



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

ГЕОЛОГИЯ

ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

**Методические указания
к лабораторным работам**

Красноярск
СФУ
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сибирский федеральный университет

ГЕОЛОГИЯ

ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

**Методические указания
к лабораторным работам**

Красноярск
СФУ
2010

УДК 551(076)
ББК 26.329я73
П78

П78 Геология. Основы кристаллографии, минералогии и петрографии : метод. указания к лабораторным работам / сост. : Е. В. Прокатень. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2010. – 48 с.

В методических указаниях изложены начальные сведения по кристаллографии, где рассмотрены простые формы кристаллов по категориям. Даны необходимые сведения о минералах, отмечены особенности определения их морфологических и физических свойств. Приведены основные характеристики магматических, метаморфических и осадочных горных пород.

Для студентов очного и заочного обучения по направлению подготовки 130400 «Горное дело» специальности 130405.65 «Обогащение полезных ископаемых».

УДК 551(076)
ББК 26.329я73

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Сибирского федерального университета

Учебно-методическое издание

ГЕОЛОГИЯ

ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

**Методические указания
к лабораторным работам**

Составитель

Прокатень Елена Вячеславовна

Редактор Л. Х Бочкарева

Компьютерная верстка: Н. Г. Дербенева

Подписано в печать 27.10.10. Печать плоская. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Тираж 300 экз. Заказ № 2545

Редакционно-издательский отдел Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Отпечатано полиграфическим центром Библиотечно-издательского комплекса
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а

© Сибирский федеральный
университет, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с действующей учебной программой читаемого курса по геологии и основаны на опыте проведения лабораторных работ по вышеназванному курсу.

В данной части предлагаемых методических указаний приведены элементарные сведения из области геометрической кристаллографии, минералогии и петрографии.

Одним из объектов изучения данного курса являются природные минералы, которые в большинстве случаев – тела кристаллические. Многие химические соединения, являющиеся материалом изготовления фарфоровых изделий, стекла, абразивных инструментов и порошков, в том числе входящие в состав разнообразной силикатной продукции, также представляют собой кристаллы. Поэтому надлежащее место в методических указаниях отведено рассмотрению строения кристаллического вещества, обуславливающего свойства тел, симметрию кристаллов, простых форм, из которых состоят кристаллы.

В разделе «Кристаллография» подробно рассматриваются необходимые теоретические положения и методические приемы определения элементов симметрии, простых форм в комбинациях кристаллов.

Специалистам по обогащению полезных ископаемых, металлургам необходимо получить детальное представление как о самородных элементах и химических соединениях – минералах, возникающих в результате различных физико-химических процессов в земной коре, так и о наиболее распространенных горных породах. Некоторые из них представляют собой определенные минерально-сырьевые объекты, подвергаемые в условиях промышленности обработке различными методами: дроблению, сушке, флотации, обжигу при высоких температурах, а также плавлению. Правильный выбор технологических методов и соответствующие расчеты в значительной степени определяются физическими и химическими свойствами сырья.

В разделе «Минералогия» студенты получают знания по особенностям морфологии и физических свойств, химического состава, а также приобретают навыки освоения метода макродиагностики и выясняют возможности практического применения минералов.

В третьем разделе «Горные породы» методических указаний приведены краткие сведения о магматических, осадочных и метаморфических горных породах. Рассматриваются их классификация, текстуры и структуры, минеральный состав и практическое применение. Также приводятся рекомендации правильного подхода к изучению вышеназванных горных пород.

1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Кристаллы – это твердые тела с упорядоченным внутренним строением в виде пространственной атомной решетки и имеющие вследствие этого форму многогранников. Одним из свойств кристаллов является их симметрия.

Симметрия в кристаллах – это закономерная повторяемость в пространстве одинаковых граней, ребер и углов фигуры. Для характеристики этой закономерности пользуются воображаемыми геометрическими образами – точками, прямыми линиями и плоскостями, с помощью которых задаются или осуществляются симметрические преобразования (операции). Такие образы называются *элементами симметрии*.

1.1. Элементы симметрии кристаллов

Ось симметрии (L) – это воображаемая прямая линия, при повороте вокруг которой совмещаются равные части кристалла. Число самосовмещений при повороте на 360° определяет порядок оси симметрии n . Наименьший угол поворота, приводящий фигуру в самосовмещение, называется элементарным углом поворота α . Элементарный угол поворота любой оси симметрии содержится целое число раз в $360^\circ/n$.

Оси симметрии обозначаются как L_n , где подстрочный цифровой индекс n указывает на порядок оси. В кристаллических многогранниках различают оси второго (L_2) – низшего порядка, третьего (L_3), четвертого (L_4) и шестого (L_6) – высшего порядков (рис. 1). Количество осей того или иного порядка обозначается цифровым коэффициентом, стоящим перед буквой, например, $3L_2$. Оси пятого порядка и порядка выше шести в кристаллах невозможны.

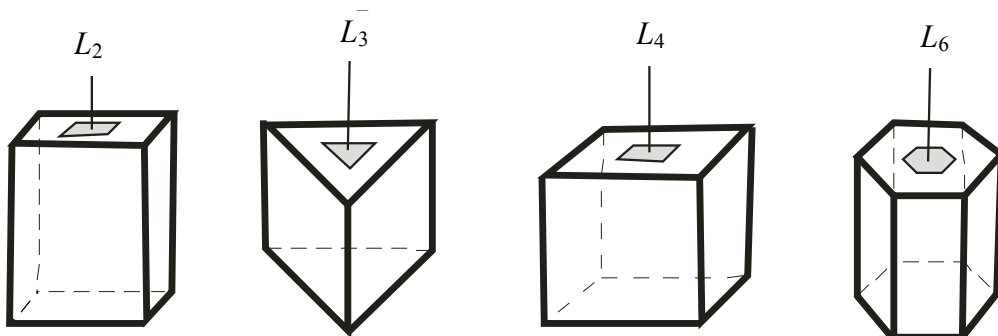


Рис. 1. Оси симметрии второго, третьего четвертого и шестого порядков

Центр симметрии, или центр инверсии (C), – это точка внутри кристалла, в противоположных направлениях от которой и на равных расстоя-

ниях находятся одинаковые элементы ограничения (ребра, вершины, грани). Так, если по одну сторону от C находится вершина многогранника, то по другую сторону на том же расстоянии от центра должна находиться точно такая же парная ей вершина. То же самое относится и к остальным точкам на гранях и ребрах кристалла. При наличии в кристалле центра симметрии каждой его грани обязательно должна соответствовать другая грань, равная и параллельная (или обратно параллельная) первой.

Плоскость симметрии (P) – это предполагаемая плоскость, которая делит фигуру на две симметрично равные части, расположенные относительно друг друга как предмет и его зеркальное отражение, как левая рука и правая. Плоскости симметрии могут проходить через середины граней и ребер, перпендикулярно к ним или вдоль ребер, образуя равные углы с одинаковыми гранями и ребрами. К примеру, куб (гексаэдр) имеет максимально возможное количество плоскостей – 9 (рис. 2).

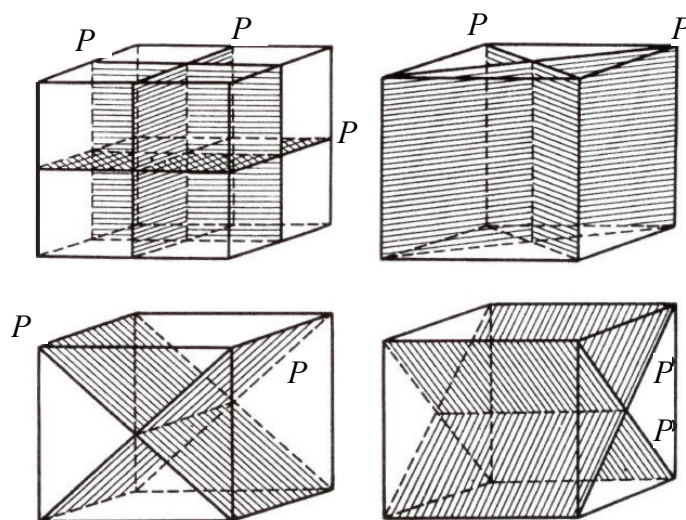


Рис. 2. Плоскости симметрии (P) в кубе

Совокупность элементов симметрии кристаллов записывается в определенной последовательности. Например, у куба – $3L_44L_36L_29PC$.

1.2. Виды симметрии, сингонии и категории

Элементы симметрии присутствуют в кристаллах не только поодиночке, но и в определенных комбинациях друг с другом.

Совокупность всех элементов симметрии данного кристаллического многогранника называется его **видом симметрии**. Русский ученый А. В. Гадолин математически вывел все возможные комбинации элементов симметрии, называемые видами симметрии, их оказалось всего 32.

Все виды симметрии подразделяются на семь сингоний (от греч. *syn* – вместе; *gonia* – угол) – группу видов симметрии, обладающих одним или несколькими сходными элементами симметрии. Сингонии в порядке возрастания степени симметричности можно расположить таким образом: *триклинная, моноклинная, ромбическая, тригональная, тетрагональная, гексагональная, кубическая*.

Таблица 1

Характеристика категорий и сингоний кристаллов

Категория	Сингония	Характерные признаки сингоний
Низшая (нет осей симметрии высшего порядка)	<i>Триклинная</i>	Нет ни осей, ни плоскостей симметрии, может быть только центр симметрии (<i>C</i>)
	<i>Моноклинная</i>	Сумма осей (L_2) и плоскостей (P) симметрии равна 1 или 2: L_2, P или L_2PC
	<i>Ромбическая</i>	Сумма осей (L_2) и плоскостей (P) симметрии равна 3 или 6: $3L_3, L_22P, 3L_23PC$
Средняя (одна ось симметрии высшего порядка)	<i>Тригональная, тетрагональная, гексагональная</i>	L_3 L_4 L_6
Высшая (несколько осей симметрии высшего порядка)	<i>Кубическая</i>	$4L_3, 3L_44L_3$

В свою очередь, сингонии группируются в три категории – низшую, среднюю и высшую (табл.1).

1.3. Простые и комбинационные формы

По характеру внешней огранки кристаллы разделяются на две группы: простые формы и комбинации.

Простой формой кристалла называется совокупность равных граней, связанных между собой элементами симметрии. Одни состоят из небольшого количества граней, такие как тригональная призма или пирамида (рис. 3, *a, б*), другие из большей совокупности граней, например, куб, дигексагональная дипирамида (рис. 3, *в, г*).

Необходимо отметить, что многогранник, представляющий собой простую форму, состоит из равных по форме и размерам граней.

В характеристику каждой простой формы входят понятия «открытые» и «закрытые».

Открытые простые формы не замыкают пространство и не могут существовать самостоятельно, а только в комбинациях. Например, призма и пинакоид, пирамида и моноэдр (рис. 3, *a, б*).

Закрытые простые формы ограничивают пространство со всех сторон (рис. 3, в, г), например, дипирамиды, тетраэдры и все имеющиеся простые формы кубической сингонии – куб, октаэдр и другие.

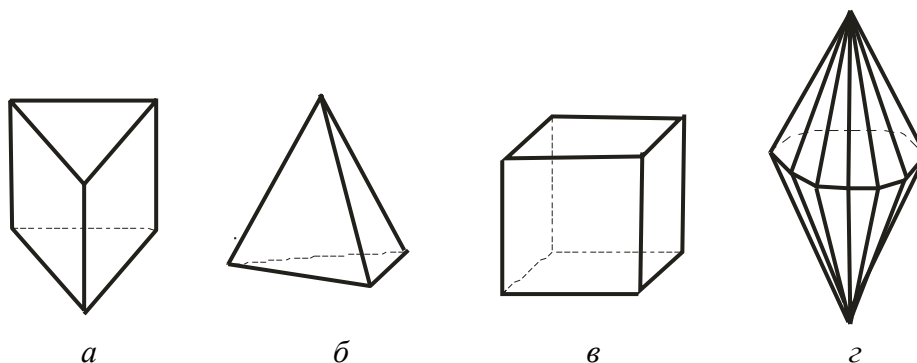


Рис. 3. Простые формы призм: открытые (а – призма тригональная; б – пирамида тригональная) и закрытые (в – куб, г – дипирамида дигексагональная)

Комбинационной формой называется сочетание от двух и более простых форм, т. е. они имеют грани, различные по форме, величине и другим свойствам.

Несмотря на бесконечное разнообразие типов комбинационных форм, количество простых форм природных кристаллов равно 47. Для каждой кристаллографической сингонии характерен свой набор простых форм. Для выявления числа простых форм, входящих в данную комбинацию, следует установить количество различных видов граней у изучаемого кристалла.

