

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II**

Кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки» (специалитет),
специализации «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых»*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2025**

УДК 548+549+552 (075.83)

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II. Сост.: *В.И. Алексеев*. СПб, 2025. 62 с.

В методических указаниях излагаются теоретические основы, порядок и правила выполнения практических занятий по курсу «Кристаллография, минералогия, петрография» студентами специальности 21.05.03 Технология геологической разведки», специализации «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

Научный редактор: член-кор. РАН, проф. Ю.Б. Марин.

© Санкт-Петербургский горный университет, 2025 г.

ВВЕДЕНИЕ

«Кристаллография, минералогия, петрография» относится к числу важных дисциплин по специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки». Практической целью горных инженеров является извлечение из земной коры различных полезных ископаемых. Помимо основных ископаемых – угля, нефти, газа, руд черных и цветных металлов, из недр добывают асбест, слюда, каменная и калийные соли, фосфориты, строительные материалы (песок, гравий, известняк, гипс, гранит).

При поисках, разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых горные инженеры повседневно имеют дело с минеральным сырьем, горными породами. Для извлечения из недр полезных ископаемых проходят открытые и подземные горные выработки (шахты, штреки, штолни, карьеры, траншеи и т. п.) и ведут бурение скважин в различных геологических и гидрогеологических условиях. **Условия бурения есть функция минерального состава и строения горных пород, слагающих изучаемые геологические тела.**

Отсюда понятно, что будущему горному инженеру специализации «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» необходимо знать состав недр и владеть науками, изучающими вещественный состав Земли, такими как кристаллография, минералогия, петрография и литология.

Дисциплина «Кристаллография, минералогия, петрография» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Историческая геология и геология России», «Гидрогеология и инженерная геология», «Месторождения полезных ископаемых, методика их поиска и разведки». В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: Основные понятия и законы кристаллографии, минералогии и петрографии, Классификацию видов симметрии, минералов и горных пород, главные свойства и макроскопические диагностические признаки важнейших породообразующих, акцессорных и рудных минералов, магматических, метаморфических и осадочных горных пород;

Уметь: определять минералы и горные породы по их макроскопическим свойствам.

Владеть: общими навыками оценки условий бурения в толщах изучаемых пород.

Максимально полное изложение тем лекционного курса содержится в пособиях [1, 2, 5, 7]. Особое внимание студентам следует уделить представлениям о роли кристаллографии в изучении минералов, о роли минералогии в изучении горных пород.

Практические занятия по дисциплине проводятся в учебных минералогических и петрографических лабораториях кафедры минералогии, кристаллографии и петрографии. Лаборатории оборудованы необходимыми инструментами и материалами для изучения минерального вещества. Перед началом работы с каждым студентом проводится инструктаж по технике безопасности с разъяснением правил безопасности при работе с минералами и горными породами. После успешного освоения приемов и методик работы с кристаллографическими моделями, минеральными образцами студенты переходят к изучению свойств конкретных минералов и горных пород (Приложения 1–6). Завершается курс практических занятий контрольными работами «Диагностика минералов в образце» и «Диагностика горной породы в образце», по результатам которых студенты допускаются к зачету по «Кристаллографии, минералогии и петрографии».

1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

При изучении кристаллографии студент должен усвоить понятия: симметрия, элементы симметрии, вид симметрии, простая форма.

Практическое занятие № 1 Элементы симметрии кристаллов

Цель работы: научиться определять элементы симметрии на моделях идеальных кристаллов.

Исходный материал: наборы деревянных моделей кристаллов, таблица 32 видов симметрии.

Решаемые задачи: диагностика вида симметрии кристалла, установление его сингонии и категории.

Объем работы: не менее 4 моделей кристаллов за одно занятие.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией на моделях кристаллов выявленных элементов симметрии.

Ход работы. Для каждой модели кристалла необходимо установить: 1) все элементы симметрии и составить формулу Бравэ.

- 2) вид симметрии - одну из 32 формул симметрии (табл. 1);
- 3) сингонию;
- 4) категорию.

Рекомендации по выполнению. Симметричность является одним из важнейших свойств кристаллов и может быть описана набором элементов симметрии:

- *центр симметрии (центр инверсии)* C – воображаемая точка внутри кристалла, любая прямая проведенная через нее по обе стороны от C и на равных расстояниях встречает соответственные точки кристалла (центр либо присутствует, либо отсутствует);

- *плоскость симметрии P* – воображаемая плоскость, разделяющая фигуру на две зеркально равные части (количество таких плоскостей указывается числом перед P);

- *ось симметрии L* – воображаемая прямая линия, при вращении вокруг которой несколько раз (2, 3, 4 или 6) повторяются равные части симметричной фигуры; количество повторений n определяет порядок оси, указываемый нижним индексом mL_n , (m – количество осей).

Таблица 1
32 вида симметрии кристаллов

Категория	Сингония	Вид (класс) симметрий					
		–	C	P	L_2	L_2PC	L_3
низшая (нет осей высшего порядка)	триклиническая	–	C	P	L_2	L_2PC	L_3
	моноклиническая			L_22P	$3L_2$	$3L_23PC$	
	ромбическая						
средняя (одна ось высшего порядка)	тригональная	L_3	L_3C	L_3P	L_3L_2	L_3L_23PC	
	тетрагональная	L_4	L_4PC	L_4P	L_4L_2	L_4L_25PC	$L_4 \Rightarrow L_2 \Rightarrow 3L_22P$
	гексагональная	L_6	L_6PC	L_6P	L_6L_2	L_6L_27PC	$L_6 = L_2P = L_33L_24P$
высшая ($4L_3$)	кубическая	$4L_33L_2$	$4L_33L_23PC$	$3L_44L_36P \Rightarrow 4L_33L_26P$	$3L_44L_36L_2$	$3L_44L_36L_29PC$	

L_n – ось симметрии n -го порядка; P – плоскость симметрии; C – центр инверсии.

В символьной формуле элементов симметрии (формула симметрии или формула Бравэ) указывают сначала количество осей, начиная со старшего порядка, затем – число плоскостей, и, далее, при наличии, – центр инверсии (например, $3L_233C$ или L_33L_24P).

Для нахождения всех элементов симметрии необходимо помнить следующие правила:

- 1) при наличии центра инверсии перпендикулярно плоскости симметрии всегда проходит ось симметрии четного порядка;
- 2) две плоскости симметрии создают ось симметрии;
- 3) две оси симметрии всегда создают третью;
- 4) если вдоль оси симметрии n -го порядка идет плоскость, то вдоль этой оси расположено n плоскостей;
- 5) если перпендикулярно оси симметрии n -го порядка расположена четная ось, то число таких осей равно n .

Всего существует 32 комбинации элементов симметрии, которые называются виды симметрии (табл.1). Виды симметрии группируются в три категории и семь сингоний. Сингония определяет основные черты огранки кристалла, это группа видов симметрии, обладающих одним или несколькими одинаковыми элементами симметрии и имеющих одинаковое расположение кристаллографических осей.

При поиске элементов симметрии вначале проверяют наличие центра инверсии. Для этого необходимо для грани каждого типа (определенной формы и размера) убедиться в наличии на кристалле параллельной и равной ей по форме. В случае отсутствия даже для одной грани такой пары кристалл считают лишенным центра инверсии.

Далее устанавливают количество плоскостей симметрии путем мысленного разделения фигуры на две зеркально равные части, располагающиеся относительно друг друга как предмет и его зеркальное отображение. Плоскости симметрии могут проходить через середины граней и ребер многогранника, перпендикулярно к ним или через вершины по ребрам, образуя равные углы с одинаковыми гранями и ребрами. Плоскостей симметрии в кристаллах может быть 0-7 или 9 шт. Если вдоль оси симметрии проходит P , число P равно порядку оси (или больше).

Оси симметрии L_n проходят перпендикулярно правильным многоугольным граням с количеством ребер n . Перпендикулярно к таким граням могут проходить плоскости симметрии: через противоположные углы и (или) через середины противоположных ребер грани. Оси симметрии могут проходить также через вершины, в которых сходятся одинаковые рёбра и грани. Из всех осей симметрии перпендикулярно к рёбрам могут проходить только оси симметрии L_2 . При наличии C перпендикулярно к каждой плоскости симметрии P проходит ось симметрии чётного порядка (число P равно числу чётных осей симметрии). Если перпендикулярно L_n проходит L_2 , число таких L_2 равно n .

Для определения осей симметрии фигуру в точках их ожидаемого выхода закрепляют пальцами руки. Запомнив исходное положение всех элементов ограничения, врашают модель вокруг закрепленной оси и наблюдают, сколько раз (2, 3, 4 или 6) при полном обороте фигура совместится со своим первоначальным положением. Так определяют порядок оси симметрии, а оси 5-го порядка и выше 6-го не допускаются особенностями кристаллических решеток.

После выявления элементов симметрии кристаллического многогранника выводят формулу Бравэ. Контроль ее написания производится путем применения вышеизложенных правил и сравнением с формулами 32 видов симметрии (табл. 1).

Для кристаллов кубической сингонии более удобно определять элементы симметрии по соотнесению с элементами ограничения куба. Выявление элементов симметрии происходит в порядке, аналогичном их записи в формуле симметрии $3L_44L_36L_29PC$: 1) Перпендикулярно граням куба проходят 3 оси L_4 либо L_2 ;

- 2) Через пару противоположных вершин куба всегда проходят 4 оси L_3 ;
- 3) Через середины противоположных ребер куба могут проходить 6 осей L_2 , но только в том случае, если перпендикулярно граням куба проходят 3 оси L_4 ;
- 4) Плоскостей симметрии может не быть вовсе, либо их 3 и они параллельны граням куба, либо их 6 и они проходят через противоположные ребра куба, либо их 9, когда совмещаются два последних варианта;

5) Определение центра инверсии аналогично алгоритму, указанному выше.

