схема к подсчету запасов способом вертикальных параллельных сечений:

а - план; б - разрез по простиранию рудного тела; l_1, l_4 - длины подсчетных блоков 1-4; I-III - линии разрезов

Площадь полезного ископаемого определяется на разрезах одним из ранее указанных способов, а объем полезного ископаемого в подсчетном блоке V устанавливается по одной из следующих формул:

а) призмы $V = l_2 \cdot (2,8)$

б) усеченного конуса $V = l_3 \cdot (2,9)$

в) клина $V = l_1 \cdot (2,10)$

г) конуса $V = l_4 \cdot (2,11)$

где — площадь полезного ископаемого по соответствующему разрезу, м² (см. рис. 2.26); l_1, l_2, l_3, l_4 — расстояния между разрезами или от разреза до точки выклинивания полезного ископаемого, м.

Формулы (2.8) и (2.9) применяются для вычисления объема блоков, заключенных между разрезами (блоки 2 и 3 на рис. 2.26); при этом первая из них используется, когда площади полезного ископаемого в соседних сечениях отличаются не более, чем на 40 % (блок 2), а вторая — в случае резкого, более чем на 40 %, отличия площадей в соседних разрезах (блок 3). Формула клина (2.10) предпочтительна, когда выклинивание полезного ископаемого представлено линией. В этом случае контур блока в плане можно уподобить прямоугольнику (блок 1), а в разрезе по простиранию — треугольнику. Формула (2.11) дает достоверные результаты при подсчете объема в крайних блоках, когда тело полезного ископаемого выклинивается в точку, т.е. контуры блока и в плане, и в разрезе по простиранию можно уподобить треугольнику (блок 4).

Среднее содержание полезного компонента вычисляется в два или три этапа. Вначале устанавливается содержание металла по скважинам (выработкам), обычно способом среднего арифметического. Затем способом среднего взвешенного на мощность — см. выражение (2.6) — рассчитывается среднее содержание по разрезу. На третьем этапе вычисляется среднее содержание для внутренних блоков способом среднего взвешенного на площадь. Для крайних блоков, ограниченных одним разрезом, среднее содержание по этому разрезу принимается за среднее содержание по блоку.

Общие запасы полезного ископаемого и полезных компонентов по всему месторождению представляют собой сумму запасов по блокам. Среднее содержание полезного компонента по месторождению определяется обратным расчетом по формуле (2.7).

Метод многоугольников — его называют также методом ближайшего района или методом А.К. Болдырева, который обосновал возможность его применения для подсчета запасов минерального сырья.

При подсчете этим методом оконтуренное тело полезного ископаемого разбивают на ряд отдельных участков, соответствующих числу разведочных выработок, с таким расчетом, чтобы к каждой из выработок отошел ближайший, тяготеющий к ней участок. Тогда все точки последнего

будут более близкими к данной выработке, чем к другим. Мощность, объемную массу и содержание компонентов принимают по данным разведочной выработки, к которой отнесен рассматриваемый участок.

Участки, на которые разделяется месторождение, являются прямыми многогранными призмами, основанием которых служат многоугольники, построенные около каждой разведочной выработки. Высотой призмы служит мощность полезного ископаемого по выработке, на которой построена данная призма (рис. 2.27). Объем каждой призмы получается умножением площади многоугольника на соответствующую мощность.

Подсчитывая объем полезного ископаемого, его массу и массу компонента, заключенного в каждой призме, и затем суммируя эти данные, получают запасы для всего месторождения или для подсчитываемой части. Построение многоугольника (площадей ближайших районов) на плане или на разрезе производится следующим образом.

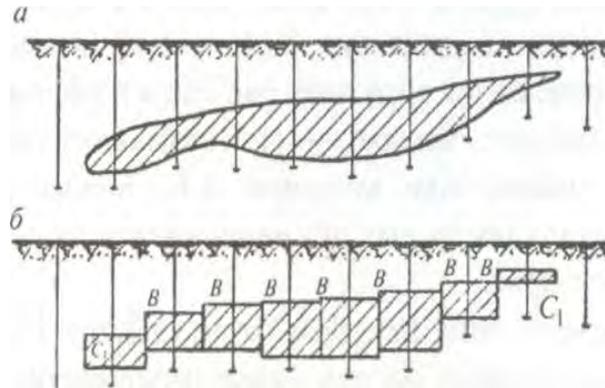


Рис. 2.27. Контур залежи полезного ископаемого в геологическом разрезе (а) и контур этой залежи в разрезе, соответствующем подсчету по способу ближайшего района (б)

Соединяют прямыми линиями каждую разведочную выработку с ближайшими (пунктир на рис. 2.28); из середин пунктирных линий восстанавливают перпендикуляры, которые, пересекаясь между собой, образуют многоугольник. Любая точка многоугольника будет ближе к данной разведочной выработке, чем к другим. Перпендикуляр к линии 1—4, как проходящий вне многоугольника, не проводится. На рис. 2.29 представлена площадь, разбитая описанным способом на ряд многоугольников; ее контур проведен по восьми разведочным выработкам.

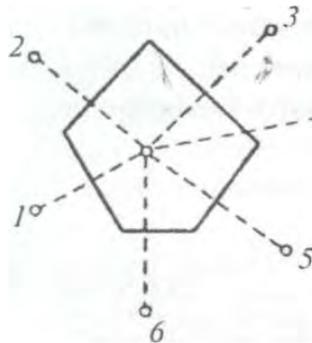


Рис. 2.28. Построение многоугольника

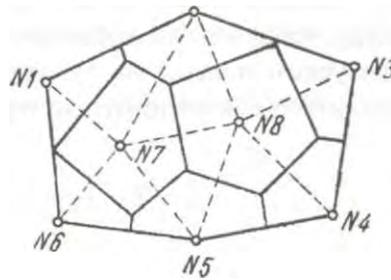


Рис. 2.29. Площадь, разбитая на многоугольники

В пределах межконтурной полосы также строятся многоугольники. Если внешний контур представлен нулевой линией, то посередине между внутренним и внешним контурами проводят линию промежуточного экстраполированного контура. Этим искусственно уменьшают площадь блока и компенсируют таким образом уменьшение мощности тела по направлению к нулевой линии внешнего контура. Если этого не сделать, то распространение мощности тела, определенной в крайних выработках, на весь многоугольник заведомо приведет к завышению запасов.

Разделение пласта на части, сохраняющие одну и ту же величину угла падения, часто затруднительно, и в этом случае целесообразнее построить изогипсы пласта. *Изогипсы* представляют собой линии равных высот поверхности пласта, т.е. следы его сечения горизонтальными плоскостями. Они проводятся на плане теми же способами, что и горизонтали на топографической поверхности.

Пусть на рис. 2.30 дана часть поверхности пласта $ABIC$, ограниченная изогипсами AB и CO ; горизонтальная проекция этой поверхности будет ABC .

Обозначим: a — длина средней линии между изогипсами, $a = L/UY$; b — расстояние между крайними изогипсами в плане; r — среднее расстояние между изогипсами на поверхности пласта; H — отвесное расстояние между изогипсами AB и CO .

Из прямого треугольника E_1E_2E находим:

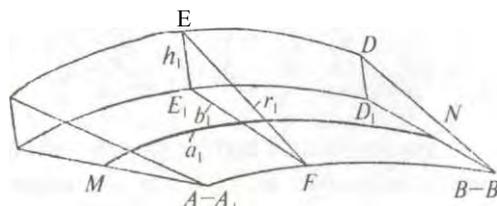
$$r_1 = \sqrt{h_1^2 + b_1^2}.$$

Площадь поверхности пласта $ABIC$ выразится формулой:

$$S = a_1 r_1 = a_1 \sqrt{h_1^2 + b_1^2}.$$

Значения величин a и b , входящих в подсчет, определяются непосредственным измерением на плане; H — известно из построения как принятое сечение между изогипсами.

Далее умножением вычисленной площади на мощность и объемную массу находим объем и запасы руды для каждого участка. Полученные значения суммируем и определяем запас всей под-



считываемой части пласта.