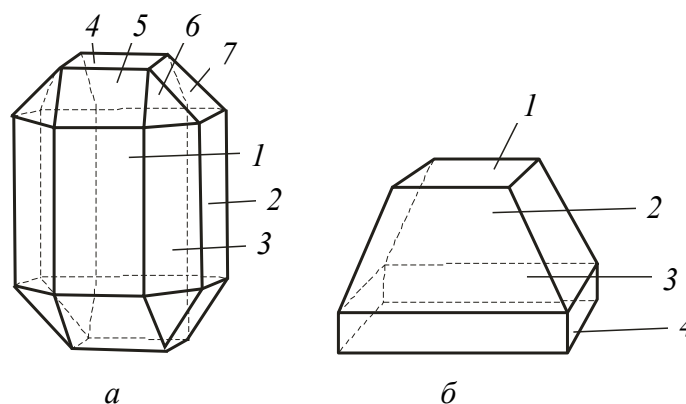


Рис. 4. Примеры комбинаций (а, б) простых форм

В качестве примеров комбинаций служат кристаллы, приведенные на рис. 4, а, б.

Кристалл (рис. 4, а) представляет собой комбинацию из 7 простых форм: трех *пинакоидов* (1, 2, 4), одной *ромбической дипирамиды* (6) и двух *призм ромбических* (3, 5). Другой многогранник (рис. 4, б) состоит из 4 простых форм: двух *моноэдров* (1, 4), одной *тетрагональной пирамиды* (2) и одной *тетрагональной призмы* (3).

1.4. Простые формы низшей категории

В низшей категории, включающей триклинную, моноклинную и ромбическую сингонии, встречается семь типов простых форм (рис. 5).

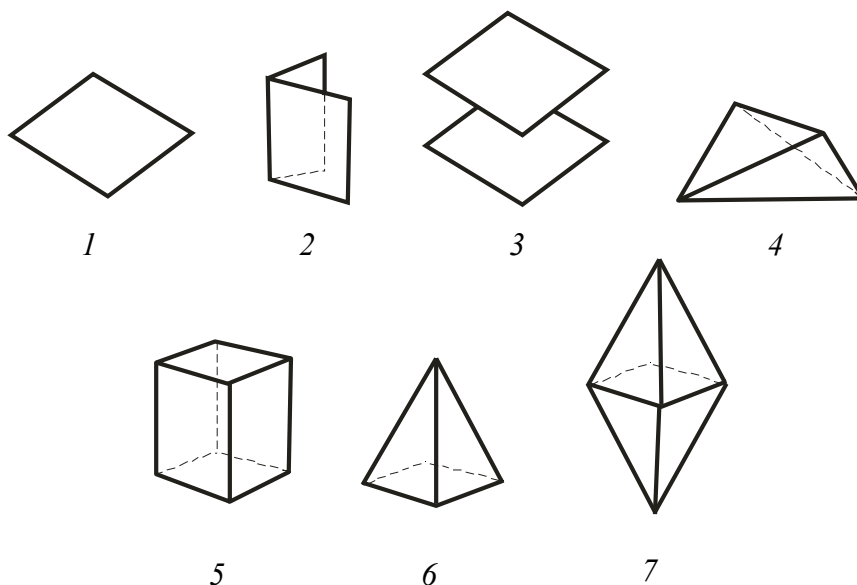


Рис. 5. Простые формы низшей категории: 1 – моноэдр; 2 – диэдр; 3 – пинакоид; 4 – ромбический тетраэдр; 5 – ромбическая призма; 6 – ромбическая пирамида; 7 – ромбическая дипирамида

1. **Моноэдр** – многогранник («монос» – один; «эдр» – грань), форма грани может быть различной.

2. **Диэдр** – простая форма, состоящая из двух равных пересекающихся граней, которые могут быть связаны осью или плоскостью симметрии.

3. **Пинакоид** – простая форма, состоящая из двух параллельных граней, форма и размеры которых могут быть любыми.

4. **Ромбический тетраэдр** – простая форма, состоящая из четырех непараллельных граней в форме разносторонних треугольников, по три пересекающихся в каждой вершине.

5. **Ромбическая призма** образована четырьмя попарно параллельными гранями. Поперечное сечение такой формы – ромб.

6. **Ромбическая пирамида** представляет собой простую форму, состоящую из четырех граней, пересекающихся в одной точке – вершине. В основании ее лежит ромб.

7. **Ромбическая дипирамида** – это две ромбические пирамиды, сложенные основаниями. Количество граней восемь, в поперечном сечении формы ромб.

Ромбическая дипирамида и тетраэдр являются закрытыми фигурами, а остальные перечисленные простые формы открытыми.

1.5. Простые формы средней категории

К средней категории, включающей тригональную, тетрагональную и гексагональную сингонии, относятся серии призм, пирамид, дипирамид, тетрагональный тетраэдр и ромбоэдр (рис. 6). Две простые формы – моноэдры и пинакоиды – переходят из низшей категории.

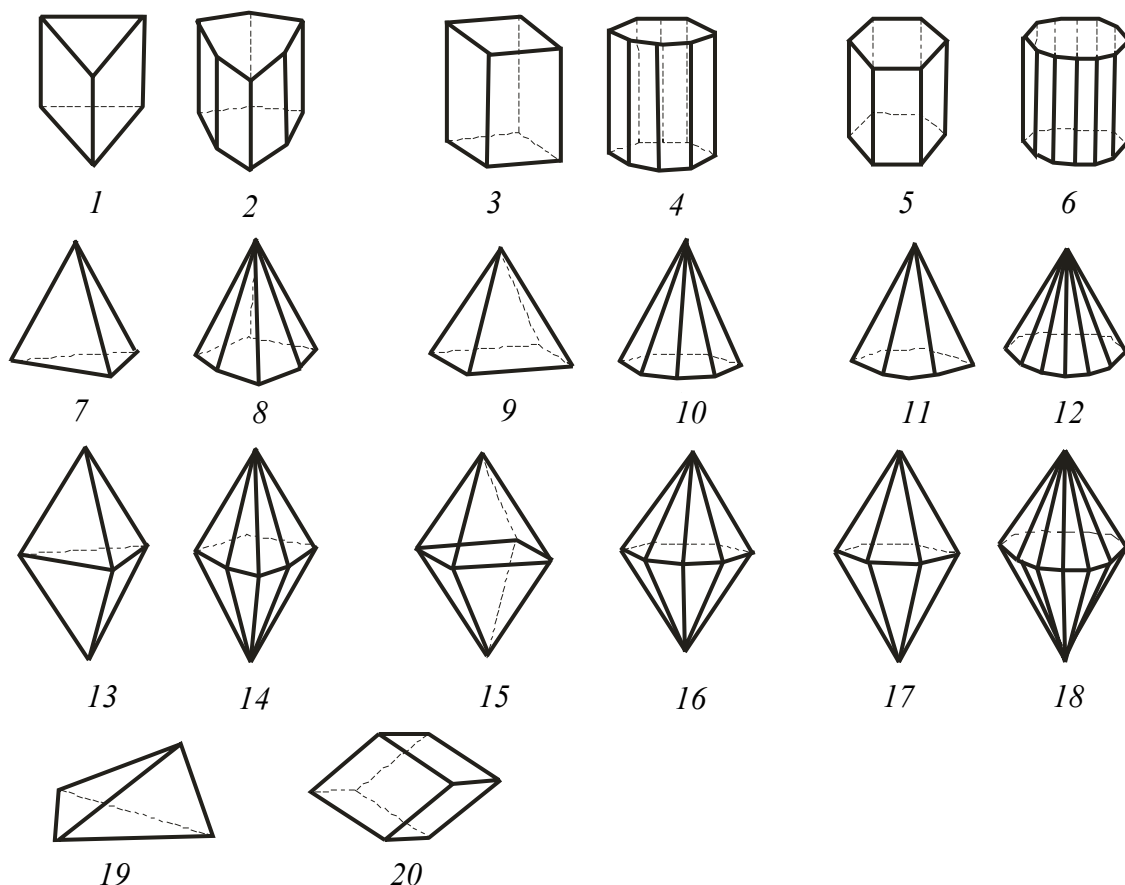


Рис. 6. Простые формы средней категории: 1–6 – призмы (1 – тригональная, 2 – дитригональная, 3 – тетрагональная, 4 – дитетрагональная, 5 – гексагональная, 6 – дигексагональная); 7–12 – пирамиды (7 – тригональная, 8 – дитригональная, 9 – тетрагональная, 10 – дитетрагональная, 11 – гексагональная, 12 – дигексагональная); 13–18 – дипирамиды (13 – тригональная, 14 – дитригональная, 15 – тетрагональная, 16 – дитетрагональная, 17 – гексагональная, 18 – дигексагональная); 19 – тетрагональный тетраэдр; 20 – ромбоэдр

Призмы – это простые формы, грани которых пересекаются в параллельных ребрах (рис. 6, 1–6).

Тригональная призма состоит из трех граней, пересекающихся по параллельным ребрам, в сечении – правильный треугольник.

Дитригональная призма имеет шесть граней, которые в сечении дают равносторонний шестиугольник с углами, повторяющимися через один.

Тетрагональная призма состоит из четырех граней, параллельных L_4 , в сечении находится квадрат.

Дитетрагональная призма соответствует удвоенной тетрагональной. Все восемь граней дают поперечное сечение в виде равностороннего восьмиугольника с равными углами, чередующимися через один.

Гексагональная призма образована шестью гранями параллельными L_3 или L_6 . Поперечное сечение ее – правильный шестиугольник.

Дигексагональная призма образована двенадцатью гранями, которые в сечении дают равносторонний двенадцатиугольник с углами, равными через один.

Аналогично призмам выводятся серии пирамид и дипирамид.

Пирамиды – это простые формы, грани которых пересекают главную ось симметрии в одной точке – вершине (рис. 6, 7–12). Они так же, как и призмы, могут быть *тригональными* (и *дитригональными*), *тетрагональными* (и *дитетрагональными*), *гексагональными* (и *дигексагональными*). Они образуют в сечении правильные многоугольники. Грани пирамид располагаются под острым углом к оси симметрии высшего порядка.

Дипирамиды – это простые формы, образованные двумя равными пирамидами, сложенными основаниями (рис. 6, 13–18). В таких формах происходит удвоение пирамиды горизонтальной плоскостью симметрии, перпендикулярной главной оси симметрии высшего порядка. Число дипирамидальных граней равно удвоенному числу граней соответственных пирамид.

Дипирамиды, как и простые пирамиды, в зависимости от порядка оси могут иметь различные формы сечения. Они могут быть *тригональными*, *дитригональными* (12 граней), *тетрагональными*, *дитетрагональными* (16 граней), *гексагональными* и *дигексагональными* (24 грани).

Тетрагональный тетраэдр сложен четырьмя гранями в виде равнобедренных треугольников (рис. 6, 19). Нижняя грань его расположена симметрично между двумя верхними. Относится к тетрагональной сингонии.

Ромбоэдр – простая форма, которая состоит из шести граней в виде ромбов и напоминает вытянутый или сплюснутый по диагонали куб. Он возможен только в тригональной сингонии (рис. 6, 20).

1.6. Простые формы высшей категории

Простые формы кристаллов высшей категории кубической сингонии значительно отличаются от простых форм предыдущих категорий. Они обладают изометричным обликом кристаллов, обязательным присутствием $4L_3$ в сочетании с другими элементами симметрии. Немаловажно отметить, что в здесь не встречаются простые формы низшей и средней категорий, т. е.

пинакоиды, моноэдры, призмы и другие. В высшей категории насчитывается 15 простых форм и все они закрытые. К *исходным* (простым) формам кубической сингонии можно отнести пять кристаллов в виде правильных многогранников (рис. 7).

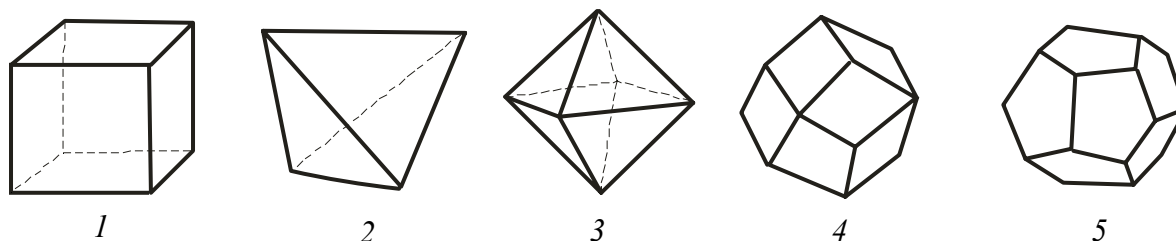


Рис. 7. Простые формы высшей категории: 1 – куб; 2 – тетраэдр кубический; 3 – октаэдр; 4 – ромбододекаэдр; 5 – пентагондodeкаэдр

Пентагондodeкаэдр имеет 12 граней в форме неправильных пятиугольников.