В завершение работы после определения вида симметрии кристалла и записи формулы симметрии, устанавливают и записывают в отчете сингонию и категорию многогранника.

Практическое занятие № 2

Простые формы кристаллов

Цель работы: закрепить навыки в определении элементов симметрии, сингонии и вида симметрии кристаллов, освоить методику определения количества и наименования простых форм кристаллов разных сингоний.

Исходный материал: наборы деревянных моделей кристаллов, таблица 32 видов симметрии.

Решаемые задачи: 1) установление вида симметрии, сингонии и категории кристалла, выявление присутствующих в огранке простых форм;

2) диагностика вида симметрии кристалла, установление его сингонии и категории.

Объем работы: не менее 4 моделей кристаллов за одно занятие.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией на моделях кристаллов выявленных элементов симметрии и простых форм.

Ход работы. Для каждой модели кристалла необходимо установить: 1) вид симметрии, сингонию и категорию кристалла;

2) простые формы кристалла и дать им названия. Название простой формы (ПФ) выводится из анализа количества граней и их взаимного расположения.

Рекомендации по выполнению. На реальных кристаллах крайне редко встречается всего одна ПФ. В комбинациях форма граней каждой ПФ может изменяться до неузнаваемости. Главными признаками ПФ являются количество граней, равных по форме и площади, их взаимное расположение и положение относительно элементов симметрии.

Названия простых форм происходят от греческого слова *эдра* – грань и греческих числительных (*ди* – два, *три* – три, *тетра* – четыре, *пента* – пять, – шесть, – восемь, *додека* – двенадцать). Не следует путать приставки (числительные) к названиям ПФ. Тетрагональная дипирамида и дитетрагональная пирамида – абсолютно разные многогранники, хотя и имеют одинаковое количество граней.

В первую очередь нужно определить вид симметрии многогранника, помня, что в каждой категории свой набор ПФ. Только две ПФ встречаются в двух категориях – низшей и средней. Это – пинакоид и моноэдр. Границ этих ПФ в средней категории могут располагаться только перпендикулярно главной оси симметрии. Общая ПФ индивидуальна для каждого вида симметрии и в других видах симметрии не встречается. Наличие граней, расположенных косо по отношению ко всем элементам симметрии, однозначно указывает на соответствующую общую ПФ.

В кристаллах средней категории из ПФ низшей категории сохраняются только моноэдр и пинакоид. Наиболее часто встречают призмы, пирамиды и дипирамиды, название которых определяют порядок главной оси и количество граней (рис. 2). Если в сечении таких форм появляется неравносторонняя фигура с неравными (через один) углами, то к названию добавляется приставка *ди-* (табл. 3). Специфическими формами в тригональной сингонии являются ромбоэдры, представляющие собой куб, «сдавленный» по одной из осей третьего порядка, в результате чего получается шестигранник с ромбической формой грани. Тетрагональный тетраэдр, отличающийся от ромбического тем, что имеет поперечное сечение через центр в форме квадрата. Наименее симметричными формами являются трапециоэдры, похожие па дипирамиды, но отличающиеся тем, что верхняя грань в трапециоэдре сдвинута относительно нижней на некоторый угол.

В кристаллах низшей категории разнообразие ПФ невелико (табл. 2, рис. 1). Триклиновые кристаллы огранены только моноэдрами или пинакоидами. В моноклиновых кристаллах, лишенных центра инверсии, появляются диэдры, а, при наличии центра – ромбические

призмы. В огранке ромбических кристаллов без центра инверсии участвуют ромбические пирамиды или ромбические тетраэдры, напротив, при наличии центра – ромбическая дипирамида.

Таблица 2

**Простые формы кристаллов низшей категории
(триклинная, моноклинная и ромбическая сингонии)**

Количество граней	Взаимное расположение граней	Простая форма
1	–	Моноэдр
2	Параллельны	Пинакоид
	Пересекаются	Диэдр
4	Попарно (через одну) параллельны	Ромбическая призма
	Все грани пересекаются в одной точке	Ромбическая пирамида
	Не параллельны и не все грани пересекаются в одной точке	Ромбический тетраэдр
8	–	Ромбическая дипирамида

ПФ высшей категории имеют особые названия, отличающиеся от таковых для кристаллов более низших сингоний. В кубической сингонии не встречаются ПФ низшей и средней категорий, и наоборот. Существует пять базовых ПФ (тетраэдр, куб, октаэдр, ромбододекаэдр, пентагондодекаэдр) и десять более сложных, выводящихся путем расщепления на две (дидодекаэдр), три (тригонтритетраэдр, тетрагонтритетраэдр, пентагонтритетраэдр, тригонтриоктаэдр, тетрагонтриоктаэдр, пентагонтриоктаэдр), четыре (тетрагексаэдр) или шесть (гексатетраэдр, гексаоктаэдр) равных частей граней базовых простых форм относительно их ключевых элементов симметрии (табл. 4, рис. 3). Производные тетраэдра (12-гранники) или октаэдра (24-гранники) различаются по форме грани, что отражается в названии ПФ, которое начинается с формы грани, продолжается количеством новых граней, и завершается базовой простой формой (например, *пентагонтриоктаэдр*).

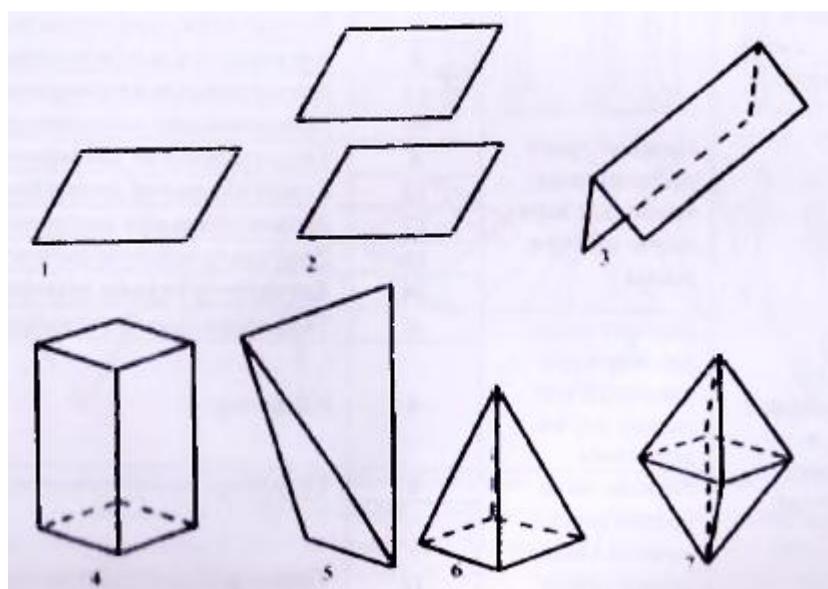


Рис. 1. Простые формы кристаллов низшей категории:
1 – моноэдр, 2 – пинакоид, 3 – диэдр,; 4 – ромбическая призма, 5 – ромбический тетраэдр, 6 – ромбическая пирамида, 7 – ромбическая дипирамида.

Таблица 3

**Простые формы кристаллов средней категории
(тригональная, тетрагональная и гексагональная сингонии)**

Количество граней	Попарно параллельные грани	Положение грани относительно элементов симметрии	Простая форма
4	нет	нормаль $\parallel L_3$	Тетраэдр
6	да	нормаль $\parallel L_4(L_2)$	Гексаэдр (куб)*
8	да	нормаль $\parallel L_3$	Октаэдр*
12	да	есть взаимно перпендикулярные грани	Ромбододекаэдр*
		нет взаимно перпендикулярных граней	Пентагондодекаэдр
	нет	нормаль между L_2 и L_3	Тригонтритетраэдр
		нормаль между L_3 и L_3	Тетрагонтритетраэдр
		общая форма в $4L_33L_2$	Пентагонтритетраэдр
24	да	нормаль между L_2 и L_3	Тригонтриоктаэдр
		нормаль между $L_4(L_2)$ и L_3	Тетрагонтриоктаэдр
		грань $\parallel L_4$	Тетрагексаэдр
		общая форма в $4L_33L_23PC$	Дидодекаэдр
	нет	общая форма в $3L_44L_36P$	Гексатетраэдр
		общая форма в $3L_44L_36L_2$	Пентагонтриоктаэдр
48	да	общая форма в $3L_44L_36L_29PC$	Гексоктаэдр

Примечание: * простая форма может присутствовать в кристалле только в одном экземпляре.

Все 15 ПФ являются закрытыми и могут ограждать кристаллы без комбинации с другими. Однако более часто наблюдаются комбинации ПФ, набор которых определяется видом симметрии (табл. 1). В этом случае форма грани уже не имеет решающего значения при определении производных тетраэдра или октаэдра, в этом случае следует опираться на положение нормали к грани относительно элементов симметрии кристалла (табл. 4, рис. 3). Общей простой формой является та, что встречается только в определенном виде симметрии: пентагонтритетраэдр в $4L_33L_2$, дидодекаэдр – в $4L_33L_23PC$, пентагонтриоктаэдр - в $3L44I.<6I.;$, гексатетраэдр – в $3L_44L_36P$, и гексоктаэдр – в $3L_44L_36L_29PC$.

Все простые кристаллографические формы в количестве 47 студент должен знать и уметь определять на глаз как в отдельном виде, так и в комбинациях. Это позволяет определять минералы и его состав, а также оценивать их физические свойства и генезис.