Рис. 2.30. Схема к подсчету запасов методом изогипс

Для определения площади поверхности пласта, заключенного между изогипсами, А.К. Баумяном предложена следующая формула:

$$S = K/P + T^2,$$

где K — боковая поверхность цилиндра, равная произведению длины средней линии, проходящей между изогипсами, или длины промежуточной изогипсы (о, на рис. 2.30), на вертикальное расстояние между изогипсами H ; T — площадь $A \setminus B \setminus C$, измеренная на плана между двумя изогипсами.

Из этой формулы ясно, что поверхность пласта может быть определена и графически. Для этого следует построить прямоугольный треугольник, катеты которого численно равны (в масштабе) величинам K и T . В таком треугольнике длина гипотенузы будет численно равна площади поверхности пласта S .

План месторождения в изогипсах дает наглядную картину пространственного расположения пласта и, в частности, его смещений как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

2.7. Геологическая документация

[На оглавление](#)

Геологические материалы, используемые при проектировании горных работ, должны быть в наибольшей степени достоверными. Неточность сведений влечет за собой ошибочные проектные решения по многим элементам технологической схемы горного предприятия, ведет к ошибкам в определении важных технико-экономических показателей и, в конечном счете, к экономическому ущербу.

Опыт проектирования и последующей работы горных предприятий свидетельствует, что наиболее часто ошибки допускаются при оценке качества и запасов полезного ископаемого.

В процессе разведки постоянно ведется тщательная документация всех исследований и работ. По характеру документация может быть *первичной*, составляемой непосредственно на месте выполнения работ и исследований, *сводной*, содержащей результаты обработки первичных материалов, и *итоговой отчетной*), в которой обобщаются все материалы и результаты какого-либо этапа или всей разведки. Объем геологической документации зависит, главным образом, от масштабов месторождения и сложности его геологического строения.

Цели геологической документации - установление истинных границ тел полезных ископаемых, выявление их внутреннего строения и размещения типов и сортов для рационального планирования подготовительных, нарезных и очистных работ, предотвращения сверхнормативных потерь и разубоживания при добыче. К основным видам геологической документации относятся: иллюстративно-текстовой — зарисовки забоев и других элементов подземных горных выработок, уступов, карьеров, их описание; табличный — журналы описания керна и шлама скважин, опробования; каменный — образцы, керн и шлам скважин, шлифы и аншлифы; фотодокументация.

Объектами геологической документации служат геологоразведочные, подземные горные (штреки, квершлагги, орты, рассечки, восстающие, уклоны, гезенки) и открытые горные (уступы карьеров) выработки, а также разведочные и технологические скважины. Выделяют следующие виды *первичной геологической документации*:

1) массовая - документация (в масштабе 1:500-1:200) всех скважин разведки и эксплуатационной разведки, всех доступных для наблюдения горных выработок (подземных и открытых) и очистных забоев, журналы опробования, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, каталоги образцов горных пород и полезных ископаемых;

детальная - характеризует наиболее интересные в геологическом, отношении объекты, тектонические нарушения, контакты, зоны выклинивания и внутреннее строение тел полезных ископаемых; специализированная - предназначена для отображения различных минеральных парагенезисов, структурно-текстурных особенностей, фациальных переходов, трещиноватости и др.

Документация буровзрывных скважин основана на изучении и опробовании шлама, который систематически отбирается с определенным интервалом в процессе бурения. Разведочные скважины колонкового бурения документируются по керну, а при низком его выходе (менее 50 %) используется шлам.

При открытой разработке месторождений к первичным геологическим документам относятся:

журналы массовых зарисовок и фотографий уступов карьеров и забоев очистных заходок на уступах, а также журналы детальных и тематических зарисовок;

журналы документации и опробования скважин (буровзрывных и эксплуатационной разведки), забоев и уступов карьера;

рабочие фрагменты геологических планов уступов карьеров для отдельных участков и блоков;

журналы замеров водопритоков, определения объемной массы и других физических свойств горных пород и полезных ископаемых, обуславливающих их разрабатываемость и устойчивость откосов.

При подземной разработке рудных месторождений первичная документация включает в себя: массовые зарисовки и фотографии разведочных, капитальных, подготовительных, нарезных и очистных горных выработок;

журналы документации и геологические колонки скважин (буровзрывных и эксплуатационной разведки);

журналы опробования скважин и горных выработок, определения физических свойств горных пород и полезного ископаемого; журналы гидрогеологических наблюдений и определения водопритоков; журналы документации признаков проявления горного давления.

При подземной разработке угольных месторождений документируются скважины эксплуатационной разведки, вертикальные, горизонтальные и наклонные подготовительные и нарезные выработки. Форма документации очистных выработок зависит от принятой на шахте системы разработки. Серьезное внимание уделяется документации гидрогеологических, газометрических и инженерно-геологических исследований.

К сводным геологическим материалам относятся геологические карты района и месторождения с поперечными и продольными геологическими разрезами, которые составляются на основе данных до проектных стадий геологоразведочных работ и дают возможность оценить перспективы расширения сырьевой базы предприятия.

Геологические разрезы и планы представляют собой соответственно вертикальные и горизонтальные сечения месторождения. Разрезы и планы составляются на маркшейдерской основе в масштабе 1:200 — 1:2000 в зависимости от размеров и сложности строения месторождения. Более мелкие масштабы применяются редко. Разведка большинства месторождений осуществляется системой вертикальных сечений, ориентированных вкрест простирания тел полезного ископаемого. В этом случае базовыми сводными документами являются поперечные геологические разрезы (рис.2.31). На разрезы наносят профиль земной поверхности, линии горизонтов через 50-100 м с указанием абсолютных отметок, разведочные скважины и горные выработки. У устья скважины проставляют ее номер, иногда глубину. Разведочные выработки наносят на разрез при условии, если они отстоят от него на расстоянии, не превышающем 1/4 расстояния между смежными разведочными профилями. При этом выработки, отстоящие от разреза на расстояние до 5 м, рисуют сплошной линией, а расположенные на большем удалении от него - пунктирной.

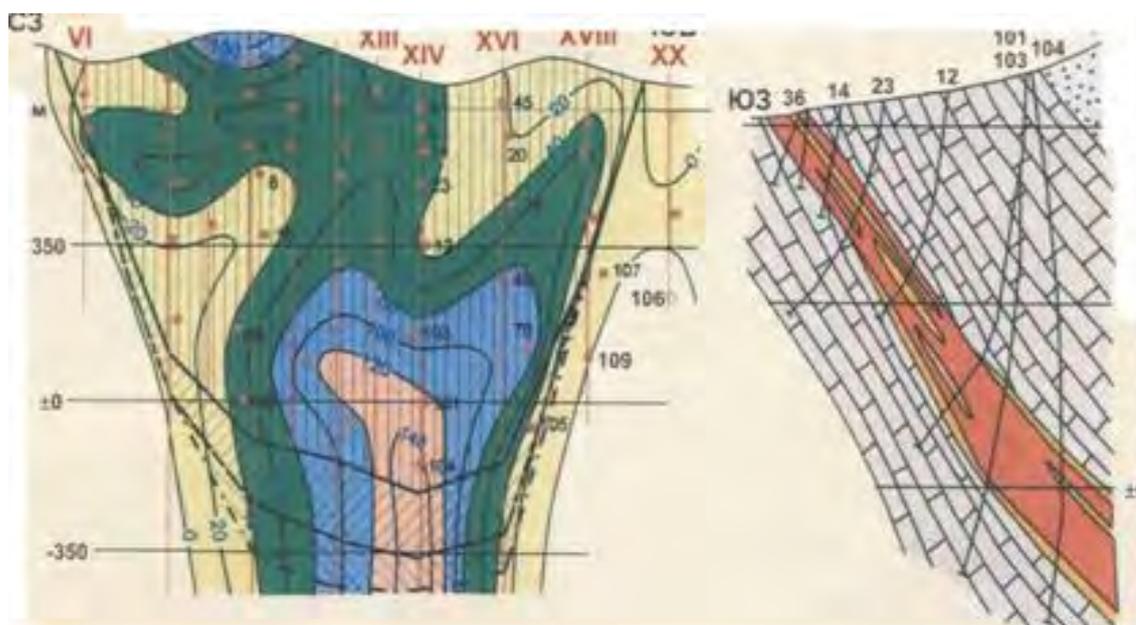


Рис.2.31.Продольная вертикальная проекция рудной залежи Белорецкого месторождения (справа показан поперечный геологический разрез). По А. В. Зябкину и Т. С. Калугиной:

1, 2 - девонские породы: 1 — песчаники и туфопесчаники, 2— мраморизованные известняки и карбонатно-силикатные сланцы; 3 - скарны; 4 - железные руды; 5-7 — запасы: 5 - категории В + С, 6 — категории С2, 7 - прогнозные; 8 - точки выхода скважины из рудной залежи; 9 - безрудные скважины; 10 - изолинии мощности рудной залежи, м; 11-14 — диапазоны изменения

По трассе разведочных выработок показывают вскрытые ими разновидности пород, типы и сорта полезного ископаемого, интервалы опробования, номера проб. Данные опробования приводятся обычно по укрупненным интервалам (среднее по типу полезного ископаемого). Иногда результаты анализа проб дают рядом с разрезом в виде таблицы. Увязка данных между разведоч-

ными выработками осуществляется путем соединения с учетом особенностей структуры месторождения однотипных геологических границ, в результате чего на разрезе оконтуриваются тела различных пород и полезного ископаемого, его типы и сорта. На разрезах также показывают утвержденные ГКЗ контуры и блокировку тел полезного ископаемого по категориям разведанности запасов, границы и номера подсчетных блоков. Геологические разрезы по разведочным профилям служат основой для подсчета запасов полезного ископаемого способом вертикальных сечений, наиболее часто применяемым в практике разведки месторождений.

В случае сложного строения тел полезного ископаемого, густой сети разведочных выработок и большого числа проб, наряду с описанными подсчетными геологическими разрезами, по каждому профилю составляют (обычно в более мелком масштабе) собственные геологические разрезы, на которые не выносят данные геологической документации и опробования выработок, а также границы блоков полезного ископаемого, утвержденные ГКЗ. Такие разрезы служат исключительно для отображения геологического строения месторождений, анализа закономерностей размещения полезного ископаемого и оценки перспектив его развития на флангах и глубоких горизонтах.

Кроме поперечных разрезов, как правило, составляют продольные геологические разрезы (один - три разреза на месторождение). Они служат для характеристики изменчивости строения по простиранию (вытянутости) продуктивных зон, отдельных тел (залежей) полезного ископаемого и в целом структуры месторождения (погружения или воздымания шарниров складок, их ундуляции, литолого-фациальных переходов, вертикальных смещений тектонических блоков по поперечным разрывным нарушениям). Продольные разрезы строят на основе поперечных, стремясь при этом, чтобы с каждого из них в плоскость продольного разреза попала или проходила вблизи нее разведочная скважина. На продольном разрезе показывают вертикальными линиями положение поперечных разрезов с указанием их номера, а на эти линии выносят следы пересечения геологических границ, установленных на поперечных разрезах, с плоскостью продольного разреза. Последовательным соединением следов однотипных границ между линиями поперечных разрезов отстраивают геологическую ситуацию в плоскости продольного разреза.

Погоризонтные геологические планы составляются в случае, когда тела полезного ископаемого имеют значительную протяженность на глубину и будут обрабатываться несколькими уступами (при открытом способе) или этажами (при подземном способе). Как правило, это крутопадающие тела самой различной формы (пласты, жилы, штоки, столбы и т.п.) Масштаб планов и их содержание соответствуют таковым геологических разрезов месторождения.

На стадии разведочных работ обычно составляют один-три, редко более геологических погоризонтных планов через 50-200 м по вертикали в зависимости от глубины разведки. Сравнительный анализ таких планов позволяет оценить изменение с глубиной формы, размеров и внутреннего строения тел полезного ископаемого.

При проектировании горнодобывающего предприятия отстраивают геологические планы горизонтов обработки. Эти планы служат основой при проектировании горных работ на эксплуатационных горизонтах и геологическом обеспечении их проведения

Когда разведка месторождения выполняется системой горизонтальных сечений, геологические погоризонтные планы являются первичными по отношению к разрезам. В этих, достаточно редких случаях планы составляются по данным первичной геологической документации и результатам опробования разведочных выработок. Составленные таким образом геологические погоризонтные планы служат основой для подсчета запасов способом горизонтальных сечений.

Если месторождение разведывается системой вертикальных сечений (как отмечалось ранее, такая система разведки самая распространенная), то геологические погоризонтные планы изначально являются производными от геологических разрезов, а в дальнейшем, при условии вовлечения месторождения в эксплуатацию, уточняются и пополняются по мере развития горных работ на горизонте. На маркшейдерскую основу плана наносят линии разведочных профилей (пересечение поперечных геологических разрезов с планом), скважины (точки пересечения их стволов с планом), подписывают номера разрезов и скважин. На каждой линии показывают следы геологических границ, взятых с поперечных разрезов. Увязка геологической ситуации между линиями профилей и построение погоризонтного геологического плана осуществляются с учетом структуры месторождения.

Для месторождений со сложным вещественным составом минерального сырья, кроме геологических погоризонтных планов, составляют качественные и сортовые погоризонтные планы, а также планы в изолиниях содержания полезных и вредных компонентов. Если полезное ископае-

мое требует обогащения, то в процессе разведки месторождения может быть выполнено геолого-технологическое картирование с отбором и испытаниями малообъемных проб, разработкой классификации технологических типов сырья. Результаты такого картирования отражаются на геолого-технологических разрезах и погоризонтных планах.

Проекция играет роль основных сводных геологических документов (наряду с разрезами и планами) при разведке уплощенных линзообразных, пластообразных, штоковидных и жильных тел полезного ископаемого. Они наглядно отражают конфигурацию тела, степень его разведанности, изменчивость по простиранию и падению мощности и качества полезного ископаемого, служат основой для подсчета запасов методом геологических (эксплуатационных) блоков. Плоскость проекции должна быть параллельной генеральному простиранию тела полезного ископаемого и в зависимости от угла его падения δ горизонтальной ($\delta = 0+45^\circ$), вертикальной ($\delta = 60+90^\circ$) или наклонной и параллельной телу ($\delta = 45+60^\circ$).

На проекциях показывают линии геологических разрезов и погоризонтных планов, контуры тела полезного ископаемого, пересечения его разведочными выработками, среднее по каждому пересечению содержание компонентов, регламентирующих качество полезного ископаемого, утвержденные ГКЗ границы блоков по категориям разведанных запасов, границы и номера подсчетных блоков. При проецировании тела на горизонтальную плоскость все значения мощности пересчитываются в вертикальные, на вертикальную плоскость - в горизонтальные, а на наклонную - в истинные мощности.

Для характеристики изменчивости качества минерального сырья, мощности и продуктивности тела полезного ископаемого строят проекции в изолиниях содержания полезных и вредных компонентов. Морфологические особенности тела полезного ископаемого, в том числе связанные с пликативными осложнениями и смещениями по разрывным нарушениям, отражаются на горизонтальных проекциях в изолиниях абсолютных отметок висячего или лежащего бока (кровли или почвы) тела.

Блок-диаграмма представляет собой аксонометрическое, реже перспективное изображение месторождения, тела полезного ископаемого или их отдельных частей. Блок-диаграммы дают объемное отображение геологического строения месторождения и способствуют правильной увязке планов и разрезов. В зависимости от геометрического каркаса блок-диаграммы могут состоять только из планов, только из разрезов или совокупности тех и других. Для более наглядного изображения отдельные части блок-диаграммы раздвигают, смещают или вырезают. Блок-диаграмма месторождения, выполненная в материале, представляет его *объемно-макетную модель* (см. рис. 2.32). Наиболее полной и наглядной является объемно-макетная модель, сделанная из прозрачных материалов. Она представляет собой трехмерную модель месторождения. Из-за большой трудоемкости построения, корректировки и пополнения с учетом новых данных блок-диаграммы и объемно-макетные модели используются редко.