Из некоторых исходных форм путем увеличения количества граней простой формы можно создать *производные* формы (рис.8).

Куб (гексаэдр) – это шестигранник, в котором каждая сторона имеет форму квадрата. Куб обладает максимальным набором элементов симметрии: $3L_44L_36L_29PC$.

Тетраэдр кубический состоит из четырех равносторонних треугольников, замыкающих пространство.

Октаэдр – это восьмигранник, каждая грань которого представляет собой правильный треугольник.

Ромбододекаэдр – простая форма, состоящая из 12 граней в виде ромба.

Производные тетраэдра кубического получаются замещением каждой грани этой простой формы тремя гранями в виде треугольников, четырехугольников, пятиугольников (рис. 8, 1–4). При этом мы имеем *тригон-тритетраэдр*, у которого форма граней – равносторонние треугольники; *тетрагон-тритетраэдр* – четырехугольники; *пентагон-тритетраэдр* – пятиугольники и, если надстроить на каждой грани тетраэдра по шесть треугольников, то получится *гексатетраэдр*.

Производные октаэдра (рис. 8, 5–8) выводятся по аналогии с тетраэдром кубическим. К ним относят *тригон-триоктаэдр* (по три треугольника на каждой грани октаэдра), *тетрагон-триоктаэдр* (по три четырехугольника), *пентагон-триоктаэдр* (по три пятиугольника) и *гексаоктаэдр*, или 48-гранник (по шесть треугольников на каждой грани октаэдра).

Если каждую грань куба заменить четырьмя треугольными гранями в виде равнобедренных треугольников, то получится простая форма, которая называется *тетрагексаэдр* (рис. 8, 9).

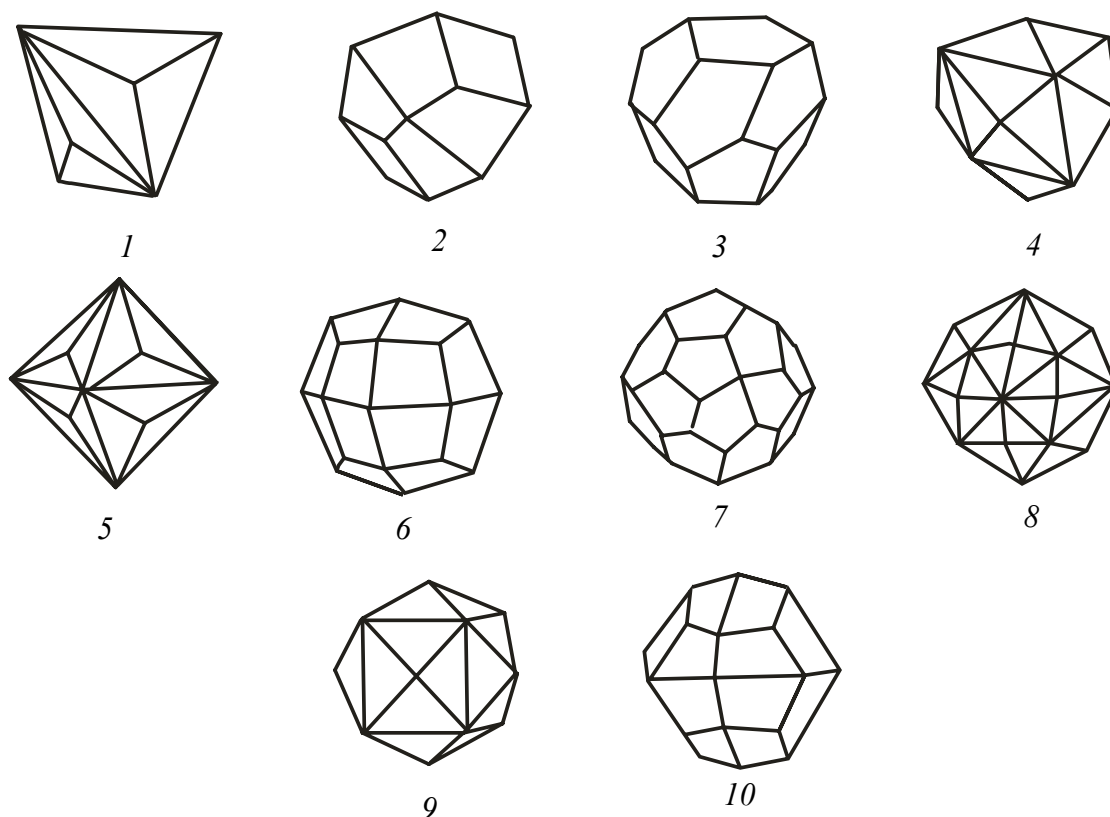


Рис. 8. Производные формы высшей категории: 1 – тригон-три-тетраэдр; 2 – тетрагон-тритетраэдр; 3 – пентагон-тритетраэдр; 4 – гексатетраэдр; 5 – тригон-триоктаэдр; 6 – тетрагон-триоктаэдр; 7 – пентагон-триоктаэдр; 8 – гексаоктаэдр; 9 – тетрагексаэдр; 10 – дидодекаэдр

Из пентагондододекаэдра путем удвоения его граней выводится *дидодекаэдр*, т. е. 24-гранник. Каждая грань его имеет форму четырехугольника, у которого только две стороны равны.

1.7. Методика выполнения лабораторных работ в разделе «Кристаллография»

Первые две работы по основам геометрической кристаллографии проводятся с использованием моделей кристаллов.

Цель лабораторной работы 1: определить элементы симметрии в предложенных кристаллах, записать их в виде формулы (например, $3L_23PC$); на основании элементов симметрии и табл. 1 установить категорию и сингонию симметрии данного кристалла.

Цель лабораторной работы 2: познакомиться с простыми формами кристаллов низшей, средней и высшей категорий и научиться их определять в различных комбинациях кристаллов.

После проведения двух лабораторных работ и изучения теоретического материала раздела «Кристаллография» выполняется самостоятельная работа на трёх кристаллах различных категорий. Порядок записи при изучении каждого кристалла следующий.

Пример. Дана модель кристалла в форме кирпичика.

1. $3L_23PC$.
2. Низшая категория.
3. Ромбическая сингония.
4. Кристалл представлен комбинацией из 3 простых форм: 3 пинакоида, простые формы открытые.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИНЕРАЛАХ

Минералы (лат. «*minera*», т. е. руда) – это все природные химические соединения ($CaCO_3$, SiO_2 , Fe_3O_4 и др.) или отдельные самородные элементы (Au, Cu, S, C), образовавшиеся в результате определенных физико-химических процессов и являющиеся составными частями горных пород и полезных ископаемых. К минералам относят также некоторые искусственно получаемые соединения. Наука о составе, кристаллическом строении, свойствах, происхождении и практическом значении минералов называется *минералогией*.

Сейчас известно около 4 000 минералов и ежегодно открываются десятки новых. Среди них различают главные – *породообразующие*, которые составляют основную часть горных пород (кварц и полевой шпат в граните), или образуют пласты их (гипс, ангидрит, галит) или, наконец, создают другие крупные скопления разнообразной формы (лимонит, нефелин, тальк).

Большинство минералов твердые, реже встречаются жидкие (вода, самородная ртуть) и газообразные (природные газы – метан, сероводород и др.). Минералогия преимущественно изучает твердые минералы, представляющие собой *кристаллические* тела, только незначительная часть их находится в *аморфном* состоянии.

Каждый минерал обладает определенным химическим составом, представляющим собой структурные формулы, в которых присутствуют катионы и анионные комплексы (радикалы). В формулах радикалы ставятся в квадратных скобках. Например, структурная формула барита – $Ba[SO_4]$, в которой $[SO_4]$ – радикал, а Ba – катион.

По химическому составу все минералы объединяются в две группы: 1) минералы *постоянного* состава, т.е. их состав практически неизменен, например, галит NaCl содержит 39,4 % Na, 60,6 % Cl; 2) минералы *переменного* состава представляют собой изоморфные смеси двух и более компонентов. К примеру, вольфрамит является смесью двух компонентов: ферберита Fe[WO₄] и гюбнерита Mn[WO₄]. Поэтому формула вольфрамита (Fe, Mn)[WO₄] показывает, что количества Fe и Mn непостоянны и эти элементы могут замещать друг друга в узлах кристаллической решетки. Наличие запятой в формуле свидетельствует о непостоянстве состава. Изоморфные смеси особенно типичны для силикатов. *Изоморфизм* (от греч. «изос» – равный и «морфэ» – форма) – это свойство, выражающееся в способности химических элементов замещать друг друга в кристаллической решетке минерала.

2.1. Морфологические особенности минералов

Минералы в природе могут быть представлены кристаллами, но чаще они образуют естественные скопления кристаллических зерен определенной формы – *минеральных агрегатов*. Один и тот же минерал может образовать кристалл и кристаллические зернистые массы, например, кварц. Кристаллы вырастают при медленном остывании магмы на конечном этапе её кристаллизации. Для роста кристалла необходимо свободное пространство (стенки трещин и пустот), иначе образуются срастания кристаллических зерен, и чем медленнее кристаллизуется расплав, тем крупнее будут зёрна. По количеству минералов, слагающих агрегат, различают *мономинеральные агрегаты*, сложенные одним минералом, и *полиминеральные агрегаты*, состоящие из двух и более минералов.

В зависимости от размеров зерен выделяют *скрытокристаллические* (зерна неразличимы без микроскопа); *мелкозернистые* (менее 2 мм); *среднезернистые* (2–5 мм) и *крупнозернистые* (более 5 мм) минеральные агрегаты.

Среди множества форм кристаллов можно выделить следующие основные типы:

1. *Изометрические* – формы одинаково развитые в трех направлениях пространства. Примером таких кристаллов могут служить кубы галита, октаэдры магнетита, ромбододекаэдры граната, тетраэдры сфалерита, пентагондододекаэдры пирита.

2. *Удлиненные* – формы, вытянутые в одном направлении. Например, призматические кристаллы берилла, турмалина и кварца, шестоватые и игольчатые кристаллы и зёрна антимонита, арсенопирита, волокнистые кристаллы хризотил-асбеста и др.

3. *Уплощённые* – формы, вытянутые в двух направлениях при сохранении третьего короткого. Например, листоватые или чешуйчатые кристаллы слюды, хлорита, гематита, пластинчатые кристаллы и зёрна гипса, таблитчатые зёрна полевых шпатов.

Форма минеральных агрегатов может быть самой разнообразной.

Друзы – группа хорошо ограненных кристаллов, незакономерно сросшихся в основании. В случае параллельного расположения кристаллов агрегат называется *щёткой*. Ярким примером перечисленных форм являются минералы кварца, кальцита, пирита, берилла и других минералов.

Секреции возникают при отложении минерального вещества (горный хрусталь, кальцит) на внутренних стенках пустот, рост кристаллов происходит от периферии к центру. Крупные секреции (более 10 мм) называются *жеодами*, мелкие (менее 10 мм) – *миндалинами*.

Конкреции (*стяжения*) имеют шарообразную, линзовидную или желвакообразную (неправильную округлую) форму и скорлуповатое или радиально-лучистое расположение кристаллов (марказит, фосфорит). **Оолиты** – конкреции размером до 1 см (боксит, пиролюзит).

Натечные формы (*сталактиты, сталагмиты, почковидные, гроздевидные агрегаты*) образуются в пустотах горных пород за счет непрерывно поступающих длительное время коллоидальных растворов. Под влиянием силы тяжести они обретают разнообразные формы. В натечных формах встречаются кальцит, лимонит, малахит и другие.

Дендриты – ветвящиеся мономинеральные сростания, образованные в результате кристаллизации в тонких трещинах горных пород характерных минералов, имеющих большую скорость кристаллизации, таких как гидроокислов марганца, золота, самородной меди, железа и др.

Землистые массы напоминают по внешнему виду рыхлую почву (каолинит, пиролюзит) – мучнистые образования типа сажи различной окраски.

Налеты и примазки представляют собой тонкие пленки минералов с неразличимой кристаллической структурой.

Некоторые минералы имеют вид закономерно сросшихся кристаллов (*двойники, тройники*) и образуются в результате внешнего прорастания или сростания кристаллов (гипс, флюорит, кальцит и др.).

Иногда минералы принимают несвойственную им форму, образуя точную копию другого минерала. Такие формы называют *псевдоморфозами* (ложными формами), например псевдоморфозы лимонита по пириту.

2.2. Физические свойства минералов

Существует много методов диагностики минералов: микроскопический, химический, спектральный, рентгеноструктурный и др.

Основная задача – научиться определять минералы наиболее доступным методом – макроскопическим, т. е. визуальным, где главным прибором является наш глаз. В этом случае сначала проводится изучение внешних признаков и физических свойств, присущих каждому минералу и различимых невооруженным глазом.

Каждый минерал характеризуется своим комплексом физических свойств, которые можно объединить в три группы: оптические, механические и прочие свойства.