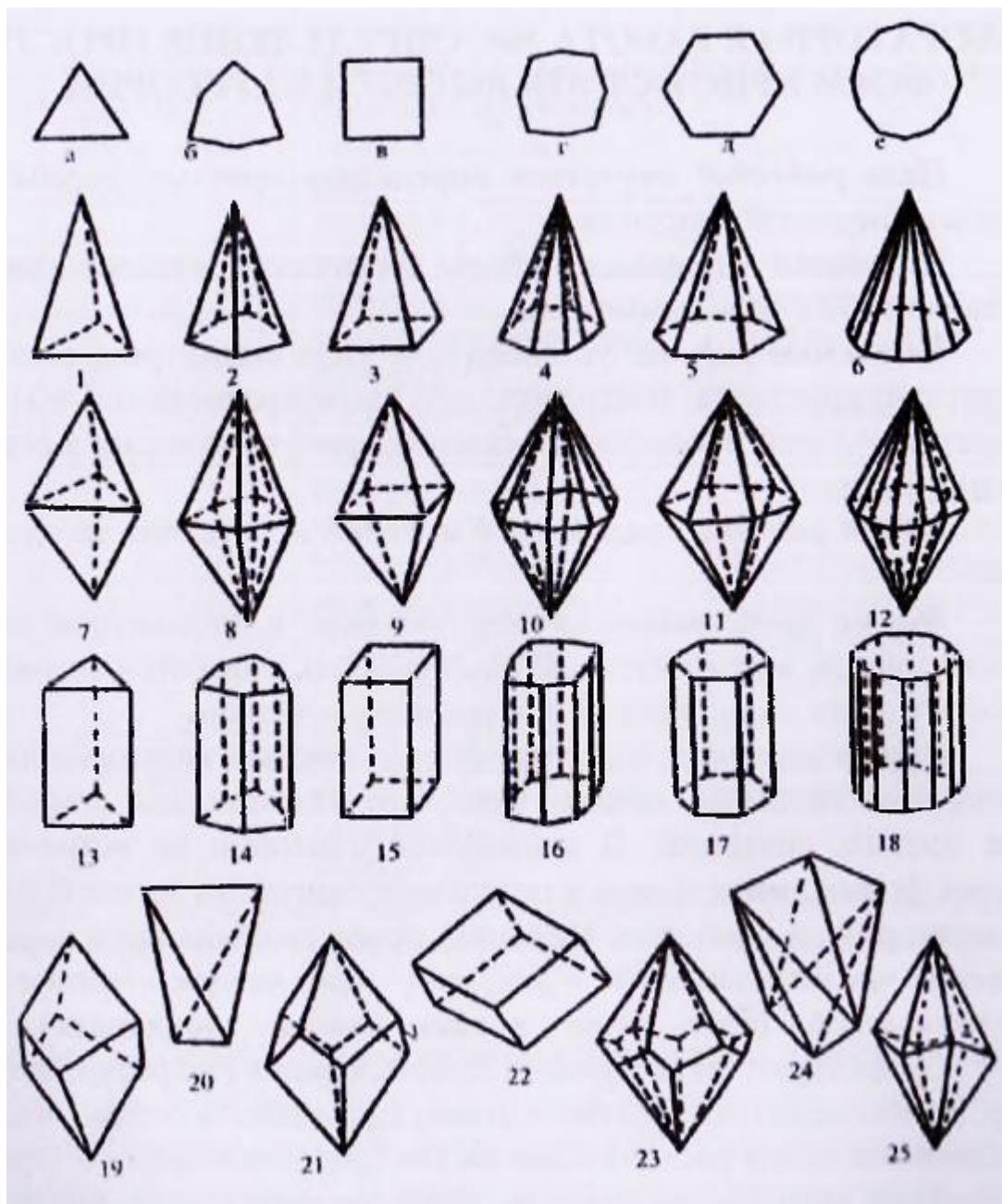


Рис. 2. Простые формы кристаллов средней категории:
 1-6 – пирамиды: 1 – тригональная, 2 – дитригональная, 3 – тетрагональная,
 4 – дитетрагональная, 5 – гексагональная, 6 – дигексагональная; 7-12 – дипирамиды:
 7 – тригональная, 8 – дитригональная, 9 – тетрагональная, 10 – дитетрагональная,
 11 – гексагональная,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

Таблица 4

**Простые формы кристаллов высшей категории
(кубическая сингония)**

Положение граней относительно главной оси	Взаимное расположение граней	Количество граней	Простая форма
Перпендикулярны		1	Моноэдр
		2	Пинакоид
Параллельны: призмы		3	Тригональная призма
		4	Тетрагональная призма
		6	Гексагональная призма
		6	Дитригональная призма
		8	Дитетрагональная призма
		12	Дигексагональная призма
Пересекают в одной точке: пирамиды		3	Тригональная пирамида
		4	Тетрагональная пирамида
		6	Гексагональная пирамида
		6	Дитригональная пирамида
		8	Дитетрагональная пирамида
		12	Дигексагональная пирамида
Пересекают в двух точках	Нижние грани расположены точно под верхними: дипирамиды	6	Тригональная дипирамида
		8	Тетрагональная дипирамида
		12	Гексагональная дипирамида
		12	Дитригональная дипирамида
		16	Дитетрагональная дипирамида
		24	Дигексагональная дипирамида
	Нижняя грань расположена симметрично между двумя верхними	4	Тетрагональный тетраэдр
		6	Ромбоэдр
	Нижняя пара граней расположена симметрично между двумя парами верхних	8	Тетрагональный скаленоэдр
		12	Тригональный скаленоэдр
	Нижняя грань расположена несимметрично между двумя верхними	6	Тригональный трапециоэдр
		8	Тетрагональный трапециоэдр
		12	Гексагональный трапециоэдр

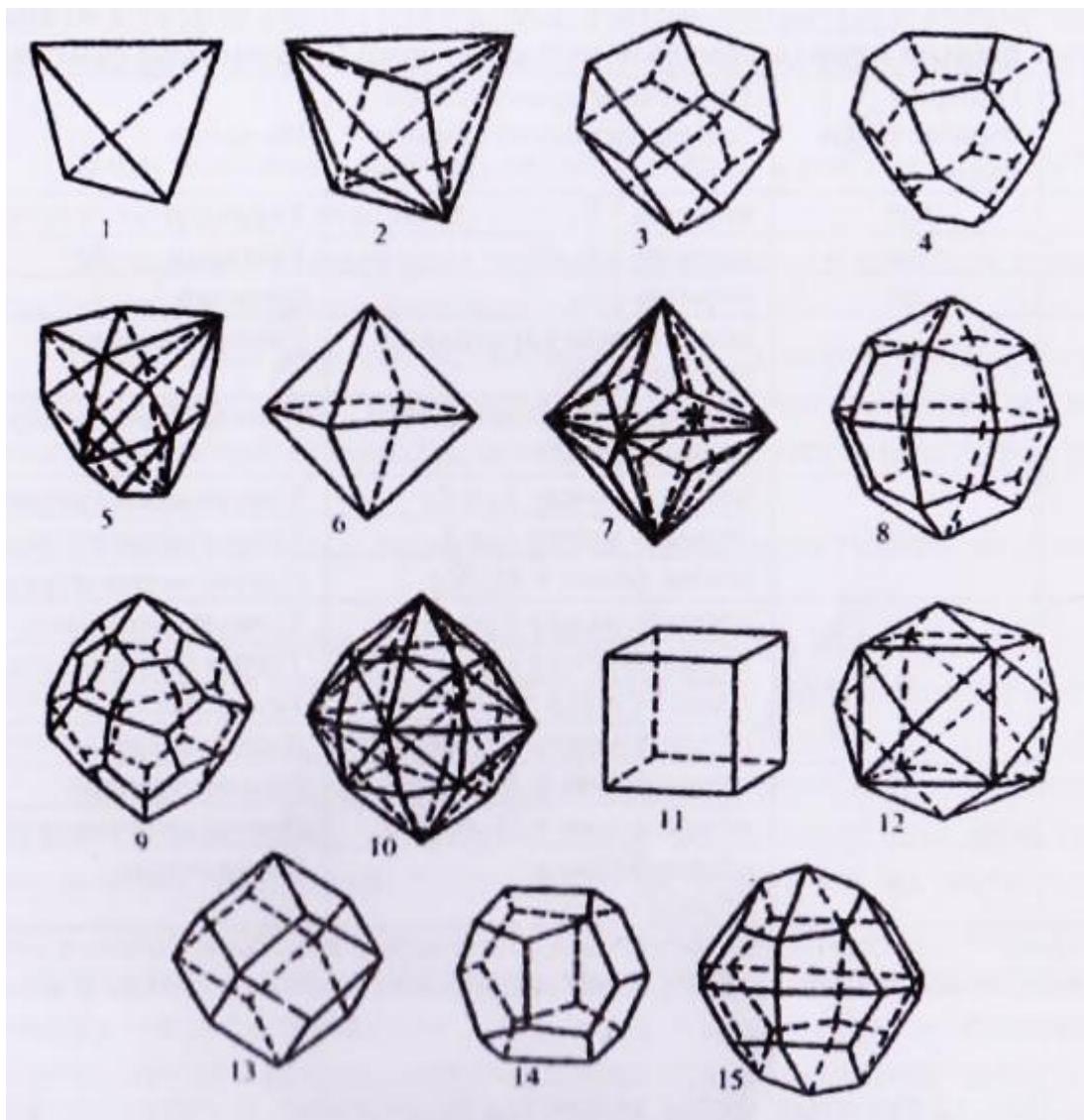


Рис. 3. Простые формы кристаллов высшей категории:
 1 – тетраэдр, 2 – тригонтритетраэдр, 3 – тетрагонтритетраэдр, 4 – пентагонтритетраэдр, 5 – гексатетраэдр, 6 – октаэдр, 7 – тригонтриоктаэдр, 8 – тетрагонтриоктаэдр, 9 – пентагонтриоктаэдр, 10 – гексагонтриоктаэдр, 11 – гексаэдр, 12 – тригонтетрагексаэдр, 13 – ромбододекаэдр, 14 – пентагондодекаэдр, 15 – дидодекаэдр.