Рис.2.32. Объемная модель месторождения

В результате анализа и обобщения материалов первичной документации на предприятиях составляются сводные геологические документы:

погоризонтные геологические планы (на маркшейдерской основе), соответствующие по абсолютным отметкам почве эксплуатационных уступов или эксплуатационным горизонтам рудника (шахты); на них наносятся структурные элементы, стратиграфические границы, технологические типы и сорта полезного ископаемого;

поперечные и продольные геологические разрезы по профилям детальной и эксплуатационной разведки, характеризующие морфологию и условия залегания тел полезных ископаемых, размещение их технологических типов, положение водоносных горизонтов и инженерно-геологических ярусов;

погоризонтные качественные, сортовые или геолого-технологические планы;

сводные геологические планы карьера, сводные планы эксплуатационных подземных горизонтов рудника (шахты);

планы и разрезы с изолиниями структурно-морфологических и качественных показателей месторождения и отдельных тел полезного ископаемого;

блок-диаграммы месторождения, гидрогеологические и инженерно-геологические планы (карты) для месторождений со сложными условиями.

На угольных месторождениях, кроме перечисленных, используются также следующие сводные геологические документы:

план (карта) выхода угольных пластов под покровные отложения;

гипсометрические планы или вертикальные проекции угольных пластов;

геологические рабочие планы по угольным пластам (на маркшейдерской основе);

планы изолиний мощности (для невыдержанных угольных пластов);

планы (или вертикальные проекции) изменения качества углей в изолиниях содержания золы, влаги, выхода летучих компонентов, серы и других качественных показателей, влияющих на технологические свойства угля;

литолого-прочностные планы пород кровли (на шахтах) и пород почвы (на карьерах) угольного пласта;

альбомы структурных колонок угольных пластов.

К сводной геологической информации относятся также материалы математической обработки, данных опробования, технологических испытаний, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

Цель сводной геологической документации - обобщение и увязка между собой материалов первичной геологической документации дискретных линейных разведочных подсечений (скважин и горных выработок) с получением в результате этой процедуры сводных геологических документов (карт, планов, разрезов и т.п.), отражающих строение месторождения, качество полезного ископаемого, гидрогеологические и инженерно-геологические условия его отработки.

Геологические карты отражают геологическое строение определенной территории на уровне земной поверхности. Они строятся на топогеодезической основе (горизонтальной проекции земной поверхности) путем увязки между собой данных первичной документации обнажений, горных выработок (канав, шурфов) и скважин.

В отдельных случаях, связанных с особенностями размещения полезного ископаемого, карты строятся также по поверхности, являющейся границей между структурными ярусами (этажами). Например, месторождения железных руд в бассейне КМА залегают в докембрийском кристаллическом фундаменте платформы, перекрытом чехлом молодых (фанерозойских) осадочных пород, вследствие чего в состав сводных документов по этим месторождениям обязательно входит геологическая карта поверхности фундамента платформы.

Обычно к отчету по разведке месторождения прилагаются геологическая карта района месторождения и геологическая карта месторождения.

Геологическая карта района месторождения составляется в масштабе 1:50 000 — 1:25 000, иногда крупнее, по результатам поисково-съёмочных работ, предшествующих разведке месторождения. Она имеет обзорный характер и отражает геологическое строение, минералогию, минерально-сырьевую базу района, а также геолого-структурную позицию в нем разведываемого месторождения.

Геологическая карта месторождения составляется по результатам поисково-оценочных и геологоразведочных работ. Масштаб карты зависит от размеров месторождения и меняется от

1:1000 до 1:10 000; наиболее распространен масштаб 1:2000 - 1:5000. Карта сопровождается одним - тремя характерными разрезами различных участков месторождения. На ней, кроме геологической нагрузки, наносят разведочные линии, скважины, горные выработки и их номера. Стволы глубоких (обычно более 500 м) скважин, подвергающиеся существенному искривлению, показывают в виде горизонтальной проекции, которая отстраивается по данным инклинометрии. Эта карта отражает геолого-структурные особенности месторождения, форму, размеры и пространственное положение тел полезного ископаемого, систему их разведки и степень разведанности, состояние изученности флангов месторождения. Геологическая карта месторождения является основой для проектирования всей наземной производственной инфраструктуры горного предприятия и для оценки перспектив расширения его сырьевой базы.

Совокупность сводных геологических документов, по существу, является графической моделью месторождения, которая служит основой для подсчета запасов, проектирования вскрытия и разработки месторождения, планирования добычи полезного ископаемого, прогноза его распространения на глубину и фланги месторождения, проектирования доразведочных и эксплуатационно-разведочных работ. Сводная геологическая графика выполняется в соответствии с требованиями существующих Инструкций и с применением унифицированных для данного типа месторождений условных обозначений. До конца прошлого века сводные геологические материалы как графические приложения к отчетам о результатах геологоразведочных работ с подсчетом запасов по месторождениям выполнялись исключительно ручным способом на бумаге. Да и сам подсчет запасов производился аналогичным способом с применением простых вычислительных устройств (арифмометров, калькуляторов).

В настоящее время, благодаря широкому распространению мощных персональных компьютеров и периферийных устройств (сканеров, принтеров, плоттеров), формирование сводных геологических документов и подсчет запасов по месторождениям осуществляется с применением компьютерных технологий, которые позволяют быстро и точно составлять традиционные сводные геологические документы (карты, планы и разрезы), строить трехмерные модели месторождений, хранить и передавать их в электронном виде, получать их высококачественные цветные изображения на бумаге.

Итоговые материалы представляют собой ежегодные геологические отчеты, оперативный и генеральный (по итогам разведки) подсчеты запасов полезных ископаемых и полезных компонентов.

Своевременная геологическая документация разведочных работ чрезвычайно важна для определения дальнейших геологоразведочных работ, результатов разведки и в итоге - для промышленной оценки месторождения, а также для эффективного проектирования и эксплуатации горнодобывающего предприятия.

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте цели и виды геологической документации.
2. Что включает в себя первичная геологическая документация?
3. Что включает в себя сводная геологическая документация?
4. Назначение итоговой геологической документации.

2.8. Учебная практика

[На оглавление](#)

Для закрепления знаний полученных при изучении теоретического курса по дисциплине «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» проводится летняя учебная практика.

Практика состоит из двух частей:

- 1) проведения разведочных работ на месторождении торфа;
- 2) изучение месторождения песка.

С организационной стороны учебная практика осуществляется следующим образом. Студенты разбиваются на бригады по 6-8 чел. и выполняют установленный руководителем практики объем полевых и камеральных работ, на основании которых составляется отчет по каждой части практики.

Выполнение торфоисследовательских работ (зондирование торфяной залежи, отбор проб торфа и др.) производится по съемочно-зондировочной сети в строгом соответствии с техническими требованиями, изложенными в инструкции по разведке торфяных месторождений.

Объем работ (расстояние между поперечниками и пикетами, количество пунктов отбора проб торфа и др.) выполняется с отступлением от технических требований по заданию руководителя учебной практики. Каждой бригаде выделяется участок торфяного месторождения, на котором производится разбивка съемочно-зондировочной сети и съемка ситуации.

Обязательным условием успешного выполнения программы учебной практики является участие каждого студента в выполнении всех видов полевых и камеральных работ.

Календарный план и последовательность выполнения работ могут корректироваться преподавателем, руководящим практикой в зависимости от погодных условий, а также от наличия древесной растительности на поверхности торфяного месторождения, глубины торфяной залежи и ее обводненности.

2.8.1. Разведка (учебная) торфяного месторождения

[На оглавление](#)

Инструктаж. Подготовка ведомостей и документации для выполнения полевых работ. Составление рабочего плана.

Программа проведения полевых работ:

- а) зондирование торфяной залежи для определения ее мощности;
- б) послонное бурение с отбором проб для лабораторных анализов на общетехнические свойства;
- в) зондирование торфяной залежи для определения пнистости;
- г) сбор сведений о географическом и геоморфологическом положении торфяного месторождения, об условиях водно-минерального питания;
- д) исследование растительного покрова и микрорельефа поверхности.