Оптические свойства – это прозрачность, явление двупреломления, цвет, черта, блеск.

Прозрачность – свойство вещества пропускать сквозь себя свет. По степени прозрачности минералы делят на группы:

прозрачные (исландский шпат, горный хрусталь, топаз);

полупрозрачные (изумруд, апатит, сфалерит);

непрозрачные (магнетит, пирит, галенит).

Двойное лучепреломление наблюдается у прозрачной разновидности кальцита. Через кристалл оптического кальцита можно увидеть двойное изображение шрифта: одно отчетливое, другое – расплывчатое.

Цвет минералов бывает самым разнообразным. Это наиболее яркий и выразительный признак многих минералов. Некоторые минералы всегда имеют только один характерный для них цвет (зеленый малахит, синий азурит, красная киноварь и др.), другие меняют окраску, иногда даже по секторам и зонам роста одного кристалла (многоцветные турмалины, бериллы, флюорит, кварц и др.).

Цвет минерала зависит от химического состава и особенностей его кристаллической структуры. В некоторых минералах следует отметить наличие ложной окраски, обусловленной явлениями *интерференции света* либо окислением поверхности минерала. Так, интерференционная природа лежит в основе **иризации**, которая обнаруживается в полупрозрачных минералах, содержащих ориентированные включения посторонних минералов. Например, сине-красная или желто-зеленая иризация лабрадора связывается с интерференцией на мельчайших ориентированных пластинчатых включениях ильменита.

В результате окисления поверхности минерала появляется радужная пленка – **побежалость**, например, на борните или халькопирите.

Черта – цвет порошка минерала, оставляемого на неглазированной фарфоровой пластинке (бисквите). Цвет черты иногда отличается от цвета минерала в образце и служит более устойчивой характеристикой окраски, в связи с чем широко используется в диагностике. Типична вишнево-красная черта у гематита, желтая у хромита и т. д.

Блеск минералов – способность минералов отражать свет. Выделяют минералы с металлическим и неметаллическим блеском. *Металличе-*

ский блеск (независимо от окраски) имеют непрозрачные минералы с черной чертой, *неметаллический* блеск характерен для минералов, дающих цветную или белую черту.

К разновидностям неметаллических блесков относятся:

– *алмазный* – сфалерит, киноварь;

– *стеклянный* – кварц, флюорит, корунд, гранаты, кальцит;

– *восковой* – серпентин, халцедон;

– *жирный* – нефелин, кварц в изломе, галит;

– *шелковистый* – хризотил-асбест, гипс волокнистый;

– *перламутровый* – гипс пластинчатый, мусковит;

– *матовый, тусклый* – блеск характерен для минералов, лишенных его (каолинит, боксит, лимонит).

К механическим свойствам относятся спайность, твердость, ковкость, хрупкость, гибкость, упругость.

Спайность – свойство минералов раскалываться по плоскостям, параллельным возможным или действительным граням, с образованием гладких поверхностей – плоскостей спайности.

Спайность может быть в одном или в нескольких направлениях. Например, слюда расщепляется только в одном направлении, а кристаллы кальцита по трем направлениям. Она зависит от строения кристаллической решетки минерала.

Спайность различается по степени ее совершенства:

1. *Весьма совершенная* – минерал легко расщепляется на тонкие пластинки или листочки с ровной зеркальной поверхностью (слюда, тальк, графит).

2. *Совершенная* – минерал при ударе раскалывается по определенным направлениям, образуя ровные поверхности, редко неровные (кальцит, галит – спайность в трех направлениях).

3. *Средняя* – при расколе образуются как ровные поверхности спайности, так и неровные поверхности излома (киноварь, амфиболы).

4. *Несовершенная* – спайность практически отсутствует, при расколе образуется неровный или раковистый излом (кварц, касситерит).

Излом – своеобразная поверхность, образованная при расколе минерала. Среди видов излома различают раковистый (халцедон, опал), занозистый (асбест), ступенчатый (микроклин, кальцит), землистый (каолинит) и т. д.

Твердость – способность минералов сопротивляться механическим воздействиям – царапанью, резанью. Для определения твердости применяют эталонную шкалу, предложенную немецким минералогом Ф. Моосом в 1824 г. В этой шкале, заключающей в себе 10 минералов разной твердости, выраженной в баллах (табл. 2), каждый последующий минерал царапает предыдущий эталон. Минералы с равными значениями твердости не царапают друг друга.

Шкала твердости Мооса

Тальк	1	Полевой шпат	6
Гипс	2	Кварц	7
Кальцит	3	Топаз	8
Флюорит	4	Корунд	9
Апатит	5	Алмаз	10

Твердость имеет огромное практическое значение: минералы с высокой твердостью применяются для полировки металлов, горных пород и минералов (изготовление абразивных материалов).

Ковкость, т. е. вязкость. При определении данного свойства следует помнить, что ковкие минералы (самородные – золото, серебро, медь, сульфид – халькозин) при ударе сплющиваются, при царапании не образуют порошка по краям бороздки, а дают завальцованную канавку (блестящий след). На бискупите они оставляют металлически-блестящую черту.

Хрупкость определяется возникновением трещин при ударе по минералу. Хрупкие минералы крошатся при царапании (пирит, гипс, пентландит).

Гибкость – это способность минерала сгибаться, не давая излома (слюда, тальк).

Из прочих свойств, используемых для определения минералов, следует отметить магнитность, вкус, запах, растворимость в воде и кислотах, удельный вес (плотность).

Магнитность – это свойство, присущее некоторым железосодержащим минералам (магнетит, ильменит, пирротин). Определяется с помощью магнитной стрелки компаса.

Вкус характерен для некоторых хорошо растворимых в воде солей: галит имеет соленый вкус, а сильвин – горько-соленый.

Запах довольно характерное свойство для самородной серы при ее горении, а у минерала арсенопирита при ударе ощущается чесночный запах.

Реакция с разбавленной соляной кислотой является характерным диагностическим свойством для минералов класса карбонатов. Реакция протекает по следующей схеме:



где Me^{2+} – катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} .

Плотность (удельный вес) измеряется в граммах на кубический сантиметр.

Минералы по плотности подразделяются следующим образом:

– на *тяжелые* – выше 4 г/см^3 (барит, рудные минералы железа, меди, ртути и свинца);

– *средние* – от $2,5$ до 4 г/см^3 (кальцит, кварц, полевые шпаты, флюорит, корунд, магнезит, роговая обманка, сфалерит и т.д.);

– *легкие* – минералы с плотностью до $2,5 \text{ г/см}^3$ (гипс, галит, графит, сера и др.).

При макроскопическом определении плотность устанавливается путём сравнительного «взвешивания» близких по размеру различных минералов на ладони с оценкой «легкий», «тяжелый», «средний».

2.3. Классификация и характеристика минералов

Современная классификация минералов основывается на особенностях химического состава и кристаллической структуры вещества. По химическому составу и кристаллическому строению все известные минералы разбиваются на несколько классов, из которых важнейшими являются: 1 – самородные элементы, 2 – сульфиды (халькогениды), 3 – оксиды и гидроксиды, 4 – галогениды, 5 – соли кислородных кислот (карбонаты, сульфаты, фосфаты, вольфраматы, силикаты). Их свойства сведены в таблицу (табл. 3).

2.4. Методика выполнения лабораторных работ в разделе «Минералогия»

Лабораторные работы по минералогии проводятся с использованием каменного материала тематических и раздаточных учебных коллекций и необходимого инвентаря для определения минералов (шкала Мооса, фарфоровая пластинка – «бисквит», магнитная стрелка, 10 %-ная соляная кислота, стекло).

Цель лабораторной работы 3: определить морфологию природных минералов и их физические свойства.

При подготовке к этой работе требуется изучить соответствующие разделы данных методических указаний. Порядок выполнения работы следующий:

1. В предложенных образцах минералов определить характер агрегата и, если возможно, формы единичных кристаллов.
2. Для конкретного минерала установить цвет, цвет черты, блеск и прозрачность.
3. Выявить отсутствие или наличие спайности (в средне- крупнозернистых агрегатах) и излом минералов.
4. Определить твёрдость минералов при помощи эталонных минералов шкалы Мооса или заменителей.
5. Приблизительно установить удельный вес минерала, взвешивая его на руке: лёгкий, средний, тяжёлый, очень тяжёлый.
6. Определить особые свойства минералов: вкус, запах, магнитность, гибкость, упругость, ковкость, реакцию с соляной кислотой.

Таблица 3

Характеристика минералов

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
1. Класс самородных элементов									
Золото Au	Зёрна неправильной формы, дендриты, пластины, самородки	Золотисто-жёлтый	Золотисто-жёлтая, блестящая	Металлический	Нет, крикокатый излом	2,5–3,0	19,7	Золотисто-жёлтый цвет, низкая твёрдость, тяжёлый удельный вес, ковкость	В валютном, ювелирном, в зубо-врачебной технике, приборостроении
Графит C	Тончайшие пластинки, листочки	Стально-серый до черного	Серовато-черная, блестящая	Металловидный	Совершенная	1	2,2	Стально-серый цвет, мягкий – царапается ногтем, пишет на бумаге, лёгкий	В металлургии как формовочный материал, в полиграфической и атомной промышленности (графитовые замедлители)
Сера S	Кристаллы и зернистые массы	Лимонно-желтый	Бесцветная, желтоватая	Стекланный, жирный	Несовершенная, раковистый	1-2	2,1	Ярко-желтый цвет, хрупкий, лёгкий удельный вес	В резиновой, химической промышленности, в сельской отрасли

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
2. Класс сульфидов									
Киноварь HgS	Чаще вкрапления неправильных зерен	Красный, иногда свинцово-серой бежалостью	Красная	Алмазный	Совершенная	2,0 – 2,5	8,0 – 8,6	Красный цвет, красная черта, низкая твердость, тяжелый	Основной источник получения ртути
Галенит PbS	Зернистые массы	Свинцово-серый	Серовато-чёрная	Металлический	Весьма совершенная по кубу	2-3	6,5	Цвет, сильный металлический блеск, спайность по кубу, низкая твердость, тяжёлый	Важнейшая руда на свинец
Сфалерит ZnS	Сплошные зернистые массы	От черного до светло-коричневого, жёлтого	Светло-коричневая, жёлтая до бесцветной	Алмазный	Весьма совершенная	3,5-4	3,9-4,2	Изометричные зёрна, весьма совершенная спайность, алмазный блеск, цвет черты	Главная руда на цинк, попутно извлекаются редкие металлы (кадмий, индий, галлий)
Пирит FeS ₂	Кубические кристаллы, сплошные зернистые массы	Светлый, лагунно-жёлтый	Чёрная	Металлический	Нет, неровный излом	6,0-6,5	4,9-5,2	Лагунно-жёлтый цвет, кубические кристаллы, царапает стекло	Основное сырьё для изготовления серной кислоты

Продолжение табл. 3

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
Халькопирит CuFeS_2	Сплошные зернистые массы и в виде вкраплений	Латунно-жёлтый, иногда с побежалостью	Черная с зеленоватым оттенком	Металлический	Несовершенная	3-4	4,1-4,3	Латунно-жёлтый, зеленоватый цвет, иногда синевато-фиолетовая побежалость	Основная руда на медь
Пирротин FeS	Сплошные зернистые массы	Тёмный бронзово-жёлтый	Серовато-чёрная	Металлический	Несовершенная	4	4,6-4,7	Бронзово-жёлтый цвет, слабая магнитность и отсутствие спайности	Сырьё для производства серной кислоты
Пентландит $(\text{Fe, Ni})_9\text{S}_8$	Вкрапления зёрен в пирротиновых рудах	Светлый бронзово-жёлтый	Чёрная с зеленоватым оттенком	Металлический	Совершенная	3-4	4,5-5,0	Бронзово-жёлтый цвет и наличие ровных зеркально гладких плоскостей спайности	Главный промышленный минерал никеля
Молибденит MoS_2	Листоватые, веерообразные или чешуйчатые агрегаты	Свинцово-серый, слегка голубой отенок	Серая, при растирании бумаги зеленеет	Металлический	Весьма совершенная	1	4,7-5,0	При растирании черты на бумаге остаются серые с болотно-зеленым оттенком цвет. От графита отличается тяжёлым удельным весом, мягкий	Руда на молибден – важнейший элемент сталелитейной промышленности