2. МИНЕРАЛОГИЯ

Горные инженеры, занятые изучением состава земных недр, поисками, разведкой и добычей минерального сырья, должны представлять себе состав, разнообразие и практическое значение минералов в земной коре. Лучшим способом знакомства с минералами является практическое изучение и диагностика минералов в природных образцах.

В настоящее время известно более 5780 минеральных видов. В большинстве это минералы редкие. В учебную программу данной дисциплины включены только те минералы, с которыми геолог сталкивается постоянно при изучении горных пород и руд. Чтобы ориентироваться в мире минералов, обучающийся должен знать современную систематику минеральных видов и диагностические признаки минералов различных типов и классов, а также свойства наиболее распространенных породообразующих и наиболее важных рудных минералов. Принцип систематики минералов в данных «Методических указаниях» аналогичен таковому в рекомендуемых учебниках (см. список литературы). Он заключается в разделении минералов по химико-структурным признакам на типы, классы, подклассы и группы, включающие минеральные виды (Прил. 1).

Исходным материалом служат учебные коллекции минералов кафедры МКП двух видов: а) эталонная коллекция, где каждый образец сопровождается этикеткой со сведениями о названии, химическом составе, парагенезисе минералов; б) рабочие коллекции, составленные из образцов минералов без описания. В коллекциях минералы систематизированы в соответствии с излагаемой на лекциях классификацией. Эталонная коллекция предназначена для знакомства с минералами по их внешним признакам. Эталонные образцы можно брать в руки, рассматривать под лупой и микроскопом, но нельзя раскалывать, определять их твердость, черту, испытывать химическими реактивами. Образцы из рабочих коллекций, напротив, предназначены для практических испытаний.

Практическое занятие № 3

Диагностические признаки минералов

Цель работы: знакомство с методами макроскопической диагностики минералов и приобретение навыков определения их диагностических свойств.

Исходный материал: образцы рабочей минералогической коллекции.

Решаемые задачи: диагностика свойств минералов.

Объем работы: не менее 4 образцов минералов за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, минералогический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов, магнитные стрелки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией определяемых признаков на образцах минералов.

Ход работы. 1) Поочередно для каждого минерала, установленного в выданных образцах, определить и записать в рабочую тетрадь все диагностические признаки.

2) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению. В образце необходимо выделить все минералы, наметить последовательность из изучения: от главных минералов к второстепенным и от крупных зерен к мелким. Последовательность оценки диагностических свойств каждого минерала: 1) морфология (облик и габитус кристаллов, тип минерального агрегата); 2) цвет кристаллов и агрегатов, цвет черты; 3) блеск; 4) твердость по шкале Мооса; 5) хрупкость – ковкость (пластичность); 6) спайность: а) совершенство; б) число плоскостей; в) кристаллографическая ориентировка плоскостей и углы между плоскостями спайности; 7) плотность (в случаях преобладания минерала в образце); 8) особые свойства: магнитность, радиоактивность, люминесценция и др.

Морфология является одним из ключевых свойств, необходимых для правильной диагностики минералов, особенно, если они представлены в виде хорошо ограненных кристаллов и двойников. В таком случае следует установить их симметрию, габитус, тип двойникования. В случае, когда минерал не огранен (зерна, обломки), оценить облик зерен (изометрический, уплощенный или удлиненный).

Цвет – способность минералов отражать, преломлять и поглощать свет, создавая определенную окраску. Вследствие химических и механических примесей цвет может варьировать, но для ряда минералов устойчив (малахит, актинолит, сильвин). Окраску следует характеризовать по системе *оттенок-цвет*, где цвет указывают в конце, а оттенок – в начале (например, латунно-желтый халькопирит или изумрудно-зеленый берилл). Не следует путать *цвет* минерала с *прозрачностью* – способностью полностью или частично пропускать свет. Выделяют непрозрачные, просвечивающие и прозрачные минералы.

Цвет черты (цвет минерала в порошке) изучают с помощью «бисквита» (шероховатой фарфоровой пластины) путем растирания минерала. Можно растирать минерал углком стекла или иголкой. Цвет черты важен для темноокрашенных или блестящих минералов (вишнево-красная черта у темно-серого гематита или зеленовато-черная у соломенно-желтого пирита). При определении черты минерала удобно наблюдать *ковкость* или *хрупкость* минерала. Ковкие минералы дают блестящую черту и ровную царапину от стальной иглы, в то время как хрупкие при царапании крошаются в пыль.

Твердость – определяют по относительной 10-балльной шкале Мооса (курсивом указаны аналоги эталонных минералов): 1 – тальк, 2 – гипс, 2,5 – ноготь, 3 – кальцит, 3,5 – латунная монета, 4 – флюорит, 5 – апатит, 5,5 – стекло, 6 – ортоклаз, 6-6,5 –сталь (скальпель, швейная игла), 7 – кварц, 8 – топаз или берилл, 9 – корунд, 10 – алмаз.

Алгоритм оценки твердости: 1) прочертить минералом по стеклянной пластинке; 2) убедиться в наличии царапины на стекле, протерев ее, иначе за царапину можно принять полоску порошка более мягкого минерала; 3) в случае слабой царапины поцарапать углом стеклянной пластинки по ровной поверхности испытуемого минерала; 4) при близкой твердости стекла и минерала повторить операции 1–3 с полевым шпатом, кварцем и т.д.; 5) при отсутствии царапины от минерала на стекле те же операции проводят поочередно с минералами уменьшающейся твердости (апатит, флюорит и т.д.); 6) в сложных случаях зерно минерала извлекают из агрегата и раздавливают между двумя стеклянными пластинками, наблюдая за наличием и интенсивностью оставляемых царапин. При определении твердости тонко-зернистых агрегатов учитывают, что полученная оценка твердости не может являться однозначной.

Спайность, или способность раскалываться по определенным плоскостям, – очень важный диагностический признак минералов, включающий 1) степень совершенства; 2) кристаллографическое направление спайности. Выделяют 5 градаций спайности: *весьма совершенная*, с абсолютно ровными, ярко блестящими поверхностями (слюды, гипс); *совершенная*, с ровными, блестящими плоскостями (полевые шпаты, амфиболы); *средняя* (ясная), с неровными, слабо угадывающимися поверхностями (пироксены); *несовершенная*, с неровными и не отбескивающими плоскостями; *весьма несовершенная*, при которой плоскости не угадываются (кварц, пирит).

Для обнаружения спайности медленно поворачивают образец и следят за появлением отблесков от минерала. Важно отличать поверхности спайности от граней кристаллов и *отдельности*.

Излом является отражением спайности и бывает раковистым, занозистым у минералов с плохой спайностью, или, напротив, ровным, ступенчатым при высокой степени ее совершенства.

Для мелких выделений изучаемого минерала приходится оценивать спайность визуально под микроскопом.

Надо учитывать, что при наличии у минерала спайности трещины могут быть не видны, если минерал не деформирован; б) плоскость спайности примерно параллельна плоско-

сти скола зерна. Совершенство спайности оценивают визуально по толщине и параллельности трещин (рис. 4)

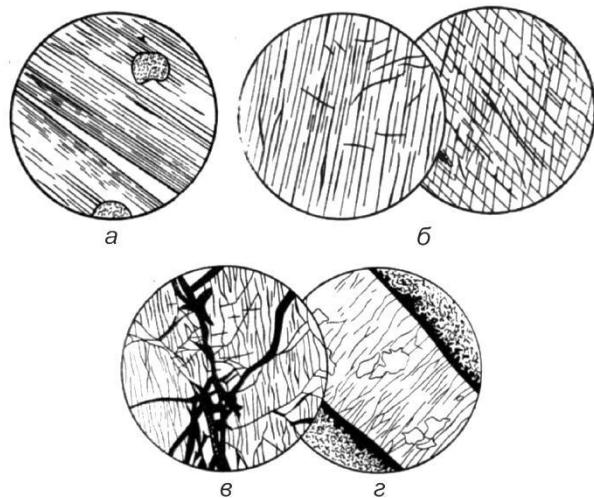


Рис. 4. Виды спайности:

а – весьма совершенная в биотите; б – совершенная в продольном и поперечном срезах амфибала; в – несовершенная в оливине; г – отдельность в турмалине.

Плотность, измеряемая в $\text{г}/\text{см}^3$ или $\text{т}/\text{м}^3$, является надежным диагностическим признаком отдельных минералов. Выделяют легкие (менее 2,9 $\text{г}/\text{см}^3$), тяжелые (2,9–6) и очень тяжелые (более 6) минералы. При определенном навыке можно «на руке» различать, например, сходные внешне кварц (2,7) и топаз (3,5) или стибинит (4,6) и галенит (7,6).

Люминесценция – свечение минерала после поглощения им энергии возбуждения (тепловой, рентгеновской и т.д.). Для диагностики отдельных минералов применяют люминесценцию в ультрафиолетовых лучах (шеелит – голубой цвет, циркон – оранжевый, рубин – ярко-красный). Свечение многих минералов неодинаково в «мягком» (365 нм) и «жестком» (264 нм) УФ-излучении.