Камеральная обработка, полученных в полевых условиях результатов и составление отчета:

- а) определение степени разложения и ботанического состава торфа с целью его классификации;
- б) анализ общетехнических свойств торфа (зольность, влажность);
- в) расчет пнистости торфяной залежи;
- г) подсчет запасов торфа (определение средней глубины залежи, площади в установленных границах и объема);
- д) построение стратиграфических профилей и плана торфяного месторождения;
- е) составление пояснительной записки.

2.8.1.1. Методика проведения полевых работ

[На оглавление](#)

Зондирование торфяной залежи

На выбранном полигоне (участке торфяного месторождения) производится разбивка разведочной сети, в узлах которой зондируется торфяная залежь. Для зондирования залежи используется торфяной бур ТБГ-1. Все измерения при зондировании производятся с точностью до десятых долей метра. Записи по зондированию ведутся в полевом журнале.

Основной задачей производства работ по зондированию является определение:

- а) глубин залегания торфа в пределах площади разведки;
- б) мощности очеса или минерального наноса на поверхности залежи;
- в) глубин залегания и мощности минеральных, водных и других прослоек в залежи торфа;
- г) наличия в залежи пней и крупных древесных остатков и глубины их залегания;
- д) мощности донных отложений (сапропелей, мергеля и других озерных отложений);
- в) характера минерального дна торфяного месторождения.

При зондировании бурс плотно закрытым челноком при легком постоянном повороте вправо (во избежание произвольного открытия камеры челнока) ввинчивается строго вертикально на всю глубину залежи до минерального дна. При мощности залежи, превышающей длину бура (1м),

производят постепенное наращивание штанг. Если бур достиг минерального дна, то, слегка нажимая, ввинчивают его в дно несколькими поворотами слева направо. Потом поворотом бура в несколько оборотов против часовой стрелки открывают челнок и набирают в верхнюю часть его торф, а в нижнюю — минеральный грунт. Затем поворотом бура вправо (два-три раза) закрывают челнок, отмечают общую глубину погружения бура, после чего извлекают его из залежи. Извлеченный челнок бура очищают снаружи, открывают его и отмечают, какую часть челнока занимает минеральный грунт. Вычитая из общей глубины погружения бура величину, занятую в челноке грунтом, определяют глубину торфа, которая и записывается в журнал зондирования. При наличии в челноке бура или наконечнике минерального грунта в журнал одновременно с глубиной торфа записывается характеристика минерального грунта (мелкозернистый песок серого цвета, глина зеленая и т.д.)

Очесовый слой представляет собой живой слой мха и всей отмершей, но не перегнившей травяной растительности. Определение глубины очесового слоя производится на всех пунктах зондирования путем непосредственного измерения. Толщина очесового слоя входит в общую глубину торфяной залежи и, кроме того, в журнале зондирования отмечается отдельно.

Минеральный нанос встречается обычно на пойменных торфяных месторождениях, и глубина его определяется одновременно с зондированием залежи торфа на всех пунктах. Глубина наносного слоя до поверхности торфяной залежи определяется с помощью шурфов.

Минеральные прослойки чаще всего встречаются в торфяных месторождениях низинного типа в виде иловатых глинистых или песчаных отложений; известковых мергелей; раковистых известняков, залегающих на различных глубинах. При обнаружении минеральных прослоек и включений их глубина, мощность и распространение по площади определяются путем дополнительного бурения не только в точке обнаружения, но и на соседних пикетах и визирках. Из зоны прослойки челноком бура отбирается образец, по которому определяется ее вид. При затруднении определения вида (характера) прослойки берется проба для исследования ее в лаборатории.

Пни в торфяной залежи обнаруживаются при попадании бура на пень, характеризующимся обычно глухим стуком металла по дереву. Все попадания на пень, обнаруженные при зондировании залежи, отмечаются в журнале зондирования и используются для выявления пнистых участков и последующего распределения пробных площадок на пнистость.

Отбор проб для лабораторных анализов

Для качественной оценки разведанных запасов торфа, определения строения залежи к построению стратиграфического профиля производится отбор послойных проб для лабораторных анализов. Послойные пробы состояются из торфа, отобранного буром из отдельных слоев торфяной залежи. Количество пунктов отбора от 3 до 6 устанавливается руководителем практики. Выбор их производится по окончании работ по зондированию торфяной залежи. Основой для назначения служит рабочий план с профилями зондирования и общей ситуацией поверхности. Пункты отбора проб назначаются на пикетах с наиболее мощной залежью торфа.

Намеченные пункты отбора проб наносятся на рабочий план. Нумерация пикетов поперечника осуществляется от границ участка арабскими цифрами,

Пробы торфа отбираются только для общего анализа, к которому относятся следующие определения: а) ботанического состава; б) степени разложения; в) зольности торфа; г) естественной влажности.

Выемка образцов производится через 0,25 м и начинается от поверхности торфяного месторождения до глубины 0,25 м, далее с глубины 0,25 м до 0,5 м, с глубины 0,5 м до 0,75 м и так до минерального грунта, включая слои придонных отложений.

Образцы-торфа, отобранные для лабораторного анализа, упаковываются непосредственно при выемке из залежи в полиэтиленовые мешочки и плотно завязываются. Каждая проба снабжается этикеткой, на которой указывается номер поперечника, номер пункта отбора пробы, глубина взятия образца. Вес образца - 250-300 г. Номер образца заносят в полевой журнал.

Исследование растительного покрова и микрорельефа поверхности торфяного месторождения

Исследование растительного покрова и микрорельефа производится по ярусам на 2х~3х наиболее характерных участках у пунктов отбора проб путем заложения пробных площадок. На площадке размером 10х10 и производится пересчет всех деревьев по породам, определяется их средняя высота и средний диаметр.

При наличии подлеска или высоких кустарников дается описание деревьев по породам с указанием их высоты, диаметра и процента покрытия площади каждым видом.

Для описания кустарниково-травяного и мохового ярусов на пробной площадке 10×10 м выделяется площадка 2×2 м*. Все виды растений образующих на ней кустарниково-травяной ярус (подбел, багульник, вереск, клюква, осока, пушица и др.) подробно описываются с указанием их процентного соотношения.

При описании мохового покрова перечисляются все виды встретившихся мхов с указанием процента покрытия площади каждым из них.

Неизвестные виды растений отбираются в гербарий для последующего определения при проведении камеральных работ.

Исследование микрорельефа заключается в следующем:

определяется общий характер форм микрорельефа (кочки, бугры, гряды, мочажины и т.п.).

устанавливаются размеры элементов микрорельефа, (длина и ширине - для понижения, их высота над понижениями для повышения);

высчитывается в процентах соотношение площадей, занятых каждой формой микрорельефа.

Описание растительности и микрорельефа заносят в полевой журнал.

Зондирование торфяной залежи на пнистость. Для определения пнистости торфяного месторождения используют данные, получаемые при зондировании залежи на пнистость. В условиях учебной практики закладываются одна пробная площадки на пнистость на участке, где при общем зондировании отмечалось наибольшее число попаданий на пень. Размер пробной площадки 100 м² в виде прямоугольника удлиненной формы 1×100 или 2×50, Площадка по своей длине располагается вдоль поперечника, начиная от пикета, на котором производился отбор проб торфа. Зондирование производится зондировочным буром (одно зондирование на каждом квадратном метре) в 100 пунктах. В каждой точке бур опускается только один раз. Если он сразу пройдет до дна, то отмечается общая глубина залежи и бурение производится в следующем пункте. При попадании бура на пень (о чем свидетельствует толчок и резко возросшее сопротивление продвижению бура) отмечают глубину попадания и бурение производят повторно, отступив на некоторое расстояние от первоначальной точки. Если при повторном зондировании обнаружится ниже лежащий пень, то в данном пункте бурения отмечают обе глубины попадания, причем значение первой из них обозначается в скобках. Для каждого пункта зондирования определяется глубина торфяной залежи. Все замеры производятся с точностью до ± 0,05м. Полученные результаты заносят в полевой журнал.