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Слайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
Антимонит Sb_2S_3	В виде хорошо образованных призматических кристаллов, спутанно-игльчатых агрегатов	Свинцово-серый	Темно-серая	Металлический	Совершенная	2–2,5	4,5	Характерная игльчатая морфология агрегата	Основная руда, из которой извлекают сурьму, используют для получения сплавов, в химической, военной промышленности и медицине
Арсенопирит $FeAsS$	Сплошные массы, включения в виде зернистых и шестоватых агрегатов	Оловянно-белый	Черная, серо-черная	Металлический	Неровный	5,5	5,9–6,2	Оловянно-белый цвет, при ударе стальным предметом ощущается чесночный запах	Главная руда на мышьяк
Борнит Cu_5FeS_4	Кристаллы редки, обычно сплошные массы и в виде вкраплений	Темный медно-красный, обычно с синей побежалостью	Серовато-черная	Металлический до полуметаллического	Нет	3	4,9–5	Часто чернильного цвета по бежалость	Богатая руда на медь

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
3. Класс оксидов и гидроксидов									
Кварц SiO_2	Шестигранные призмы, друзы, щетки, сплошные кристаллические массы; халцедон – скрытокристаллический	Белый, серый, горный хрусталь – бесцветный, амethyst – фиолетовый, раухтопаз – дымчатый, морион – чёрный	Нет	Стеглянный, в изломе жирный	Весьма несовершенная, излом раковистый, неровный	7	2,5–2,7	Призматические кристаллы и их сростки, отсутствие спайности, твердость 7, стеклянный, иногда жирный на изломе блеск	Оптика, радиотехника, стеклотехника, керамическая промышленность, ювелирное дело
Гематит Fe_2O_3	Тонкоцветчатые образования («железная слюдка»), плотные, зернистые агрегаты	Темно-красный, стальной, серый, до чёрного	Вишнёво-красная	Металлический, металло-видный	Нет	5–6	5,2	Вишнёво-красная черта	Руда для получения железа, изготовления краски (сурик) и карандашей
Магнетит FeFe_2O_4	Сплошные мелкозернистые массы, октаэдры	Железо-чёрный	Чёрная	Полуметаллический	Нет, излом неровный	5,5–6	5–5,2	Чёрный цвет, чёрная черта, сильная магнитность	Важнейшее сырьё для выплавки чугуна и стали
Хромит FeCr_2O_4	Сплошные зернистые агрегаты, октаэдры	Чёрная	Бурая	Металло-видный	Нет, излом неровный	5,5–6	4,5–4,8	Чёрный цвет, бурая черта	Руда для выплавки феррохрома и металлургического хрома

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
Боксит $Al_2O_3 \cdot nH_2O$	Сплошные, плотные и землистые массы, оолитовые агрегаты	Коричнево-красный, белый, желтый, розоватый	Бледнее цвета в образце	Матовый, тусклый	Землистый излом	1–5	2,5–3,5	Оолиты, кирпично-красные и розоватые оттенки цвета	Важнейшая руда на алюминий
Пиролузит MnO_2	Сплошные скрытокристаллические, сажи-стые апресы, оолиты	Черный	Черная	Матовый или полуметаллический	Совершенная, неровный	От 1–2 до 6,5	4,7–5,0	Черный цвет, чёрная черта, хрупкий; сажи-стый – пачкает руки	Важнейшая руда на марганец
Лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	Корки, плёнки, плотные массы, псевдоморфозы по пириту,	Охристо-желтый, от бурого до черного	Бурая, желтовато-бурая	Матовый	Нет	До 5	2,7–4,3	Характер агрегатов, охряно-жёлтый цвет, бурая черта	Важная руда на железо, в красочном производстве
4. Класс галоидных соединений									
Галит $NaCl$	Кубические кристаллы, зернистые массы	Бесцветен, белый, серый, красный	Белая	Стекланый, жирный	Весьма совершенная по кубу	2	2,1–2,2	Низкая твердость, растворим в воде, имеет соленый вкус	В пищевой и химической промышленности
Флюорит CaF_2	Кубы, октаэдры, вкрапления, зернистые массы	Фиолетовый, белый, зеленый, серый, жёлтый	Белая или бледно-фиолетовая	Стекланый	Совершенная	4	3–3,2	Форма агрегатов, спайность, твердость 4	Для получения легкоплавких шлаков, изготовления фтористых соединений, плавиковой кислоты, в оптике

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
5. Класс карбонатов									
Кальцит CaCO_3	Ромбоэдри, сплошные, зернистые агрегаты, включения	Бесцветный, белый, серый, розоватый и др.	Белая	Стекланый, матовый	Совершенная по ромбодру	3	2,6–2,8	Бурная реакция с HCl спайность, твердость 3	Оптика, химическая, металлургическая промышленности, парфюмерия
Доломит $\text{Ca, Mg}[\text{CO}_3]_2$	Ромбоэдри, зернистые массы	Белый, кремовый, серый	Белая	Стекланый, матовый	Совершенная	3,5–4	2,8–2,9	Реакция с HCl в порошке	В металлургии (флюсы), в производстве огнеупоров
Магнезит MgCO_3	Крупнозернистые агрегаты, фарфоровидные, скрытокристаллические массы	Белый, серый	Белая	Стекланый, матовый	Совершенная, раковистый излом	4–4,5	2,9–3,1	Реакция с HCl (подогретой), форма агрегатов и агрегатов	Строительство, абразивная промышленность, бурное производство
Малахит $\text{CuCO}_3 \times \text{Cu(OH)}_2$	Обычно натечные формочки, корочки, примазки	Зеленый, изумрудный	Бледно-зелёная	Стекланый, шелковистый	Средняя, неровный	3,5–4,0	3,9–4,1	Зелёный цвет, форма выделения, вскипание с HCl	Руда на медь, для изготовления краски, как поделочный камень
6. Класс фосфатов									
Апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \times \text{F, Cl, OH}$	Призматический облик кристаллов, мелкозернистые, сахаровидные массы	Голубовато-зелёный, светло-зелёный до белого	Белая	Стекланый	Несовершенная, излом неровный	5	3,2	Твердость 5, призматические, игольчатые кристаллы, часто сахаровидные массы	Для получения удобрений, фосфатов, в металлургии, стекольной промышленности

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
7. Класс сульфатов									
Гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Табличатые, пластинчатые, волокнистые кристаллы, мелкозернистые массы	Белый, бесцветный, серый	Белая	Стеклообразный	Совершенная	1,5–2	2,3	Царапается ногтем, форма кристаллов, спайность	В строительстве, оптике, медицине
Барит BaSO_4	Табличатые, пластинчатые, зернистые агрегаты	Белый, серый, желтый, бурый	Белый	Стеклообразный	Совершенная	3–3,5	4,7	Большой удельный вес	Для изготовления белой краски, химических препаратов
8. Класс вольфрамов									
Вольфрамит (Mn, Fe) WO_4	Призматические кристаллы	Буровато-чёрный	Бурая, светлоржавная	Жирный до алмазного	Совершенная	4,5–5,5	7,0	Цвет черты, большая плотность	Ценный промышленный минерал – основной источник вольфрама
9. Класс силикатов									
Оливин (Mg, Fe) $_{2}[\text{SiO}_4]$	Сплошные зернистые агрегаты, изометричные кристаллы редки	Оливково-зелёный до чёрного	Нет	Стеклообразный	Несовершенная	6,5–7,0	3,2–4,4	Округлые зёрна, зеленоватый цвет	Хризолит – в ювелирном деле, огнестойкий, слагает ультраосновные магматические породы
Группа гранатов $\text{A}_3\text{B}_2[\text{SiO}_4]_3$ $\text{A}^{\text{II}}\text{-Ca, Mg, Fe; B}^{\text{III}}\text{-Al, Cr}$	Изометричные кристаллы в форме ромбоэдра	Красно-бурый, светло-зелёный, чёрный, малиновый	Нет	Стеклообразный	Нет, неровный излом	6,5–7,5	3,5–4,2	Изометричные кристаллы с гранями ромба или пятиугольника, высокая твердость	Ювелирное дело, абразивный материал, минерал таморфических пород

Продолжение табл. 3

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
Группа пироксенов CaMg [Si ₂ O ₆] Диоксид Сподоумен	Коротко-столбчатые, шестоватые зёрна и кристаллы. Уплощенные у сподоумена	Зелёный, от светлого зелёного до чёрного, кремовый, серый	Нет либо светло-зеленая	Стекло-стеклянный	Совершенная по призме под углом 87° – 93°	5,5–6,0	3,2–3,6	Серая и тёмная окраска с зелеными оттенками, угол спайности почти прямой	Породообразующие минералы магматических и метаморфических пород. Сподоумен – рудолития
Группа амфиболов R ₇ (OH) ₂ [Si ₄ O ₁₁] ₂ R=Ca, Mg, Fe, Na Актинолит Роговая обманка	Удлиненно-призматические, игольчатые, спунно-волонкнистые кристаллы	Чёрный	Нет или зеленоватая	Стекло-стеклянный	Совершенная по призме под углом 124°	5,5–6,0	3,1–3,3	Серая и тёмная окраска, тупой или острый угол спайности	Породообразующие минералы магматических и метаморфических пород. Нефрит используется как поделочный камень.
Группа слюд	Чешуйчатые, листоватые, таблитчатые	Мусковит – серебристо-белый, биотит – коричневый, лейколин – сиреневый	Нет	Стекло-стеклянный, перламутровый	Весьма совершенная в одном направлении	2–3	2,7–3,2	Расщепляется на тонкие листочки, чешуйки	Изоляция, тугоплавкий материал, слагает метаморфические породы

Окончание табл. 3

Минерал	Морфология	Цвет	Черта	Блеск	Спайность, излом	Твёрдость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}(OH)_8]$	Плотные массы, иногда с прожилками хризотил – асбеста	Зеленый с различными оттенками	Светлая, зеленоватая	Восковой, жирный, шелковистый	Совершенная в одном направлении	2,0–3,0	2,5–2,7	Зеркала скольжения, восковой блеск. Частично с волокнистым асбестом	Поделочный камень, огнеупорный, теплоизоляционный материал, для получения магнезия
Калиевые полевые шпаты (КПШ) $K[AlSi_3O_8]$	Призматические, таблитчатые кристаллы	Мясо-красный, розовый, белый, кремовый; амазонит – зеленый	Белая	Стекло-ный	Совершенная в двух направлениях	6,0–6,5	2,6	Цвет, твердость 6, спайность	При изготовлении фарфора, фаянса, стекла. Амазонит – поделочный минерал
Плагиоклазы $Na[AlSi_3O_8]$ - $Ca[Al_2Si_2O_8]$	Призматические, таблитчатые зёрна, сахаровидные массы	Белый - альбит, серый до черного - лабрадор	Белая	Стекло-ный	Совершенная в двух направлениях	6,0–6,5	2,6	Цвет, тонкая вертикальная штриховка на плоскости спайности, иризация в лабрадоре	Породообразующие минералы, лабрадор – облицовочный камень
Нефелин (Na,K) $[AlSiO_4]$	Таблитчатые кристаллы, сплошные массы	Серый, бурый, розоватый и т. д.	Нет	Жирный, тусклый	Несовершенная	5,5-6	2,6	Отсутствие спайности, жирный блеск, форма зёрен	Руда на алюминий, в керамической, стекловой промышленности

Цель лабораторных работ 4–8: изучить морфологию и физические свойства минералов по классам, используя тематические учебные коллекции, и провести диагностику минералов по отличительным признакам классов и особенностям каждого минерала внутри класса.

После изучения минералов проводится контрольная работа по определению минералов, в которую включают 5–7 образцов, содержащих минералы разных классов. Для каждого минерала дается описание его морфологии и диагностических признаков, по которым минерал определен. Указывается состав и применение минералов.

3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Горные породы – это полиминеральные агрегаты определенного состава и строения, сформировавшиеся в результате геологических процессов и залегающие в земной коре в виде самостоятельных тел различной формы – слоев, пластов, линз, массивов и т. д. Наука, которая изучает горные породы, их состав, строение и происхождение называется *петрографией* (от греч. *петрос* – камень).

В зависимости от характера геологических процессов все горные породы относятся к трем основным типам:

- **магматические** (изверженные) – образовавшиеся при затвердевании остывающей магмы в недрах или на поверхности Земли;

- **осадочные** – сформированные на суше и в водной среде в результате различных экзогенных процессов;

- **метаморфические** – возникшие в результате преобразования первичных пород (осадочных и магматических) под воздействием температуры (T), давления (P) и флюидов (F) преимущественно водно-углекислых жидких или газовой-жидких.

Распространение пород неодинаково. Подсчитано, что литосфера на 92 % сложена магматическими и метаморфическими породами и только 8 % составляют осадочные породы. Земная поверхность покрыта осадочными породами (75 %) и только 25 % приходится на долю магматических и метаморфических пород.

Горные породы могут быть *мономинеральными*, состоящими из одного минерала (например, мрамор, кварциты) и *полиминеральными*, состоящими из нескольких минералов (например, гранит, диорит, полимиктовый песчаник).