Особые свойства (*магнитность, радиоактивность, растворимость*) выражены у избранного числа минеральных видов. Так, сильно магнитными (притягивающими к магнитную стрелку) являются самородное железо, железистая платина, моноклинный пирротин и магнетит. Слабой магнитностью отличаются ильменит и железистый хромит. Среди химических свойств минералов различают их *растворимость* (в воде – для галогенидов, в HCl – для карбонатов и некоторых силикатов).

Практическое занятие № 4 Диагностика простых веществ, сульфидов и их аналогов

Цель работы: научиться диагностировать минералы, относящиеся к простым веществам, сульфидам и их аналогам.

Исходный материал: образцы рабочей минералогической коллекции.

Решаемые задачи: визуальная диагностика минералов в образцах.

Объем работы: не менее 4 минералов за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, минералогический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов, магнитные стрелки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков минералов непосредственно на образцах, характеристикой парагенезисов, вторичных изменений минералов.

Ход работы. 1) Поочередно для каждого минерала, установленного в выданных образцах, определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;

2) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать минералы и их вторичные изменения;

3) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению. В самородном состоянии обычно встречаются неметаллы (*углерод и сера*) и металлы (*медь, золото, серебро, платиноиды*). Последние кристаллизуются в кубической сингонии, обладают ковкостью. Имея металлический блеск, небольшую твердость и высокий удельный вес, самородные металлы сходны с сульфидами. Распространенность сульфидов невелика (не более 0,5–1% объема земной коры). Единственным минералом, способным образовывать значительные скопления, является *пирит*, в редких случаях – *халькопирит* и *пирротин*. На дневной поверхности сульфиды малоустойчивы, окисляются и замещаются вторичными оксидами, карбонатами и силикатами.

Алгоритм определения сульфидов: блеск → твердость, ковкость → цвет → облик кристаллов.

Большая их часть имеет металлический блеск, меньшая – более слабый. Для разбраковки минералов с металлическим блеском следует разделить их по цвету на «серые», «желтые» и «цветные» – с синими, розовыми, фиолетовыми оттенками, и, далее, по твердости (>5 или <5). Для мягких минералов следует проверить их ковкость: яркую блестящую черту от царапания стальной иглой получат *самородные Au, Ag, Cu, Pt и Fe*. Среди мягких, но хрупких желтых минералов важно различают встречающиеся совместно *пентландит* (совершенная спайность по октаэдру), *пирротин* (магнитен) и *халькопирит*. Их нельзя путать с *пиритом* (тв. 6-6,5), царапающим стекло.

Наибольшие сложности вызывает диагностика мягких «серых» минералов. Здесь следует уделить внимание морфологии кристаллов: чешуйчатые формы характерны для *молибденита*, который отличают от *графита* по появлению оливкового оттенка при растирании черты минерала на бумаге; удлиненные (досчатые до игольчатых) – для *стибнита* (реакция с KOH).

«Цветные» сульфиды характерны своими оттенками: оранжевой и фиолетовой побежалостью – для *халькопирита*, малиново-красным – для *киновари*. Диагностика самородных элементов и сульфидов с неметаллическим блеском проста – тверже стекла только алмаз, а мягкие минералы хорошо дифференцируются по цвету и форме кристаллов. *Киноварь* от *рельзага* отличается красной чертой. Желтые *ауригилемент* и *самородная сера* отличаются по спайности. Серу можно легко узнать также, благодаря ее горючести.

Далее см. Общие рекомендации по выполнению практических заданий №№ 4–7.

Практическое занятие № 5 **Диагностика оксидов и гидроксидов**

Цель работы: научиться диагностировать минералы, относящиеся к классу оксидов и гидроксидов.

Исходный материал: образцы рабочей минералогической коллекции.

Решаемые задачи: визуальная диагностика минералов в образцах.

Объем работы: не менее 4 минералов за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, минералогический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов, магнитные стрелки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков минералов непосредственно на образцах, характеристикой парагенезисов, вторичных изменений минералов.

Ход работы. 1) Поочередно для каждого минерала, установленного в выданных образцах, определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;

2) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать минералы и их вторичные изменения;

3) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению. Оксиды и гидроксиды более распространены, чем сульфиды. В частности, кварц составляет 12,6% земной коры. Данный класс включает главные рудные минералы Fe, Ti, Mn, W, Sn, U, Ta и Nb, а также ряд самоцветов (разновидности корунда, итинели, хризоберилла, опала и кварца).

Диагностика оксидов и гидроксидов построена по тому же алгоритму, что и для сульфидов. Отличие в том, что оксиды – более твердые и значительно варьируют по блеску (от металлического до стеклянного и матового). По блеску минералы сгруппированы в пять групп, причем, матовый блеск имеют не отдельные виды, а скрытозернистые агрегаты, с собственными названиями (*лимонит, псиломелан, опал*). Граница между полуметаллическим и алмазным блеском условна.

Металлический блеск у оксидов и гидроксидов редок, наблюдается у крупных кристаллов *гематита* или *пиролюзита*. Алгоритм их различия по свойствам: цвет черты → твердость → магнитность → облик кристаллов. Всегда с черной чертой и твердостью стекла: *магнетит* (сильно магнитен), *ильменит* (слабо магнитен), *пиролюзит* (немагнитен). *Гематит*, меняющий окраску от черной (в кристаллах), через вишневую (в агрегатах) до кирпично-красной (массы), не магнитен, черта вишнево-бурая. *Гематит* срастается с *магнетитом*, замещает его (*мартиит*), или замещается им (*мушкетовит*).

Среди минералов со стеклянным блеском важное место занимает кварц, имеющий более 30 разновидностей (*морион, аметист, цитрин* и др.). Его цвет варьирует в широких пределах, но преобладает молочно-белый или серовато-белый. Благодаря индивидуальной огранке кристаллов (комбинация гексагональной призмы и двух ромбоэдров), твердости 7 и весьма несовершенной спайности диагностика кварца не вызывает проблем. Недопустимо путать *кварц* и другие распространенные светлоокрашенные минералы (*полевые шпаты, кальцит, нефелин*). Определение твердости и спайности позволяет без проблем различить эти минералы. Тонкозернистые агрегаты кварца объединяются под названием *халцедон*, на который похож *opal*, отличающийся более низкой твердостью, плотностью и повышенной хрупкостью.

Далее см. Общие рекомендации по выполнению практических заданий №№ 4–7.

Практическое занятие № 6

Диагностика силикатов

Цель работы: научиться диагностировать минералы, относящиеся к классу силикатов.

Исходный материал: образцы рабочей минералогической коллекции.

Решаемые задачи: визуальная диагностика минералов в образцах.

Объем работы: не менее 4 минералов за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, минералогический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов, магнитные стрелки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков минералов непосредственно на образцах, характеристикой парагенезисов, особых свойств и вторичных изменений минералов.

Ход работы. 1) Поочередно для каждого минерала, установленного в выданных образцах, определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;

2) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать минералы и их вторичные изменения;

3) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению. Силикаты – самый многочисленный класс: составляют 25% от общего количества минералов и слагают 75% объема земной коры. Силикаты и алюмосиликаты являются главными породообразующими минералами литосферы. В основном обладают невысоким удельным весом ($2,5\text{--}4,3 \text{ г}/\text{см}^3$), высокой твердостью и стеклянным блеском. Алгоритм диагностики силикатов построен на различии твердости (>7 , $5\text{--}6$, <3), спайности и морфологии.

Высокотвердые, без спайности минералы группы граната образуют изометрические кристаллы или зерна ромбододекаэдрического и тетрагонтриоктаэдрического габитуса. Между собой гранаты различают по цвету. Для твердых (6–8) островных силикатов (*циркон, оливин*) совершенная спайность не характерна; они отличаются короткопризматическим габитусом. Оливин, кроме того, замещается *серпентином*, при этом понижается его твердость.

Необходимо различать призматические пироксены и амфиболы с твердостью 5–6 и двумя продольными направлениями спайности. Угол между направлениями спайности пироксенов составляет 90° , а у амфиболов $-120/60^\circ$. Угол между плоскостями спайности проще увидеть на частично сколотых кристаллах. Мысленно выделяют один кристалл и изучают его ступенчатый излом: ортогональные «ступеньки» наблюдаются у пироксенов. Пироксены и амфиболы различают по цвету. *эгирин* и *роговая обманка* черные, черта светло-зеленая; *диопсид* и *актинолит* окрашены в зеленоватые цвета.

Слоистые силикаты, благодаря особенностям структуры, имеют низкую (<3) твердость и весьма совершенную спайность по пинакоиду. *Слюды* чаще присутствуют в виде явнокристаллических ($>1\text{--}2 \text{ мм}$) чешуйчатых кристаллов, обладающих упругостью и различной окраской (*биотит* темноокрашенный, до черного, *мусковит* светлоокрашенный, *флогопит* наиболее от медово-желтого, красноватого до серовато-зеленого, зеленовато-коричневого; *лепидолит* розовый, сиреневый). Хлорит и серпентин окрашены в зеленоватые цвета, не обладают упругостью и образуют мелкозернистые агрегаты. *Серпентин* образует также сростки нитевидных кристаллов, называемые асбестом. Наиболее мягкий силикат – *тальк* (тв. 1), оставляет «жиরный» след на пальцах.

Наиболее сложно диагностируются глинистые минералы – *монтмориллонит* и *каолинит*, индивиды которых редко превышают первые мкм. Монтмориллонит отличается меньшей плотностью и хорошей набухаемостью в воде (проявлена в прилипании к языку). *Каолинит*, напротив, не набухает в воде и кажется «скользким» при растирании пальцами.