2.8.1.2. Камеральные работы

[На оглавление](#)

Методика расчета пнистости

Показатель пнистости торфяной залежи - один из важнейших качественных показателей. В зависимости от его величины намечается та или иная схема подготовки торфяного месторождения к эксплуатации.

Под показателем "пнистость" понимают процентное объемное содержание пня в торфяной залежи

$$П = M \cdot V \cdot 100, \%$$

где П - пнистость, %;

М - объем пня на данном участке залежи, м³; V - объем залежи, м³. Однако непосредственные замеры по этой формуле затруднительны из-за большого объема работ, поэтому на практике "пнистость" определяют косвенными измерениями по встречаемости бура с пнем во время зондирования. В настоящее время определение послойной и средней пнистости производят по методу, предложенному профессором И.Ф. Дарягиным. Для определения воспользоваться лабораторным практикумом.

Определение *степени разложения, ботанического состава, влажности и зольности* проводится по типовой методике. Результаты анализа по определению степени разложения, ботанического состава, влажности и зольности торфа сводятся в итоговую таблицу.

2.8.1.3. Построение плана торфяного месторождения

[На оглавление](#)

Построение профилей зондирования

После нанесения на лист бумаги (А2) съемочно-зондировочной сети и разбивки пикетажа на ней на план наносят результаты зондирования торфяной залежи в виде зондировочных профилей.

Для этого на плане, на каждом пункте зондирования по вертикали от поперечника вниз откладывается глубина залежи в выбранном масштабе. Масштаб принимается в зависимости от глубины залежи и от расстояния между поперечниками в плане: в 1 см - 1 м; в 1 см - 2 м, в 1 см - 2,5 м; в 1 см - 5 м. При выборе масштаба нужно руководствоваться тем, чтобы линии соседних зондировочных профилей не пересекались.

На профилях зондирования, кроме глубины залежи торфа, в условных обозначениях наносятся: глубины минеральных наносов и прослоек, донных отложений (ил, сапропель).

Надписи глубин (с точностью до одного десятичного знака) располагают вдоль вертикалей, на которых отложены глубины торфа.

Зондировочные профили вычерчиваются линиями разной толщины: поперечники, вертикали и границы прослоек внутри профиля тонкими линиями, дно - утолщенными.

Проведение нулевой границы

Линия дна торфяной залежи по каждому поперечнику выводится на нуль к точке пересечения с суходолом. Линия, проведенная через точки, где торфяное месторождение граничит с суходолом, мощность торфяной залежи равна нулю, называется нулевой границей. Такая граница может проходить не только по периферии торфяного месторождения, но и внутри его общего контура, вырисовывая внутренние суходольные острова. На плане нулевая граница проводится красным цветом в виде плавной утолщенной пунктирной линии.

Проведение промышленной границы

Граница промышленной залежи на учебной практике проводится глубине 0,7 м. Точки пересечения границы промышленной залежи с линией профиля торфяной залежи находят путем интерполирования величин, характеризующих глубину залежи на двух соседних пунктах зондирования, из которых одна больше, а другая меньше искомой. Полученные точки соединяют плавной волнистой линией вначале карандашом, а затем тушью сплошной утолщенной линией красного цвета.

Нанесение пунктов отбора проб и пробных площадок

При построении профилей зондирования на план торфяного месторождения наносят пункты отбора проб торфа, площадки зондирования на пни и пункты других исследований соответствующими условными знаками. Условные знаки пунктов наносятся в первую очередь, чтобы не пересекать их никакими другими линиями.

Вычисление площадей

Площадь торфяного месторождения на плане определяется в границах нулевой и промышленной залежей. Определение площадей производится планиметром или с помощью палетки. Палетка представляет собой прозрачный трафарет с нанесенной на нем сетью прямых линий с известным шагом. Она накладывается на контур с неизвестной площадью, затем производится замер длин линий, пересекающих контур. Площадь контура подсчитывается по формуле:

$$F = \sum l K, \text{ см}^2,$$

где $\sum l$ - сумма длин линий палетки, пересекающих контур торфяного месторождения, см;

K - расстояние между линиями палетки, т.е. шаг 0,5 см.

Полученную площадь в см^2 переводим в гектары.

Вычисление средней глубины залежи

Средняя глубина залежи вычисляется для площади в границах промышленной залежи и определяется как средняя арифметическая величина глубин пунктов зондирования по ранее описанной методике.

Мощность очеса при подсчете средних глубин не исключается, т.е. средние глубины подсчитываются с очесом.

Средние глубины подсчитываются с точностью до второго знака.

Вычисление запасов торфа

Запас торфа-сырца определяется в границах промышленной залежи по формуле

$$V = 10000 \cdot F \cdot h_{\text{ср}},$$

где V - запас торфа-сырца, м³;

F - площадь участка, га;

$h_{\text{ср}}$ - средняя глубина торфяной залежи, м;

10000 - перевод га в м

Обычно подсчитываются геологический и полезный запасы торфа. В геологический запас входит вся торфяная залежь в промышленных границах, включая очесный слой, минеральные прослойки, пни и водные прослойки. Поверхностный минеральный нанос и донные отложения не включаются в геологический запас. В полезный запас включается только торф, имеющий сред-

ною зольность по шурфу менее 35%, а по слою - менее 45 %. Участки и слои торфа с большей зольностью бракуются.

Результаты произведенных подсчетов площадей торфяного месторождения средней глубины (с очесом, без очеса) и разведанных запасов торфа сводятся в специальную таблицу, которая приводится в виде экспликации в отчете и на плане торфяного месторождения.

На основе анализа полевых и лабораторных данных, полученных в результате камеральной обработки материалов, составляется технический отчет - пояснительная записка, которая составляется по следующей схеме:

Введение. Краткое описание географического и административного положения торфяного месторождения.

Физико-географические условия образования. Залегание торфяного месторождения по рельефу, история развития и современное состояние, конфигурация, рельеф и характер минерального дна.

Микрорельеф поверхности торфяного месторождения и растительность. Характеристика микрорельефа (кочек, мочажин, гряд), распространение различных форм рельефа по площади. Характеристика растительного покрова по ярусам.

Характеристика торфяной залежи. Описание строения залежи, расположения по рельефу. Общие количественные и качественные показатели в виде таблиц. Описание и характеристика донных отложений и минерального дна. Пнистость залежи.

Заключение по качественной оценке торфяного сырья. Общая оценка пригодности торфяной залежи для того или иного вида использования.

К пояснительной записке прилагается следующий графический материал;

план торфяного месторождения (на ватмане); стратиграфический профиль, построенный по заданной линии; журналы и ведомости в порядке их нумерации.

2.8.2. Изучение месторождения песка

[На оглавление](#)

Конечной целью геологического исследования любого района является изучение его геологического строения и выявление полезных ископаемых. Многие осадочные горные породы используются как сырье для строительной индустрии. Особенно в большом объеме в строительстве используют песок, гравий, гальку, валуны и т.д.

Для оценки месторождений строительных материалов необходимо учитывать следующие требования:

малую мощность отложений, перекрывающих залежь полезного ископаемого (малая мощность вскрытия);

близость расположения к путям сообщения (железным, шоссейным, проселочным дорогам); мощность полезного ископаемого (не менее 2-3 м.

Программа работ включает в себя

а) полевые работы:

изучение рельефа местности;

осмотр и описание обнажений (борта карьера);

отбор образцов;

знакомство с технологией производства строительных материалов;

б) камеральные работы:

изучение образцов пород;

составление стратиграфического разреза карьера.

2.8.2.1. Полевые работы

[На оглавление](#)

Общая характеристика рельефа и главнейших его элементов

Рельеф любого участка суши представляет собой сложное, но закономерное сочетание простых элементарных форм, положительных (выпуклых) и отрицательных (вогнутых), которые ограничены поверхностями, приближающимися к геометрическим плоскостям. Эти простые формы, их размеры, протяженность, направление, распределение в пространстве, их однородные группировки или сочетания представляют непосредственный объект геоморфологических наблюдений.