Породообразующие минералы делятся на *салические* (светлоокрашенные) и *фемические* (темноцветные). Другие минералы встречаются в природе значительно реже, содержатся не во всех горных породах, явля-

ются *второстепенными*. Выделяют ещё *акцессорные* (от лат. *accessories* – приходящий) минералы. Они присутствуют в очень небольшом количестве, например, циркон, титанит и др. или рудные минералы (магнетит, хромит, пирит и др.).

Внутреннее строение горных пород определяется структурой и текстурой.

Структура – особенности внутреннего строения горной породы, обусловленные размерами и формами минеральных зерен, их взаимоотношениями, а также степенью кристалличности породы. Последнее свойство особенно справедливо только для магматических пород. Структура обусловлена процессами минералообразования.

Текстура – особенности сложения горной породы, обусловленные способом и степенью заполнения пространства и расположением минералов в пространстве. Текстуры формируются при перемещении и преобразовании вещества в процессе становления породы.

Текстура отражает такие внешние особенности горных пород, как ориентировка минеральных зерен, пористость, полосчатость, слоистость и т. д.

3.1. Магматические горные породы

Магматические горные породы образуются путем кристаллизации магмы – огненно-жидкого силикатного расплава, насыщенного газами. По условиям образования они делятся на 3 класса.

1. Плутонические – образовавшиеся при кристаллизации магмы на глубине свыше 3 км;

2. Гипабиссальные – производные кристаллизации магматических расплавов на относительно небольших глубинах и по условиям формирования и, соответственно, по структурным признакам являются промежуточными между плутоническими и вулканическими.

3. Вулканические – возникшие при быстром остывании лавы – магмы, лишённой газов и представляющую раскалённую жидкую массу, вытекающую на дневную поверхность при извержении вулканов.

Магматические породы образуют объёмные геологические тела определенной формы и размера. Плутонические (интрузивные) массивы характеризуются следующими формами тел:

батолит – крупное магматическое тело, уходящее на большую глубину и имеющее площадь выхода до сотен тысяч квадратных километров.

шток – изометричной формы в плане тело по площади до 100 км².

лакколит – грибообразные тела диаметром 3-6 км при мощности до первых тысяч метров.

лополит – межпластовое чашеобразное тело с вогнутой кровлей, обусловленной прогибанием подстилающих слоев.

К гипабиссальным и жильным породам (находящимся между глубинными и излившимися породами) относятся нижеперечисленные формы:

дайка – плитообразное магматическое тело, возникшее при заполнении магмой субвертикальных трещинных полостей.

силл – залежь мощностью в несколько сотен метров пластовой или плоско-линзовидной формы, залегающая параллельно слоистости вмещающих пород.

жила – отличается от дайки меньшими размерами и извилистой неровной формой с выклиниванием у окончаний и пологим залеганием.

Вулканические (эффузивные) породы образуют *покровы* – плоские тела или так называемые базальтовые плато значительного площадного распространения и *потоки* – узкие тела удлиненной формы, возникающие при выходе лав на неровную поверхность земли.

Магматические горные породы характеризуются определённой текстурой и структурой.

По наличию или отсутствию пустот, их размерам различают следующие **текстуры** магматических горных пород:

- 1) *плотную*, компактную (без пустот);
- 2) *пористую* (пустотами различных размеров);
- 3) *миндалекаменную* (с пустотами, заполненными минералами постмагматического происхождения – карбонатами, цеолитами, халцедоном и др.).

Пористая и миндалекаменная текстуры свойственны вулканическим породам.

По расположению минералов в породе выделяют текстуры:

- 1) *массивную* (однородную) – отличается беспорядочным расположением минералов;
- 2) *шлировую* (такситовую) – минералы распределены неравномерно, имеются участки (шлиры), обогащенные цветным минералом;
- 3) *полосчатую* – в породе имеются полосы различного минералогического состава, чередующиеся между собой.

Структуры магматических горных пород (табл. 4) классифицируются по степени кристалличности, абсолютному и относительному размеру зерен минералов и характеру их взаимоотношений.

Отряды магматических горных пород. В основу выделения отрядов положен химический состав магматических горных пород, выражающийся в виде процентного содержания петрогенных (т. е. образующих породы) основных окислов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O .

Поскольку кремнезём (SiO_2) преобладает среди всех остальных окислов, то именно его содержание положено в основу классификации магматических пород по химическому составу. В различных петрографических источниках количество «кремнекислоты» может незначительно варьировать (табл. 5).

Таблица 4

Основные структуры магматических пород

Признак структуры	Название структур		Краткая характеристика структур
	Глубинных (плутонических) пород	Излившихся (вулканических) пород	
Степень кристалличности	Полнокристаллическая		Отсутствие вулканического стекла, имеются визуально различимые кристаллические зерна
		Неполнокристаллическая	Зёрна минералов, вкрапленные в вулканическом стекле
		Стекловатая	Преобладает стекло
Абсолютные размеры зерен	Гигантозернистая		Размер зерен более 20 мм
	Крупнозернистая		5–20 мм
	Среднезернистая		2–5 мм
	Мелкозернистая		До 2 мм, но зёрна различимы для глаза
		Афанитовая	Макроскопически зёрна не различимы
Относительные размеры зерен	Равномернозернистая		Зёрна примерно одинаковы по размерам
	Неравномернозернистая (порфиоровидная)		Вкрапленники на фоне различимозернистой основной массы
		Неравномернозернистая (порфиоровая)	Вкрапленники на фоне афанитовой или стекловатой основной массы
Расположение зерен относительно друг друга	Пегматитовая		Закономерные вросстки одного минерала в другом

Таблица 5

Классификация магматических пород по содержанию SiO₂, %

Отряды пород	Классификация (в сокращенном варианте)	
	по Петрографическому кодексу России	по А.Н. Заварицкому
Ультраосновные	30–45	< 45
Основные	45–53	45–52
Средние	53–64	52–65
Кислые	65–78	65–75

Подотряды магматических горных пород. Породы каждого из отрядов (от ультраосновных к кислым) разделяются по общей щелочности на подотряды: нормально-щелочной, умеренно-щелочной и щелочной. Значения суммы щелочей (Na₂O + K₂O) для пород каждого из подотрядов различны для пород разных отрядов и изменяется от 0 до 20 %.

В природе наиболее распространены породы нормально-щелочного подотряда, в меньшей степени встречаются породы умеренно-щелочного и щелочного подотрядов.

Для упрощенного подхода к изучению видов магматических горных пород предлагается на первое место ставить название плутонической породы (например, диорит), а на второе – название ее вулканогенного анало-

га (например, андезит). Плутонические и вулканические аналоги имеют одинаковый химический и минеральный состав, но разные текстурно-структурные особенности.

Ультраосновные породы – группа перидотита-пикрита (плутоническая – вулканическая порода). Породы этой группы бесполевошпатовые, имеющие темную окраску и высокую плотность (3,0–3,4), так как состоят из тяжелых феррических минералов: оливина, роговой обманки и пироксена. По минеральному составу различают дуниты, пироксениты и перидотиты (табл. 6).

Таблица 6

Классификация и состав важнейших магматических пород

Отряды магматических горных пород	Видовые наименования пород		Минералы		Полезные ископаемые
	Плутонические	Вулканические	Главные	Второстепенные и аксессуарные	
Ультраосновные	Дунит	–	70–100 % оливина, 0–30 % пироксена	Магнетит, хромит, ильменит, пирротин (~1–3 %)	Асбест, тальк, алмазы, руды меди, железа, никеля, платины, хрома и т. д.
	Перидотит	Пикрит	30–70 % оливина, 30–70 % пироксена		
	Пироксенит	–	70–100 % пироксена, 0–30 % оливина		
Основные	Габбро	Базальт	50–70 % пироксена, иногда амфибола 30–50 % плагиоклаза	Магнетит, титанит, ильменит, пирротин, пентландит (~1–6 %)	Руды меди, никеля, титана
Средние	Диорит	Андезит	50–70 % плагиоклаза, иногда КПШ, 30–50 % роговой обманки, реже пироксена	Кварц 0–15 %, КПШ 0–5 %,	Руды меди, золота, железа
Умеренно-щелочной	Сиенит	Трахит	70–80 % КПШ, 10–30 %, 20–30 % амфибола (реже биотита) и 20–30 % пироксена	Кварц, циркон, сфен, апатит	Строительный, облицовочный материал
Щелочной	Нефелиновый сиенит	Фонолит	50–60 % щелочных полевых шпатов, 30–40 % нефелина, 10–20 % амфибола и пироксена	Циркон, апатит	Глинозём, фосфат, редкие земли
Кислые	Гранит	Риолит, пемза, обсидиан	25–30 % кварца, 40–60 % КПШ, 10–20 % плагиоклаза, 5–10 % слюды, (реже амфиболы)	Циркон, титанит, апатит, магнетит	Руды золота, вольфрама, олова, молибдена, серебра и т. д.

Перидотиты – породы, состоящие из равного количества оливина (желтовато-зеленые зерна неправильной формы) и пироксена (таблитчатые кристаллы черного цвета). Структура полнокристаллическая, средне- и крупнозернистая, цвет темно-зеленый до черного.

Дуниты – почти мономинеральные, наиболее распространенные плутонические породы, состоящие из оливина. Они обычно имеют тонкую желтовато-бурую корочку выветривания. Структура полнокристаллическая.

Пироксениты – породы, состоящие, как и перидотиты из оливина и пироксена, последний минерал является преобладающим. Структура полнокристаллическая, средне- и крупнозернистая, цвет черный.

Вулканические ультраосновные породы редки, из-за вязкости магм, не достигающих дневной поверхности, представлены **пикритами**, аналогами перидотитов.

Кимберлиты представляют собой вулканическую брекчию, голубовато- и зеленовато-серой окраски, состоящую из обломков ультраосновных пород, чаще всего пироксенитов, сцементированных серпентинизированной сильно карбонатизированной массой. Кроме серпентина в основной массе присутствуют зерна пироксена, граната (пироба), оливина, ильменита, биотита, хромита и нередко алмаза. Форма тел кимберлитов – жильная, трубообразная.

Основные породы – группа габбро-базальта. Это полевошпатовые породы с содержанием темноцветных минералов 45–50 %. Главными породообразующими минералами являются основной плагиоклаз и пироксен (изредка к ним добавляются оливин, роговая обманка и биотит). К плутоническим породам относятся габбро, лабрадориты, вулканическим – базальты, базальт-порфириты. Среди жильных образований наиболее распространен долерит.

Габбро – плутонические породы полнокристаллической структуры, сложенные почти на 50 % таблитчатыми кристаллами плагиоклаза серого и зеленовато-серого цветов, просвечивающихся в краях, и пироксеном (авгитом). В качестве акцессорных минералов присутствуют магнетит, апатит, ильменит, иногда хромит. Текстура габбро обычно массивная, иногда пятнистая или полосчатая, обусловленная чередованием полос плагиоклаза и темноцветных минералов.

Лабрадориты – мономинеральные породы, состоящие почти полностью из лабрадора. В отдельных зернах лабрадора наблюдается иризация.

Базальты – породы от темно-серого до черного цвета, мелкозернистой, афанитовой структуры, пористой или миндалекаменной текстуры. Во вкрапленниках преобладают темноцветные минералы. По составу они аналогичны габбро, но часто содержат вулканическое стекло. Излом шероховатый за счет мелкой пористости.

Базальтовые порфириты отличаются от базальтов тем, что в них существенно развиты вторичные минералы – хлорит, альбит и вторичная роговая обманка. В порфировых выделениях – плагиоклазы и пироксены.

Сравнительно крупнокристаллический базальт, не содержащий вулканического стекла, называют *долеритом*. Он часто слагает силлы.

Средние породы отличаются от предыдущих групп более светлой окраской. Темноцветных минералов в породах до 30 %. По содержанию ($K_2O + Na_2O$) выделяют породы нормально-щелочного, умеренно-щелочного и щелочного подотрядов.

Породы *нормально-щелочного* подотряда (плагиоклазовые) представлены группой диорита-андезита. Состоят они из среднего плагиоклаза и роговой обманки.

Диориты – плутонические породы пестрой или серой с зеленоватым оттенком окраски, обычно среднезернистой, редко порфировидной структуры. Текстура, как правило, массивная.

Андезиты – неизменные вулканические породы серого или серовато-лилового цвета порфировой либо скрытокристаллической структуры. В порфировых вкрапленниках обычно встречается плагиоклаз и роговая обманка. От базальтов отличается более светлой окраской.

Породы *умеренно-щелочного* подотряда (калишпатовые) представлены группой сиенита-трахита.

Сиениты – плутонические породы, серого розоватого цвета, состоящие в основном из калиево-натриевых полевых шпатов (80–85 %) и содержащие 15–20 % темноцветных минералов (роговой обманки, биотита, пироксена). Кварц может присутствовать в незначительном количестве.

Трахиты – неизменные вулканические породы светлой окраски, нередко порфировой структуры с вкрапленниками свежих неизменных полевых шпатов, реже темноцветных минералов.