Самые распространенных минералы – полевые шпаты – каркасные алюмосиликаты двух рядов: K-Na (щелочные) и Na-Ca (плагиоклазы). Признаки щелочных полевых шпатов – «червеобразные» перитовые вrostки альбита, розоватая, желтоватая, зеленая (амазонит) окраска; признаки плагиоклаза – параллельные «штрихи» полисинтетического двойникования, белая или серо-черная (*лабрадор*) окраска, иризация (*олигоклаз, лабрадор*). *Нефелин* – минерал щелочных парагенезисов зеленовато-серой окраски; при вторичных изменениях меняет окраску до серовато-красновато-буровой.

Остановимся на похожих по свойствам силикатах, которые зачастую путают друг с другом. Похожи два минерала с алмазным блеском, желтовато-коричневых окрасок: *циркон* (тв. 7–8, люминесцирует в УФ) и *титанит* (тв. 5, совершенная спайность). Другая пара похожих минералов из группы Мооса с твердостью 8: *топаз* (ромбический, совершенная спайность по пинакоиду) и *берилл* (гексагональный, несовершенная спайность). *Топаз* также часто принимают за *кварц* (кварц - $2,6 \text{ г}/\text{см}^3$, а у топаза $3,5 \text{ г}/\text{см}^3$), *берилл* – за *апатит* (тв. 5–5,5). Внешне похожи столбчатые черные кристаллы *шерла* (тв. 7, округло-треугольное сечение,

несовершенная спайность) и пироксена – эгирина, имеющего 2 направления совершенной спайности и образующего щелочной парагенезис.

Далее см. Общие рекомендации по выполнению практических заданий №№ 4–7.

Практическое занятие № 7 **Диагностика минералов группы солей**

Цель работы: научиться диагностировать минералы, относящиеся к солям кислородных кислот и галогенидов.

Исходный материал: образцы рабочей минералогической коллекции.

Решаемые задачи: визуальная диагностика минералов в образцах.

Объем работы: не менее 4 минералов за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, минералогический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов, магнитные стрелки.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков минералов непосредственно на образцах, характеристикой парагенезисов, особых свойств и вторичных изменений минералов.

Ход работы. 1) Поочередно для каждого минерала, установленного в выданных образцах, определить и записать в рабочую тетрадь диагностические признаки;

2) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать минералы и их вторичные изменения;

3) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению. Карбонаты, сульфаты, фосфаты, галогениды объединяет невысокая твердость и слабый блеск. Ключом к диагностике этих минералов являются морфология их агрегатов, твердость, плотность, растворимость в кислотах и воде, а также окраска. Наиболее твердые апатит (5) и флюорит (4) путают из-за сходной голубоватой и зеленой окраски. Признаки флюорита – изометрический облик, совершенная спайность, полихромность, люминесценция в УФ.

Достаточно похожи хлориды, хорошо растворимые в воде и изометричные по форме, – галит (соленый на вкус, иногда с голубыми оттенками) и сильвин (горький, часто окрашен гематитом в кирпичные тона).

Карбонаты, имеющие совершенную спайность по ромбоэдру, отличают по реакции с разбавленной HCl, плотности и окраске. Наиболее распространенный карбонат – *кальцит*, бурно реагирует с разбавленной с HCl даже «на холоде». Доломит и сидерит «вскипают» в HCl только в порошке, имеют желтоватую и буроватую окраску. *Магнезит* не реагирует с соляной кислотой даже в порошке, отличается отсутствием цветных окрасок и формой матово-белых агрегатов, напоминающих цветную капусту. Единственным карбонатом, достигающим твердости 5, является *смитсонит*, образующий почковидные агрегаты повышенной плотности, вскипающие в HCl. При замещении медных сульфидов образуются вскипающие в HCl синий азурит и зеленый малахит. Среди ромбических карбонатов и сульфатов очень высокой плотностью (6-6,5) отличаются *церуссит* (тв 2,5-3, совершенная спайность по пинакоиду) и *барит* (бесцветный, белый, желтый). Признаки гипса: низкая твердость (2), совершенная спайность и белая окраска.

Далее см. Общие рекомендации по выполнению практических заданий №№ 4–7.

Общие рекомендации по выполнению практических заданий №№ 4–7. После получения задания от преподавателя необходимо выбрать и внимательно рассмотреть наиболее простой образец, определить число содержащихся в нем минералов, наметить последова-

тельность из изучения: от главных минералов к второстепенным и от крупных зерен к мелким. Затем следует определить и зафиксировать в рабочей тетради важнейшие диагностические признаки выбранного минерала в той последовательности, в какой их определяли на практическом занятии № 3. Минерал определяют путем сопоставления его свойств с теми, что представлены в конспектах и учебниках. Важно убедиться, что выбранный вариант диагностики подтверждается парагенезисом данного минерала и наличием в нем характерных вторичных изменений. Рекомендуется придерживаться следующей формы записей результатов практического занятия.

Образец № 3.

Крупнокристаллический агрегат двух минералов:

1. ГАЛЕНИТ – PbS. Кристаллы величиной 0,5-1,0 см.

- Облик изометрический.
- Цвет свинцово-серый.
- Чешуя свинцово-серая, блестящая.
- Блеск металлический.
- Твердость 3, слабо ковкий.
- Спайность совершенная, три системы плоскостей, ориентированных взаимно перпендикулярно.

2. СФАЛЕРИТ (марматит) – (Zn,Fe)S. Зерна 5–7 мм, срастающиеся с галенитом.

- Облик изометрический.
- Цвет темно-коричневый.
- Чешуя светло-бурая, матовая.
- Блеск алмазный.
- Твердость 3–4.
- Спайность совершенная, несколько направлений под тупым углом друг к другу.
- Под действием разбавленной HCl распространяет запах сероводорода.

Минерал	Формула	Форма	Цвет	Цвет черты	Блеск	Тв.	Сп.	Плотность	Особые свойства
Галенит	PbS	кубич.	св.-серый	сер.-черн.	металл.	~ 3	сов. 3 напр.	> 6	тяжелый
Сфалерит	(Zn,Fe)S	неправ.	бурый	желто-кор.	алмазн.	~ 3	сов. > 2	3–4	блестящий

Все минералы, предусмотренные программой дисциплины (прил. 1) студент должен знать и уметь определять на глаз как в крупнозернистом виде, так и в тонких агрегатах. Это обеспечивает успешное изучение главных объектов работы горного инженера – горных пород и руд, то есть освоение петрографии.

3. ПЕТРОГРАФИЯ

Непосредственным объектом бурения скважин являются горные породы и слагаемые ими геологические тела. Горные породы – природные минеральные агрегаты определенного состава и строения, слагающий самостоятельные геологические тела и образованные в определенных геологических условиях. Горно-технические условия бурения скважин определяются минеральным составом и строением горных пород. Поэтому знание петрографии для инженеров-буровиков является обязательным.

Цель преподавания дисциплины «Кристаллография, минералогия, петрография» – дать студентам знания о составе, строении, классификации, условиях и закономерностях образования минералов и горных пород, отвечающие современному уровню науки и требованиям геологической практики.

Изучение петрографии требует практического освоения методики диагностики главнейших видов горных пород и сопровождается практическими занятиями. Практические занятия посвящены освоению первого, самого главного этапа изучения горной породы – её визуальной диагностике. От того, насколько правильно горный инженер определит природный минеральный агрегат, зависит оценка горно-геологических условий проходимых пород и принятие решений по проектированию скважин, предотвращению осложнений при бурении. Физическая сущность различных осложнений и аварий при бурении скважин (поглощения раствора, флюидопроявления, осыпи, обвалы и др.) нередко связана с аномальными и резко меняющимися по разрезу фильтрационно-емкостными и прочностными свойствами горных пород. В ряде случаев, особенно при бурении первых разведочных скважин, аварийные ситуации возникают из-за недостаточной изученности вскрываемого скважиной разреза горных пород.

Методы изучения, классификация и систематика каждого из трех типов пород – магматических, метаморфических и осадочных – имеют свои специфические особенности. работа студента на практических занятиях заключается в самостоятельном определении и описании магматических, метаморфических и осадочных пород с использованием образцов из эталонной коллекции.

3.1 МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Магматические породы образованы в результате кристаллизации природного силикатного расплава – магмы. Породы, возникшие в глубинах Земли, называются *интрузивными* (плутоническими), а породы, сформированные на земной поверхности, – *эффузивными* (вулканическими). Промежуточные по глубине породы – *жильные* (гипабиссальные). В основу классификации магматических пород положен их химический состав. По содержанию кремнезема выделяют породы: *ультраосновные* (содержание SiO_2 30–45 %), *основные* (45–52), *средние* (52–63) и *кислые* (63–79 %). Отдельно рассматривают породы щелочного ряда ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O} > 5 \%$). Наибольшим распространением в магматических породах пользуются силикаты и алюмосиликаты: полевые шпаты, плагиоклазы, кварц, роговая обманка, диопсид, в меньшей степени – слюды, оливин, нефелин; в состав эфузивов входит вулканическое стекло. Эти минералы по количеству делятся на *главные* и *второстепенные*.

Практическое занятие № 8

Диагностика ультраосновных и основных магматических пород

Цель работы: научиться диагностировать ультраосновные и основные магматические породы.

Исходный материал: образцы рабочей петрографической коллекции.

Решаемые задачи: 1) Знакомство с классификацией и главными видами ультраосновных и основных магматических пород;

2) визуальная диагностика ультраосновных и основных магматических пород в образцах.

Объем работы: не менее 3 образцов горных пород за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, петрографический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков горной породы непосредственно на образцах, характеристикой структуры, текстуры и вторичных изменений породы.