Для полного представления о рельефе недостаточно внешнего описания рельефа и наличия числовых характеристик: размеров отдельных форм, их гипсометрического положения, расстояний между высшими и низшими точками, углов наклона поверхностей ограничения. Необходимо установить, какими процессами обусловлено появление той или иной формы рельефа, когда она возникла. Для этого необходимо изучить вещественный состав горных пород, которыми сложена наблюдаемая форма рельефа, структурные и текстурные особенности горных пород, условия их залегания. Только широкий комплексный физико-географический подход к изучению рельефа может привести к всестороннему раскрытию закономерностей и истории его формирования.

Осмотр и описание обнажений

Приступая к осмотру и описанию естественного или искусственного обнажения (шурфа, карьера, участка трассы и т.д.) следует:

А) Осуществить привязку обнажения, записав в полевую книжку его номер и местоположение. Если обнажение (шурф) находится на берегу реки, то приводится название реки и указывается у на каком оно берегу - на левом или на правом. По возможности отмечается расположение обнажения по отношению к наиболее приметному пункту на местности (мосту, дому, окраине деревни, холму, одиночному дереву и т.д.), указывается азимут от обнажения на данный предмет и на "глаз" определяется расстояние до него. Здесь же указываются другие характерные особенности обнажения и его примерные размеры.

Б) Сделать схематическую зарисовку обнажения. На зарисовке заделаются слои, различные по литологическому составу, окраске, слоистости и другим признакам, обозначаются границы между ними. На зарисовке следует указать размеры обнажения (по горизонтали и вертикали), ориентировку относительно стран света. Выделенные слои обозначаются на зарисовке сверху вниз цифрами 1, 2, 3, 4 и т.д. При описании обнажения дается его краткая общая характеристика, а затем детально описывается каждый слой. Описание слоев ведется примерно в следующем порядке:

- название породы;
- цвет (во влажном и сухом состоянии);
- петрографический и минералогический состав (например: галька и гравий, сложенные осадочными, изверженными и метаморфическими породами; песок кварцевый, полевошпатовый, и т.д.);
- крупность и окатанность обломочного материала (песок крупно-, средне-, мелкозернистый, хорошо окатанный);
- характер слоистости (горизонтальная, косая и т.д.);
- наличие включений, конкреций, их расположение в слое ;
- наличие органических остатков, их распределение;
- характер контакта с нижележащим слоем (четкий, нечеткий);
- характер кастовых поверхностей (ровные, неровные, бугорчатые и т.д.);
- трещиноватость, элементы залегания трещин;
- характер залегания слоев (горизонтальное, наклонное, согласное, несогласное) и элементы их залегания;
- мощность каждого слоя.

2.8.2.2. Примеры описания обнажений

[На оглавление](#)

Обнажение №1. Находится на левой берегу р. 3.Березина, в 200 м от дороги г. Волошин – Подберезье. Оно представляет собой стенку карьера высотой 19 м, шириной 36 м, У подножия имеется осыпь, состоящая из обломков различных пород.

В обнажении выделяются следующие слои (сверху вниз):

1ый. Почвенный слой представлен супесью серовато-буроватого цвета, комковатой, с включением зерен гравия, повсеместно пронизанной корнями растений. К подошве заметно увеличивается количество песчаных частиц. Средняя мощность 0,8 м.

2ой. Песок светло-серый, мелко- и среднезернистый, полево-шпатово-кварцевый. Зерна средней окатанности. В песке наблюдается горизонтальная и косая слоистость. Элементы залегания слоистости: аз. пад. СБ 15 7 и аз. над. СБ 25 8.

В нижней части слоя песок несколько сцементирован, уплотнен. Цемент глинистый. Поверхность слоя слабо волнистая, контакт с нижележащим слоем четкий.

Мощность 4,5 м,

Зий. Песчано-гравийно-галечная смесь. Цвет (общий фон) светло-серый. Приблизительный процентный состав обломочного материала: гальш – 65%, гравия - 20 %%, песка - 15 %. Окатанность обломочного материала хорошая. Петрографический состав: гранит, сиенит, габбро, пироксенит, дунит, кварцит, яшма, доломит, песчаник, кварц. Материал слабо отсортирован, участками сильно выветрен до состояния "гнилого камня", Слоистость горизонтальная и диагональная, слабо выраженная. Ближе к подошве слоя наблюдаются включения единичных валунов средней окатанности. Поверхность слоя волнистая, контакт с нижележащим слоем четкий.

Мощность 8,5 м.

4ый. Песок серовато-желтый, полевошпатово-кварцевый, немного слюдистый, мелкозернистый, хорошо окатанный, с прослоями и отдельными включениями гравия мощностью от 10 до 25 см.

Гравий неравномерно окрашен в бурые и желтые тона, слабо сцементирован, Цемент железистый. Петрографический состав тот же, что и в вышележащем слое. Обломки средней окатанности. В песке наблюдается хорошо выраженная горизонтальная слоистость.

Встречаются конкреции в виде горошин о железненного рыхлого песчаника. Конкреции распределены без всякой закономерности, Мощность - 4,0 м.

Все слои секутся тектоническим нарушением с элементами залегания: аз.пад. ПОО 80°. Амплитуда смещения по нарушению составляет около 1 м.

Обнажение № 2. Шурф №1 задан на первой надпойменной тер расе р. З.Березина в 25 м от русла реки. Азимут на окраину д. Кутенята - СВ 35° (600 м), на окраину д. Калдыки - В 89° (400 м)

Шурфом вскрыты следующие слои;

1ый. Почвенный слой, представленный гумифицированной супесью темно-серого цвета, пронизанной корнями растений.

Мощность слоя 10 см.

2ой. Супесь темно-серая, тонкая, полевошпатово-кварцевая с примесью темноцветных минералов. Окатанность материала хорошая. В верхней части разреза наблюдается незначительная примесь песка и гравия, книзу возрастает количество глинистого материала. Слоистость не выражена. Слой залегает горизонтально, верхний контакт нечеткий, нижний - четкий,

Мощность слоя 80 см.

Взят образец № 1 на гранулометрический анализ.

Зий. Суглинок серовато-желтый, местами буроватый за счет присутствия гидроокислов железа. Повсеместно наблюдается обильное оглеение.

В суглинке встречаются небольшие гнезда (сечение до 120 см[^]) серовато-желтого кварцевого песка, мелкозернистого, хорошо окатанного. Слоистость в суглинке не наблюдается. Переход к нижележащему слою постепенный,

Мощность слоя 65 см.

4ый. Песок серый мелко- и среднезернистый, полевошпатово-кварцевый и окатанный. Изредка встречаются гравий и галька изверженных и осадочных пород. Слабо выражена горизонтальная слоистость.

Видимая мощность слоя 45 см.

Уровень грунтовых вод находится в 180см от устья шурфа.

Отбор образцов

При изучении состава пород в полевых условиях производятся лишь простейшие предварительные определения. Подробное изучение образцов ведется при лабораторных исследованиях. С этой целью отбираются образцы из каждого выделенного слоя. Образец снабжается этикеткой, составляемой по приведенной ниже форме. Этикетку, прилагаемую к образцу, складывают несколько раз и аккуратно завертывают в угол оберточной бумаги, в которую заворачивается образец. Если образец упаковывается в мешочек, то этикетку вкладывают в него, предварительно загнув в бумагу.

Форма этикетки БНТУ, кафедра Горные работы

Местонахождение образца

№ образца. Описание (полевое определение).

Бригада

Число

Подпись лица, отобравшего образец.

Размер образцов: а) для твердой породы (9×12 или 6×9 см);

б) для рыхлой породы по весу 100-300 г

Образцы отбираются на механический и петрографический анализы. Отбор их производится следующим образом: поперек всего вы хода пласта (песков, глин, песчано-гравийно-галечной смеси) перпендикулярно пластовой поверхности зубилом, скребком, лопатой или молотком делается борозда (бороздое опробование). Весь образовавшийся при этом материал тщательно собирается, а затем - исследуется.

Образцы с фауной аккуратно перекладываются ватой и завертываются в бумагу и за соответствующими номерами записываются в полевую книжку.