Породы *щелочного* подотряда представлены группой нефелинового сиенита-фонолита.

Нефелиновые сиениты – плутонические бескварцевые полнокристаллические породы серого, грязно-розового, грязно-зеленого цвета, состоящие из нефелина (до 30 %), КПШ (60 %), щелочных пироксенов и амфиболов (10 %). Нефелин диагностируется по шестиугольным и прямоугольным сечениям.

Кислые породы имеют светлую окраску. Определяющим минералом в их составе является кварц (каждое третье или четвертое зерно). Содержание темноцветных минералов – 5–10 %. Представлены группой гранита-риолита.

Граниты – плутонические породы разнообразной окраски, полнокристаллической структуры, состоящие из кварца (25–30 %), калиево-натриевых полевых шпатов, плагиоклаза (65–70 %), а также подчиненного количества темноцветных компонентов – слюд, роговой обманки (до 5–10 %).

Риолиты – неизменные вулканические аналоги гранитов светло-серой, серой окраски, неполнокристаллической афанитовой структуры. Разности риолитов, имеющие стекловатую структуру, называют обсидианами. Они чаще бурого, коричневого и черного цвета с раковистым изломом. Светлые, пористые и поэтому очень легкие кислые вулканические породы подводных излияний называются пемзами.

Для жильных и дайковых тел характерны аплиты и пегматиты.

Аплиты являются продуктом кристаллизации остатков гранитной магмы. Они имеют мелкозернистую структуру.

Гранитные пегматиты очень схожи по химическому составу с аплитами, но имеют грубую гигантозернистую, а в случае прорастания кварца и полевого шпата – пегматитовую (графическую) структуру. Помимо основных породообразующих минералов (полевых шпатов, кварца, мусковита), в пегматитах присутствуют в значительном количестве минералы, содержащие летучие компоненты: берилл, топаз, турмалин, лепидолит и др.

3.2. Осадочные горные породы

Осадочные породы формируются из продуктов разрушения любых других горных пород, осадков минеральных веществ и продуктов жизнедеятельности организмов в результате действия экзогенных процессов на поверхности Земли (на суше или в водных бассейнах).

По среднему химическому составу осадочные породы близки к магматическим, вследствие происхождения их в основном из продуктов выветривания магматических пород.

По минералогическому составу они резко отличаются от магматических горных пород. Состоят они в основном из карбонатов (кальцит, доломит); сульфатов (гипс, ангидрит); фосфатов, оксидов железа, марганца, алюминия и глинистых минералов. Кроме минералов осадочные породы часто содержат органические остатки. Окраска осадочных пород обусловлена их составом – окраской минералов и примесей. Окрашивающими примесями часто являются гидрооксиды железа (желто-бурые цвета), органические вещества (темно-серый), углистые частицы, оксиды марганца (черный).

По условиям образования осадочные породы подразделяют на следующие группы:

- **вулканогенно-обломочные** (пирокластические), образовавшиеся при осаждении продуктов вулканических извержений;
- **обломочные** (терригенные), возникшие в результате механического разрушения ранее существовавших горных пород, переноса и отложения их обломков;

– **хемогенные и органогенные** (биохемогенные). Хемогенные породы являются результатом выпадения осадков при химических реакциях из вод морей, озер и других водоемов. Органогенные породы образуются из биомассы вымерших животных и растений.

По месту образования осадочные породы подразделяются на морские (прибрежные, мелководные и глубоководные), лагунные и континентальные (пресноводные, ледниковые, эоловые).

Текстуры осадочных горных пород. Одним из наиболее характерных признаков осадочных горных пород является способ их сложения, который характеризует условия осадконакопления, и изменения этих условий во времени. Различают следующие текстуры осадочных образований:

1. *Слоистая*, представляющая собой чередование пластов различного состава или различной структуры. В отличие от полос слои имеют отчетливо выраженную подошву и кровлю. Нередко порода раскалывается на отдельные плитки вдоль границ слоев. Характер слоистости определяется условиями накопления осадка: в морях и озерах образуется параллельная слоистость, в водных потоках – косая, в прибрежно-морских условиях – диагональная;

2. *Поверхности слоя* (знаки ряби, прибоя, капель дождя, трещины усыхания и т. д.). По этой текстуре восстанавливают условия формирования горных пород;

3. *Массивная*, характерная для осадочных пород различного происхождения, составные части которых распределены равномерно и мало чем отличаются друг от друга;

4. *Пористая*, выражающаяся наличием пустот, пор и трещин. Она характерна для пород гипергенного, терригенного, органогенного и вулканогенно-обломочного происхождения.

Структуры осадочных горных пород. Они определяются условиями образования, поэтому зависят от принадлежности пород к той или иной генетической группе.

Вулканогенно-обломочные (пирокластические) породы образуются при вулканической деятельности вследствие скопления твердых продуктов извержений, к которым часто примешивается осадочный материал. Породы данной группы разделяются по содержанию вулканогенного материала: 1) *туфы и туфобрекчии* (более 90 % вулканического материала); 2) *туффиты* (менее 50 % осадочного материала), сформированные при смешивании вулканогенного материала с осадочным в условиях водной среды. Структуры пирокластических пород классифицируют по величине обломков:

– *алевритовая*, состоящая из частиц диаметром до 1 мм (рыхлая – *вулканический пепел*, сцементированная – *туф*);

– *псаммитовая* с размером частиц от 1 до 2 мм (рыхлая – *вулканический песок*, сцементированная – *туф*);

– *псефитовая* характеризуется диаметром частиц 2–30 мм (*лапилли*), более 30 мм – *вулканические бомбы*, цементированные – туфобрекчии и туфоконгломераты.

С вулканогенно-обломочными породами связаны крупнейшие месторождения свинцово-цинковых и медных руд, так называемые стратиформные месторождения.

Обломочные (терригенные) породы представляют собой продукты механического разрушения ранее образовавшихся горных пород. На их долю приходится немногим более 20 % всей массы осадочных пород. Это рыхлые или цементированные разности. Под цементом понимают тонкий материал, скрепляющий обломки. Он может быть различным: карбонатным, гипсовым, кремнистым, глинистым, фосфатным и т. д. Если размер обломков горной породы более 2 мм, то учитывается их форма: окатанные, полуокатанные, угловатые. Структуры пород обломочного происхождения характеризуются величиной слагающих их обломков (табл. 7).

Практическое значение терригенных пород велико: они широко используются как строительный материал. С песками связаны россыпные месторождения золота, платины, ильменита, касситерита и т. д.

Таблица 7

Классификация и структуры обломочных пород и накоплений

Структуры	Размеры обломков, мм	Рыхлые породы		Цементированные породы	
		Окатанные	Остроугольные	Окатанные	Остроугольные
Псефитовые (грубообломочные)	> 200	Валуны	Глыбы	Конгломераты валунные	Брекчии глыбовые
	10–200	Галечник	Щебень	Конгломераты галечные	Брекчии
	2–10	Гравий	Дресва	Конгломераты гравийные	
Псаммитовые (песчаные)	1–2 0,5–1 0,25–0,5 0,1–0,25	Пески: грубозернистые крупнозернистые среднезернистые мелкозернистые	–	Песчаники: грубозернистые крупнозернистые среднезернистые мелкозернистые	–
Алевритовые (иловатые)	0,01–0,1	Алевриты: Супеси, суглинки	–	Алевролиты	–
Пелитовые (глинистые)	> 0,01	Пелит (глина)	–	Аргиллиты	–

Хемогенные, органогенные (биохемогенные) породы. Наиболее распространены карбонатные и кремнистые породы. Хемогенные породы образуются из химических остатков истинных или коллоидных растворов. Морская вода является истинным раствором, находящимся в состоянии химического равновесия.

В момент нарушения равновесия начинается выпадение осадка. Нередко граница между хемогенными и органигенными породами весьма условна.

Для пород **хемогенного** и **биохемогенного** происхождения характерны кристаллические структуры:

- *крупнокристаллическая* (более 1 мм),
- *среднекристаллическая* (1–0,1 мм),
- *скрытокристаллическая* (0,1–0,01 мм),
- *пелитоморфная* (менее 0,01 мм).

Если в породах отчетливо видны органические остатки, структуру называют *органигенной*, если эти остатки раздроблены – *детритусовой*.

Карбонатные породы. Наиболее распространенными карбонатными породами являются известняки, мергели и доломиты. Они составляют около 20 % от массы всех осадочных пород.

Известняки сложены в основном из кальцита (CaCO_3), иногда с примесью доломита, реже – песчано-алевритового и пелитового материала. При возрастании процентного содержания доломита порода переходит в доломитовый известняк, а когда содержание доломита превышает 50 % – в доломит известковистый. Благодаря примеси обломочного материала образуются алевритовые, гравийные, песчаные и галечниковые известняки.

Органигенные известняки имеют разнообразное строение. Встречаются коралловые, брахиоподовые, трилобитовые и другие известняки, получившие свое название от соответствующих организмов, входящих в их состав. Своеобразной разновидностью органигенного известняка является *мел* – мягкая плотная порода, состоящая из скоплений скелетов планктонных простейших. Некоторые известняки сложены из обломков тонко измельченных раковин (детритовые известняки), другие – из сцементированных, хорошо сохранившихся раковин (ракушечник). При определении известняков следует использовать соляную кислоту, при воздействии с которой они бурно вскипают.

Мергель – порода, содержащая 50 % кальцита и 25–50 % примеси глины. Структуры известняков и мергелей зернистые различной крупности, редко оолитовые. Текстуры слоистые, массивные. Цвет пород чаще всего серый.

Доломитовые породы состоят из 95 % доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и незначительной примеси кальцита, халцедона, кварца и других минералов. Они обычно желтовато-белого, бурого, серого или светло-жёлтого цвета, кристаллически-зернистые и отличаются от известняков более слабой реакцией с соляной кислотой, протекающей только в порошок.

Кремнистые породы (силициты). К этой группе принадлежат широко распространенные породы, состоящие из опала, халцедона и кварца. Среди них выделяются хемогенные и органические кремнистые породы.

Диатомит – органогенная порода из слабосцементированных скорлупок диатомовых водорослей, белый или светло-желтый, пачкающий руки, легко растирающийся в тонкий порошок.

Трепелы – рыхлые, пористые, реже плотные, состоящие из мельчайших зернышек опала или халцедона раковин радиолярий. По цвету они белые, серые, желтые, бурые, по весу – легкие.

Опоки – плотные породы, состоящие из аморфной опаловой массы и с редкими включениями органогенных остатков. Обладают малым весом, раковистым изломом, издают характерный звон при ударе.

Кремнистые породы распространены менее чем карбонатные. Вышеперечисленные кремнистые породы используются для изготовления некоторых строительных материалов (тепло- и звукоизоляционных), в химической технологии (поглотители, фильтры), а также для производства динамита и пироксилина.

Яшмы – плотные, твердые породы хемогенного происхождения. Основная масса состоит в основном из халцедона и частично кварца с примесями железа, органического вещества, глинистого, карбонатного, пирокластического материала. Структура скрытокристаллическая. Текстура полосчатая, пятнистая, массивная. Имеют разнообразную окраску за счет примесей: красновато-зеленую, черную.

Кремни – породы хемогенного происхождения преимущественно темно-серой или черной окраски, состоящие из халцедона, песка и глинистых минералов, образующие конкреции и желваки (стяжения) в различных осадочных породах.

Породы – руды. За счет дифференциации химических элементов в процессе литогенеза происходит их закономерная концентрация в определенных условиях с образованием месторождений полезных ископаемых.

Железистые руды являются рудами осадочного, преимущественно биохемогенного происхождения. Они состоят из гематита, лимонита, магнетита, гидрогётита, сидерита. По условиям образования железистые породы могут быть прибрежно-морскими, озёрно-болотными, аллювиальными, иногда они связаны с корами выветривания (железные шляпы сульфидных месторождений). Для осадочных месторождений железа типичны плотные массы, чешуйчатые кристаллы, натечные агрегаты (почковидные формы), желваки с характерным ржавым цветом.

Бокситы – основная алюминиевая руда, состоящая в основном из гидроокисей алюминия и железа. Их формирование происходит в условиях жаркого и влажного климата при процессах выветривания и приурочены они к корам выветривания или карстам. Макроскопически представляют собой рыхлые землистые массы белого, желтого и бурого цветов, часто с оолитовой текстурой.

Марганцевые породы содержащие окись марганца более 10 % формируются в морских, реже озерных бассейнах, а также приурочены к ко-

рам выветривания. Перенос марганца осуществляется в ионных и коллоидных растворах. Накопление марганцевых пород происходит часто на значительно большей глубине, чем железистых. В состав руд входят в основном окислы и гидроокислы, например пиролюзит и карбонаты марганца. Пиролюзитовые руды черного цвета, часто с оолитовым строением, землистые сажистые.