Ход работы. 1) Под руководством преподавателя ознакомится с основами классификации и главными видами ультраосновных и основных магматических пород;

2) Поочередно для каждого из выданных образцов, определить и записать в рабочую тетрадь окраску, количественный минеральный состав, структуру, текстуру, степень и характер вторичных изменений горной породы;

3) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать горные породы и их вторичные изменения;

4) представить преподавателю отчет для проверки.

Практическое занятие № 9

Диагностика средних и кислых магматических пород

Цель работы: научиться диагностировать средние и кислые магматические породы.

Исходный материал: образцы рабочей петрографической коллекции.

Решаемые задачи: 1) Знакомство с классификацией и главными видами средних и кислых магматических пород;

2) визуальная диагностика средних и кислых магматических пород в образцах.

Объем работы: не менее 3 образцов горных пород за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, петрографический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков горной породы непосредственно на образцах, характеристикой структуры, текстуры и вторичных изменений породы.

Ход работы. 1) Под руководством преподавателя ознакомится с основами классификации и главными видами средних и кислых магматических пород;

2) Поочередно для каждого из выданных образцов, определить и записать в рабочую тетрадь окраску, количественный минеральный состав, структуру, текстуру, степень и характер вторичных изменений горной породы;

3) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать горные породы и их вторичные изменения;

4) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению практических заданий №№ 8–9. При диагностике магматических пород изучают их минеральный состав и строение.

Минеральный состав. Магматические породы делят на кислые лейкократовые (светлоокрашенные), в которых преобладают (< 20 %) *салические минералы*: (плагиоклазы, полевые шпаты, кварц, нефелин) и основные меланократовые (тёмноокрашенные), сложенные (> 50 %) *фемических минералами* (пироксены, амфиболы, биотит, оливин). Важен цвет плагиоклаза: чем светлее плагиоклаз, тем более кислый состав он имеет: от тёмно-серого основного лабрадора – до белого кислого олигоклаза. Очень важны соотношения плагиоклазов

и щелочных полевых шпатов. Наличие кварца фиксирует избыток в породе кремнезема, а присутствие оливина, наоборот, – его недостаток. Породы, пересыщенные кремнеземом, содержат кварц; в породах, насыщенных щелочами, наблюдается повышенное содержание щелочных полевых шпатов.

Алгоритм изучения минерального состава магматической породы следующий:

1. Установить главные салические минералы породы: присутствуют ли в ней полевые шпаты, кварц, нефелин.

2. Если порода состоит из фемических минералов, нужно определить количественное соотношение между ними (Прил. 3).

3. Когда в состав породы входят полевые шпаты, прежде всего нужно определить их характер (только плагиоклаз, плагиоклаз и калиевый полевой шпат).

4. Если в породе присутствует только плагиоклаз, желательно определить его вид (олигоклаз, андезин или лабрадор) и сопровождающие минералы.

5. При совместном присутствии плагиоклаза и калиевого полевого шпата оценивают количественное соотношение между ними и определяют, есть ли в породе кварц.

6. В случае, если в породе наблюдаются только щелочные полевые шпаты, название её зависит от наличия кварца.

7. Порода, содержащая нефелин, диагностируется по наличию полевых шпатов и их характеру (Прил. 4, 5).

8. При любом наборе пордообразующих минералов глазомерно определяют количественные соотношения главных и второстепенных минералов, используя номограмму (рис. 5).

Определение минерального состава вулканических пород вследствие их слабой раскаристализации затруднено. При их определении следует иметь в виду, что вкрапленники эфузивных пород соответствуют главным минералам глубинного аналога. Так, в базальтах, относящихся к группе габбро-базальта, во вкрапленниках должны быть основной плагиоклаз, пироксены, оливин, а в риолитах, соответствующих гранитам, – кварц, полевой шпат и плагиоклаз.

Жильные породы традиционно делят на порфировидные (порфиры, порфириты), аplitы и пегматиты. *Аплиты* – мелкозернистые, светлоокрашенные породы, состоящие из таких же салических минералов, как и интрузивные породы, с которыми они ассоциируют (гранит-аплит, диорит-аплит и др.). *Пегматиты* отличаются от аплитов гигантозернистой структурой и высоким содержанием минералов, кристаллизовавшихся при участии летучих компонентов: мусковита, лепидолита, турмалина, топаза, апатита и др.

Текстуры и структуры. Наряду с минеральным составом, при диагностике горной породы изучают ее строение с целью определения условий кристаллизации (класса глубинности). Различают *полнокристаллическую*, *неполнокристаллическую* и *стекловатую* структуры. Первая характерна для интрузивных пород, вторая – для эфузивных (и некоторых жильных), третья – для лав. В зависимости от абсолютной величины зерен выделяют *гигантозернистую* (размер зёрен главного минерала более 10 мм), *крупнозернистую* (3–10 мм), *среднезернистую* (1–3) *мелкозернистую* (0,1–1) и *микрозернистую* или афанитовую (менее 0,1 мм). Размер зёрен прямо зависит от глубины (скорости) кристаллизации: крупно- и среднезернистые интрузивные породы образуются в абиссальных условиях, мелкозернистые жильные – в гипабиссальных, микрозернистые эфузивные – в приповерхностных и поверхностных условиях. Исключение составляют жильные гигантозернистые породы – пегматиты, образующиеся преимущественно на малых (0,5–3,0 км) глубинах.

Важной структурной характеристикой породы является относительная величина сла-гающих её зерен минералов. При неравномернозернистом строении между мелкими и крупными зёrnами распознаются зёrna промежуточной величины. В этом случае крупные зёrna называют вкрапленниками, а вмещающий агрегат – основной массой. Различают *порфировидную* и *порфировую* неравномернозернистые структуры соответственно жильных и эфузивных пород. Различие этих структур заключается в размере вкрапленников относительно

зёрен основной массы: 3–10-кратное в случае жильных пород и более, чем 10-кратное, – в случае эфузивов. Эфузивные породы нередко стекловатые, с темной окраской, флюидальной, пористой, миндалекаменной текстурой.

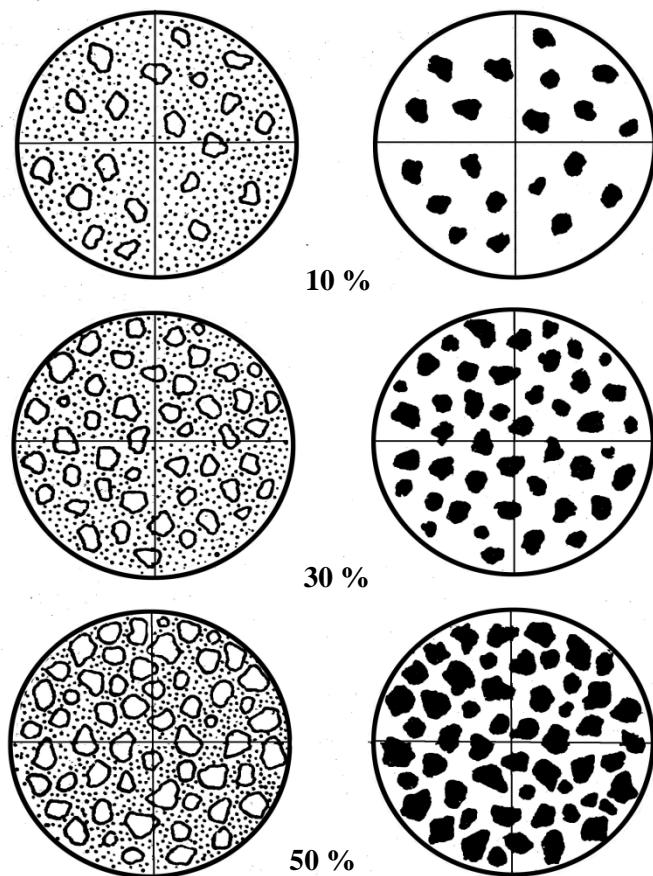


Рис. 5. Номограмма для определения объёмной доли минерала в образце..

Описание магматической горной породы проводят по плану: 1) окраска в образце, 2) минеральный состав, 3) структура, 4) текстура, 5) степень и характер вторичных изменений.

Пример № 1. Описание интрузивной породы.

Образец № 201а.

Название породы: амфиболизированный габбро-норит.

Окраска: тёмно-серая с зеленоватым оттенком.

Главные минералы: плагиоклаз – 30 %, клинопироксен (диопсид?) – 40 %. Второстепенные минералы: биотит – 5 %. Аксессорные минералы: магнетит, халькопирит – 5 %. Вторичные минералы: амфибол, эпидот, серицит – всего около 20 %.

Структура: габбровая, выраженная в одинаковом идиоморфизме плагиоклаза и пироксена. Плагиоклаз и пироксен образуют относительно крупные (около 2 мм, реже до 4 мм) зёрна с короткими прямоугольными сечениями.

Текстура: шлировая, обусловленная редкими скоплениями пироксена, размером до 10–15 мм с включениями халькопирита и магнетита.

Порода принадлежит к группе основных пород нормального ряда. Она образовалась путём кристаллизации магматического расплава на большой глубине и относится к классу интрузивных пород.

Пример № 2. Описание жильной породы.

Образец № А-16-2.

Название породы: биотитовый гранит-порфир.

Окраска: тёмно-розовая с чёрными вкраплениями. Основная масса - светло-серая с жёлтым оттенком.

Структура породы: полнокристаллическая порфировидная. Вкрапленники составляют примерно 30 % объёма породы. Размер вкрапленников до 1,5 см, чаще 7–8 мм.