Образец с органическими остатками из осыпи аккуратно завертывается в бумагу с надписью места его взятия. При этом обязательно указывается, что фауна найдена в осыпи.

Образцы горных пород, минералов, пробы сыпучих пород, окаменелости тщательно упаковываются в отдельные ящики.

2.8.2.3. Определение образцов и графические работы

[На оглавление](#)

Анализ образцов проводится с использованием лабораторного практикума по курсу «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Породы изучаемого района представлены рыхлыми осадочными образованиями антропогена, среди которых главную роль играют продукты ледниковой деятельности.

Составление стратиграфического разреза

Сводный стратиграфический разрез строится в виде колонки или профиля на основании данных по каждому обнажению. Масштаб колонки обычно 1:100 или 1:50, ширина 5 см. На колонку наносятся все слои с учетом их максимальной мощности. Справа от колонки указывается мощность каждого слоя и краткое его описание. Слева - условные обозначения. Образцы условных обозначений и примеры зарисовок обнажений приведены на рис

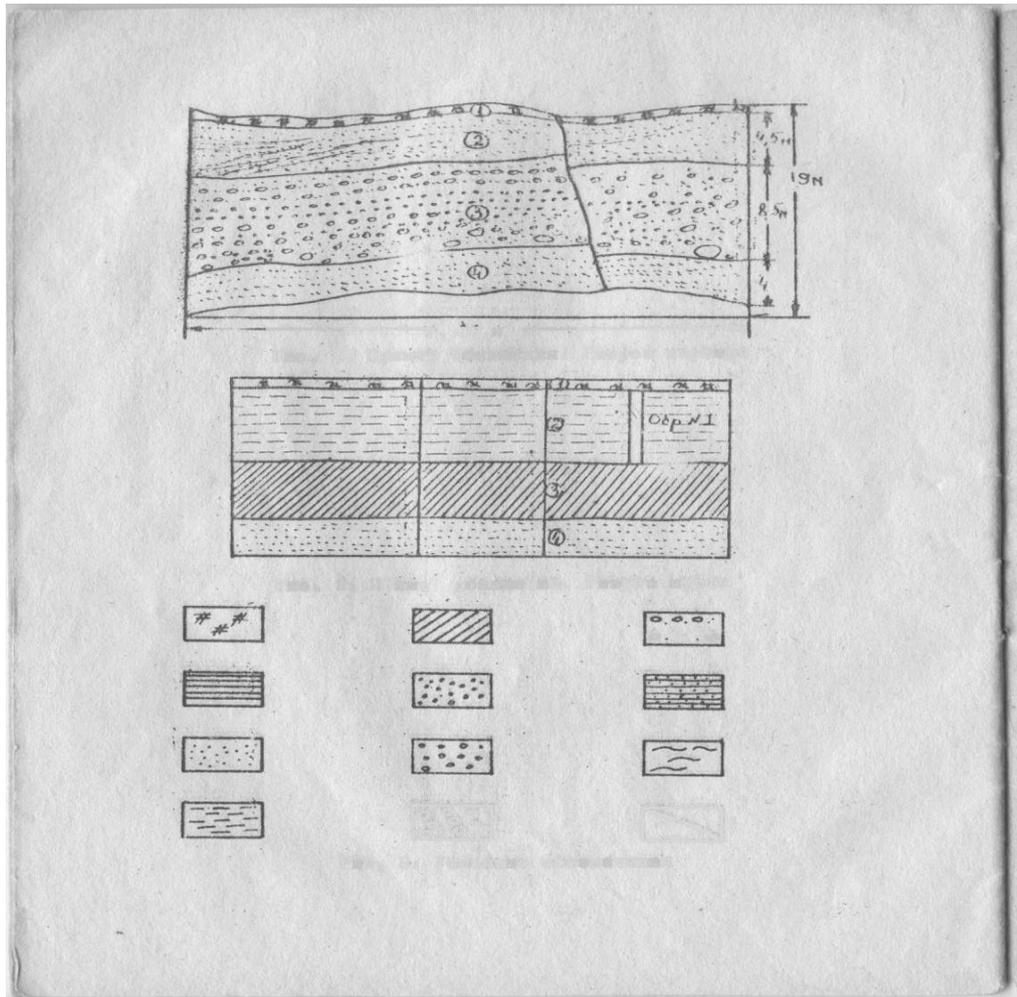


Рис.2.33.Примеры обнажения.Разрез - стенка карьера (вверху), разрез – стенка шурфа и условные обозначения (внизу).

Использованная литература

[На оглавление](#)

1. Ермолов В.А. Геология: учеб. для вузов: в 2 ч. /В.А. Ермолов, Л.Н. Ларичев, В.В. Мосейкин. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. - Ч. 1: Основы геологии. -598 с.
2. Ермолов В.А. Геология: учеб. для вузов: в 2 ч. /В.А. Ермолов. –М.: Изд-во МГГУ, 2005. – Ч. 2: Разведка и геолого-промышленная месторождений полезных ископаемых. -392 с.
3. Ершов В.В. Основы геологии: учеб. для вузов / В.В. Ершов, А.А. Новиков, Г.В. Попова. – М.: Недра, 1986. - 309 с.
4. Ершов В.В. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: учеб.для вузов / В.В. Ершов [и др.]; под ред. В.В. Ершова. - М.: Недра, 1989. – 400с.
5. Поликарпова Н.Н. Общая геология: учеб.-метод. пособие для студентов заочной формы обучения по специальности "Горный инженер" /Н.Н. Поликарпова. -Минск.: БДПА, 2001. -70 с.
6. Поликарпова Н.Н. Лабораторные работы по разделу "Минералы" курса "Геологические дисциплины" для студентов специальности Т 09.05 "Открытые горные работы" / Н.Н. Поликарпова. - Минск. БДПА, 1991. -28 с.
7. Поликарпова Н.Н. Лабораторные работы по разделу "Горные породы" курса "Геологические дисциплины" для студентов специальности Т 09.05 "Открытые горные работы" / Н.Н. Поликарпова. -Минск.: БДПА, 1991. -34 с.
8. Геология и полезные ископаемые кристаллического фундамента и нижней части платформенного чехла Беларуси / Р.Г. Гарецкий [и др.]; НАН Беларуси. Ин-т геол. Наук; под общ. Ред. Р.Г. Гарецкого. - Минск, 1996. – 230 с.
9. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ /Редкол.: П.З. Хомич (отв. Ред.) [и др.]. - Минск: Адукацiя i выхаванне, 2002. - 528 с.
10. Высоцкий Э.В. Геология и полезные ископаемые Республики Беларусь / Э.В. Высоцкий, Л.А. Демидович, Ю.А. Деревянкин. – Минск: Універсітэцкае, 1989. – 184 с.
11. Торфяные месторождения и их разведка: учеб.Пособие для вузов / И.Ф. Ларгин [и др.]; под.общ. Ред. И.Ф. Ларгина. - М.: Недра, 1977. - 264 с.
12. Поликарпова Н.Н. Лабораторный практикум по курсу «Торфяные месторождения и их разведка» / Н.Н. Поликарпова, Т.С. Медведь. - Минск: БГПА, 1980. -20 с.
13. АЛЛИСОН А., Пальмер Д, Геология. -М: Мир, 1984
14. Общая и полевая геология / Под ред. А.Н.Павлова. - Л.: Недра, 1991. -462с.
15. Штрюбель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь. - М.; Недра, 1987, -492 с.

Список используемой литературы**На оглавление**

1. АЛЛИСОН А., Пальмер Д, Геология. -М: Мир, 1984.
2. Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. - М.: Недра, 1986.-309 с.
3. Высоцкий Э.А., Демидович Л.А., Деревянкин Ю.А. Геология и полезные ископаемые Республики Беларусь. - Мн.: Уншверслтэцкае, 1989.
4. Лабораторные работы по разделу «Микералк» курса «Геологические дисциплины» для студентов специальности Т.09.05 - «Открытые горные работы». -Мн., 1991. -28 с.
5. Лабораторные работы по разделу «Горные породы» курса «Геологические дисциплины» для студентов специальности Т.09.05 - «Открытые горные работы». -Мн., 1991. -34 с.