Фосфатные породы (фосфориты) представлены образованиями, содержащими около 15–40 % P_2O_5 . Имеют сложное биогенно-хемогенное происхождение. Их характерная составная часть апатитовое вещество, в качестве примеси отмечаются кварц, кальцит, остатки органического вещества. Различают два типа пород: конкреционный и пластовый. Цвет породы темно-серый, почти черный, плотной, слоистой или оолитовой текстуры. Плотность породы свидетельствует о существенном давлении на стадиях преобразования осадка. Фосфатные осадочные породы являются основным источником фосфора для получения фосфорной кислоты, соли которой находят широкое применение в сельском хозяйстве в качестве минерального удобрения.

Соляные породы (эвапориты) образуются в результате испарительной концентрации и последующего выпадения в виде осадка различных солей из насыщенных соляных растворов в озерах и морских заливах. К этой группе пород относятся галоидные (каменная соль, карналлит и сильвинит) и сульфатные породы (ангидрит, гипс). Необходимое условие для их образования – жаркий, засушливый (аридный) климат.

Каустобиолиты (греч. *kaustikos* – жгучий; *bios* – жизнь; *lithos* – камень). К ним относятся породы, обладающие горючими свойствами – ископаемые угли, горючие сланцы, торф, сапропелит, нефть и т. д. Их формирование связано с диагенетической и эпигенетической переработкой осадочных пород, сопровождаемой скоплением органического вещества. При углефикации происходит обогащение исходного материала углеродом и его уплотнение по схеме:

растительные остатки – торф – бурый уголь –
– каменный уголь – антрацит.

Торф – пористая, землистая горная порода коричневого или черного цвета, состоящая из не полностью разложившихся болотных растений с примесью минеральных веществ. Содержание углерода – 35–40 %.

Бурый уголь – плотная темно-бурая или черная масса с землистым, иногда раковистым изломом, матовым блеском. Черта темно-бурая. Содержание углерода – до 78 %.

Каменный уголь – черная, более плотная, чем бурый уголь горная порода, с содержанием углерода до 97 %. В зависимости от содержания золы они могут быть блестящими (малозольными) или матовыми (высокозольными).

Антрацит – плотное и тяжелое высокоуглеродистое образование, имеющее наибольшую промышленную ценность.

Особая группа каустобиолитов – **сапропелиты**. Основным источником, из которого они образовались это простейшие животные и растения (планктон), имеющие в значительном количестве жиры и белки.

3.3. Метаморфические горные породы

Метаморфизм (от греч. *metamorpho* – превращаюсь) – глубинный процесс изменения текстурно-структурных и минералогических особенностей горных пород при участии высоких температур, давлений и химически активных растворов и летучих соединений.

В зависимости от степени метаморфических преобразований, особенностей строения и исходного состава формируются текстуры и структуры метаморфических пород.

Текстуры метаморфических горных пород:

1. **Сланцеватая** – порода распадается на тонкие плитки или пластинки благодаря плоскостной ориентировке чешуйчатых минералов;

2. **Гнейсовая** – порода сложена таблитчатыми минералами, не раскалывается на тонкие пластинки, несмотря на ориентировку минералов в одной плоскости;

3. **Очковая** – рассеянные, обычно овальные зёрна (порфиробласты) облучены мелкими чешуйчатыми или пластинчатыми минералами: хлоритом, мусковитом и др.;

Из прочих текстур метаморфических пород можно выделить *полосчатую* (линзовидную) *пятнистую* и *массивную*.

Структуры метаморфических горных пород:

1. **Гранобластовая** (лат. гранула – зерно) – минералы, слагающие породу имеют изометричную форму. К таким породам относятся кварциты, амфиболиты, мраморы;

2. **Лепидобластовая** – чешуйчатая форма минералов – слюд, хлорита, талька. Характерна для сланцев;

3. **Лепидогранобластовая** – переходная, состоящая из чешуйчатых и изометричных минералов;

4. **Нематобластовая** – удлинённая призматическая форма минералов, в основном из группы амфиболов;

5. **Порфиробластовая** – если на фоне основной тонкозернистой массы выделяются крупные зёрна – порфиробласты.

По масштабам пространственного размещения, особенностям проявления и по преобладанию тех или иных факторов ниже приводится следующая классификация типов метаморфизма и их продуктов.

Динамотермальный или региональный метаморфизм – процесс, охватывающий обширные территории и огромные массы горных пород. Он проявляется на больших глубинах в совместном воздействии на исходные горные породы высоких давлений и температур, магматических расплавов и постмагматических растворов. При этом образуются характерные породы: филлиты, сланцы, амфиболиты, гнейсы, мраморы и кварциты. Для большинства продуктов этого типа метаморфизма характерна ориентированность минеральных частиц в одной плоскости.

Филлиты – тонкослоистые или тонкосланцеватые породы, состоящие из кварца, слюд и хлоритов. Иногда имеются включения зерен граната, альбита, пирита и др. Обладают серебристым отливом за счет повышенного содержания слюды, зеленого, красноватого, серого и черного цветов.

Кристаллические сланцы – породы зеленой или серой окраски с лепидобластовой структурой, сланцеватой текстурой, состоящие из кварца, слюд и хлоритов.

Амфиболиты – зернистые породы более высокотемпературной степени, темно-зеленого цвета, нематобластовой или лепидогранобластовой структуры, массивной текстуры, состоящие из минералов группы амфиболов.

Гнейсы – светлые породы лепидогранобластовой структуры, полосчатой, гнейсовой или очковой текстуры. Породы сложены плагиоклазом, кварцем, калиевым полевым шпатом, биотитом, гранатом-альмадином, т.е. состав гнейсов сходен с составом магматических пород – гранитов.

Контактово-термальный метаморфизм проявляется на контакте интрузии и вмещающих пород. Основные факторы – высокая температура и химически активные растворы (вода, уголекислота, соединения бора, хлора, фтора). Состав продуктов контактового метаморфизма находится в зависимости от состава вмещающих пород. При этом метаморфизме типичны роговики, мраморы, кварциты.

Роговики – очень крепкие массивной текстуры микрозернистые кварц-полевошпатовые породы, разнообразной преимущественно серой или черной окраски. Исходным материалом для их образования служат глины.

Кварциты образуются по кварцевым песчаникам. Это мономинеральные породы кремнистого состава, плотные, твёрдые, массивной текстуры, гранобластовой структуры. Преобладают светлые тона окраски. Облицовочный и огнеупорный материал. Железистые кварциты, т. е. обогащенные магнетитом и гематитом – важная руда на железо.

Мраморы – породы, образующиеся за счёт метаморфизма известняков и доломитов. Структура – гранобластовая, текстура массивная, пятнисто-полосчатая. Эти породы сложены карбонатными минералами с незначительными примесями других.

Динамометаморфизм (катакластический метаморфизм) выражается в раздроблении породы без изменения ее состава, в результате чего образуются раздробленные и вновь сцементированные породы. Этот процесс проявлен в узких зонах разрывных нарушений и вызывается в основном сильным направленным давлением (стрессом) при сравнительно небольшом литостатическом давлении (давлении вышележащих толщ) и низкой температуре. При этом происходит дробление пород – *катаклаз*. В зависимости от степени дробления пород выделяются следующие продукты динамометаморфизма.

Тектонические брекчии – это монолитные породы, состоящие из угловатых сцементированных обломков. Обломки тектонической брекчии в отличие от осадочной брекчии, имеют одинаковый цвет и минеральный состав.

Катаклазиты – породы, пронизанные сетью трещин, с частичным истиранием зерен исходных пород. От брекчий отличаются обломками меньших размеров.

Милониты – это особо тонко измельченные породы, в которых могут возникнуть новообразования в виде крупных, хорошо ограненных кристаллов кварца, полевых шпатов, слюды.

Метасоматоз (греч. *meta* – по, после; *soma* – тело) – это метаморфический процесс, который протекает с интенсивным замещением одних минералов другими в твердом состоянии, в результате чего изменяется химический и минеральный состав метаморфизируемой пород. Метасоматические образования – метасоматиты, как правило, имеют гранобластовую структуру, могут наследовать текстуры исходных пород или образовывать собственные текстуры от массивной до полосчатой.

Скарны формируются в зоне контакта кислых интрузий с карбонатными породами. Сложены они пироксенами, гранатами, плагиоклазом и часто сопровождаются рудной минерализацией (Cu, Mo, W, Au).

Грейзены образуются на контакте гранитоидов и песчано-глинистых пород. Это средне- и крупнозернистые породы, сложенные в основном кварцем и мусковитом, а также биотитом, лепидолитом, турмалином, бериллом, флюоритом. Из рудных минералов типичны вольфрамит, молибденит, касситерит и др.

При метасоматозе также происходят процессы преобразования оливина в серпентинит и тальк, биотита – в хлорит и серпентинит.

Ударный метаморфизм является геокосмическим процессом и возникает при падении метеоритов на Землю. Горные породы, образующиеся при таком мгновенном ударе, называются импактитами, которые делятся на импактированные (т. е. подвергнутые воздействию ударной волны), расплавленные породы и импактные брекчии.

3.4. Методика выполнения лабораторных работ в разделе «Петрография»

Последующие лабораторные работы посвящены изучению и определению горных пород, используя коллекционный материал.

Цель лабораторных работ 9–12: научиться макроскопическому наблюдению признаков, характеризующих магматические, осадочные и метаморфические горные породы. Методика диагностики горных пород по внешним признакам основана на минеральном составе, структуре и текстуре пород.

Плутонические породы определяют по составу и процентному содержанию минералов (табл. 6). Необходимо научиться выявлять в них порообразующие минералы (кварц, полевые шпаты, пироксены, амфиболы, слюды) по характерным и уже известным признакам каждого из имеющихся в горной породе (см. раздел «Общие сведения о минералах»).

Вулканические породы определяются в основном по цвету и минеральному составу. Хорошо различимы невооруженным глазом только минералы вкрапленники. О минералогическом составе пород можно судить по их окраске. С увеличением основности породы окраска становится темнее (дунит), чем кислее порода, тем она светлее (гранит).

Для правильного определения осадочных пород необходимо описать текстуру (выяснить характер слоистости, наличие или отсутствие пористости и т. д.), точно установить структуру породы, состав, окраску, твердость, излом, удельный вес и другие признаки. Выявить имеющиеся в породе органические остатки, конкреции, прожилки, различные выделения, выцветы, примазки и т. д. Проверить реакцию с соляной кислотой.

Определение метаморфических пород нужно начинать с установления их минералогического состава, текстурных и структурных особенностей. Имеет значение цвет породы, а также прожилки, включения, вкрапления минералов, встречающихся в породе. Сланцеватые метаморфические породы получают название по тому минералу (хлорит, биотит, мусковит, тальк, гранат и др.), который заметно преобладает в породе и придает ей тот или иной облик или цвет.

Итогом изучения горных пород является выполнение контрольной работы, включающей в себя описание и определение 3–5 образцов горной породы различных типов.

Рекомендательный библиографический список

1. Буллах, А. Г. Общая минералогия : учебник для вузов / А. Г. Буллах; С.-Петербур. ун-т. СПб., 2002. – 356 с.
2. Карлович, И. А. Геология : учеб. пособие для вузов / И. А. Карлович. – М. : Академический Проект, 2003. – 704 с.
3. Короновский, Н. В. Геология : учебник / Н. В. Короновский, Н. А. Ясаманов. – М. : Изд. Центр «Академия», 2003. – 448 с.
4. Миловский, А. В. Минералогия / А. В. Миловский, О. В. Кононов. – М. : МГУ, 1982. – 312 с.
5. Попов, Р. М. Кристаллография / Р. М. Попов, И. И. Шафрановский. – М. : Высш. шк., 1972. – 352 с.
6. Шаскольская, М. П. Кристаллография / М. П. Шаскольская. – М. : Высш. шк., 1984. – 376 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ.....	4
1.1. Элементы симметрии.....	4
1.2. Виды симметрии, сингонии и категории.....	5
1.3. Простые и комбинационные формы.....	6
1.4. Простые формы низшей категории.....	8
1.5. Простые формы средней категории.....	9
1.6. Простые формы высшей категории.....	10
1.7. Методика выполнения лабораторных работ в разделе «Кристаллография».....	12
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИНЕРАЛАХ.....	13
2.1. Морфологические особенности минералов.....	14
2.2. Физические свойства минералов.....	15
2.3. Классификация и характеристика минералов.....	19
2.4. Методика выполнения лабораторных работ в разделе «Минералогия».....	19
3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	30
3.1. Магматические горные породы.....	31
3.2. Осадочные горные породы.....	37
3.3. Метаморфические горные породы.....	43
3.4. Методика выполнения лабораторных работ в разделе «Петрография».....	46
Рекомендательный библиографический список.....	47