Минеральный состав вкрапленников: калиевый полевой шпат – 50 %, плагиоклаз (олигоклаз?) – 30 %, кварц – 10 %, биотит – 10 %.

Минеральный состав основной массы: калиевый полевой шпат, плагиоклаз, кварц.

Структура основной массы мелкозернистая, местами наблюдается графическое срастание кварца и полевого шпата. Размер зерен основной массы около 1 мм.

Текстура: массивная, пор не наблюдается.

Порода принадлежит к группе кислых пород нормального ряда. Она образовалась путём кристаллизации магматического расплава на малой глубине и относится к классу жильных пород.

Пример № 3. Описание эфузивной породы.

Образец № 54103.

Название породы: миндалекаменный базальт.

Окраска: чёрная с белыми и серыми вкраплениями.

Структура породы: порфировая. Вкрапленники составляют примерно 10 % объёма породы. Размер вкрапленников 3–10 мм. Структура основной массы афанитовая.

Минеральный состав вкрапленников: оливин и единичные фенокристаллы пироксена.

Минеральный состав основной массы: исходя из тёмно-серой окраски, можно предположить, что основная масса состоит из значительного (50 % и более) количества цветного минерала с примесью плагиоклаза. Судя по матовому блеску основной массы, в составе агрегата стекла мало или нет вовсе.

Текстура: миндалекаменная, неотчётливая флюидальная, выраженная в субпараллельной ориентировке вытянутых миндалин и пор. Открытые поры мелкие (0,5–4 мм), крупные поры (0,5–1,2 мм) полностью выполнены кальцитом и халцедоном. Распределение пор и миндалин равномерное.

Порода принадлежит к группе основных пород нормального ряда. Она образовалась путём кристаллизации магматического расплава на поверхности Земли и относится к классу эфузивных пород.

3.2 ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Осадочные горные породы образуются на поверхности Земли вследствие различных экзогенных процессов. Исходным материалом для их формирования служат рыхлые осадки – продукты механического разрушения и химического разложения древних пород, жизнедеятельности организмов, вулканической деятельности. Компоненты осадочных пород делят на *аллотигенные* (обломочные) и *аутигенные* (новообразованные, осадочные) – органогенные (преимущественно карбонатные) и хемогенные. осадочные горные породы делят на три генетические типа: 1) *обломочные*, 2) *органогенные*, 3) *хемогенные* (прил. 6). Принято выделять по минеральному составу группы: 1) обломочные (22 %); 2) глинистые (45 %); 3) карбонатные (18 %); 4) кремнистые (2 %); 5) соли (1 %); 6) глинозёмистые; 7) железистые; 8) марганцевые; 9) фосфатные; 10) каустобиолиты.

Практическое занятие № 10 Диагностика обломочных и глинистых осадочных пород

Цель работы: научиться диагностировать обломочные и глинистые осадочные породы.

Исходный материал: образцы рабочей петрографической коллекции.

Решаемые задачи: 1) Знакомство с классификацией и главными видами обломочных и глинистых осадочных пород;

2) визуальная диагностика обломочных и глинистых осадочных пород в образцах.

Объем работы: не менее 3 образцов горных пород за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, петрографический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков горной породы непосредственно на образцах, характеристикой структуры, текстуры и вторичных изменений породы.

Ход работы. 1) Под руководством преподавателя ознакомится с основами классификации и главными видами обломочных и глинистых осадочных пород;

2) Поочередно для каждого из выданных образцов, определить и записать в рабочую тетрадь окраску, количественный минеральный состав, структуру, текстуру, степень и характер вторичных изменений горной породы;

3) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать горные породы и их вторичные изменения;

4) представить преподавателю отчет для проверки.

Практическое занятие № 11 Диагностика карбонатных и кремнистых осадочных пород

Цель работы: научиться диагностировать карбонатные и кремнистые осадочные породы.

Исходный материал: образцы рабочей петрографической коллекции.

Решаемые задачи: 1) Знакомство с классификацией и главными видами карбонатных и кремнистых осадочных пород;

2) визуальная диагностика карбонатных и кремнистых осадочных пород в образцах.

Объем работы: не менее 3 образцов горных пород за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, петрографический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки,

минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реагентов.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков горной породы непосредственно на образцах, характеристикой структуры, текстуры и вторичных изменений породы.

Ход работы. 1) Под руководством преподавателя ознакомится с основами классификации и главными видами карбонатных и кремнистых осадочных пород;

2) Поочередно для каждого из выданных образцов, определить и записать в рабочую тетрадь окраску, количественный минеральный состав, структуру, текстуру, степень и характер вторичных изменений горной породы;

3) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать горные породы и их вторичные изменения;

4) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению практических заданий №№ 10–11. При макроскопическом описании осадочных горных пород отмечают признаки: 1) окраска, 2) структура, 3) минеральный состав, 4) текстура, 5) пористость и крепость (цементированность), 6) включения, 7) вторичные изменения. Окраску горной породы оценивают на свежем изломе и на выветрелой поверхности. Минеральный состав определяют раздельно для преобладающих компонентов (обломков, органических остатков или кристаллов) и цементирующего их вещества. Приводят характеристику минералов, их содержания и вторичные изменения.

При характеристике структуры указывают размер и форму зёрен, равномерность зернистости, окатанность обломков. Определяют текстуру, мощность прослоев. При наличии пор отмечают их объёмную долю, размеры, морфологию, распределение, степень связи друг с другом, минеральное заполнение. Крепость породы отмечают по трёхбалльной шкале: 1) разрушается пальцами, 2) разрушается при слабом механическом воздействии, 3) разрушается только при сильном механическом воздействии. Включения делят на минеральные (конкремции, обломки, прожилки, выделения битумоидов) и органогенные; приводят их количество, расположение, состав, размеры и др. В заключение характеризуют степень и характер вторичных изменений. Общий план описания для всех пород одинаков, но характеристика осадочных пород разных групп требует учёта их специфических особенностей.

Обломочные породы. При описании обломочной породы определяют характер и интенсивность окраски, её распределение в штуфе и причины. Раздельно характеризуют обломки и цемент. Выделяют обломки минералов, горных пород, фауны и описывают их от главных к второстепенным, отмечая размер, сортировку, окатанность и т. д. Название обломочной породе дают по размеру обломков (Прил. 6). Разновидности выделяют по составу обломков (кварцевый конгломерат, аркозовый песчаник, полимиктовый алевролит и т.п.). Кварцевые породы обычно окрашены в белый цвет, аркозовые – в розовый и жёлтый, полимиктовые – в серый и зеленовато-серый цвета.

Характеризуя цемент, указывают его количество, минеральный состав и строение. Цементом обломочной породы могут служить глинистые, карбонатные, железистые, кремнистые и некоторые другие агрегаты. Для определения состава цемента используют его водные свойства (см. описание глинистых пород). По реакции с разбавленной соляной кислотой фиксируют содержание в цементе карбонатов. Кремнистый, сульфатный и железистый цементы определяют по цвету и твёрдости. Особое внимание следует уделять изучению выветрелости обломочных пород, определяющей их прочность, водопроницаемость. Признаками выветривания могут служить осветление породы, появление поверхностной пятнистой окраски, бурых налетов и корочек гидроксидов железа. Породы с растворимым цементом (карбонатным, сульфатным, галоидным) становятся пористыми и кавернозными. Устойчивость обломочных пород к выветриванию уменьшается с появлением в составе обломков биотита, хлорита, пирита, карбонатных и глинистых пород.

При наличии слоистой текстуры указывают, чем она выражена (членение слоев по количеству, крупности или ориентировке обломков, окраске и т.п.), мощность слойков; в неслоистой породе отмечают степень неоднородности текстуры и характер её проявления (неравномерность окраски, ориентировка фрагментов, минеральные включения и т.п.).

Пример № 4. Описание обломочной породы.

Образец № 194326.

Название породы: Гравелит светло-серый полимиктовый с глинисто-хлоритовым цементом порового типа.

Окраска: светло-серая с желтоватым оттенком.

Структура: псефитовая (мелкогравийная).

Минеральный состав обломков: порода сложена неокатанными и полуокатанными гравийными обломками размером от 1,0 до 2,5 мм. Среди гравийных зёрен в заметном количестве присутствуют обломки тонкозернистых кварцитовидных, кремнистых и кислых эффузивных пород. Встречаются обломки зёрен кварца. Межгравийные полости выполняет песчаный кварцевый разнозернистый материал.

Минеральный состав цемента: глинисто-хлоритовый, желтовато-коричневого цвета, скрытокристаллический, участками по структуре напоминает вулканическое стекло.

Текстура: массивная; отмечаются открытые межзерновые поры размером до 1 мм, каверны до 6 мм (1–2%), иногда с белым кремнистым заполнением. Включения: редкие конкреции пирита размером 2–4 мм. Вторичные изменения: выражаются в развитии параллельных трещин через 1–3 см, по которым наблюдается хлоритизация (зелёные примазки).

Глинистые породы. Определяют окраску глинистой породы, её распределение, возможные причины; каолиновые глины отличаются белой окраской, монтмориллонитовые – голубовато-зелёной или серой, гидрослюдистые глины характеризуются разнообразной окраской; гидроокислы и окислы железа окрашивают глину в жёлтый, бурый, красный цвета, примесь битумов – в светло-коричневый, органическое вещество – в серый и чёрный цвета.

Изучают водно-физические свойства породы. Определяют размокаемость глинистой породы: кусок породы (2–4 см) помещают в стакан с водой; если порода размокает в течение 1–5 мин., её называют глиной, 20–30 мин. – уплотнённой глиной, если не размокает, её относят к аргиллитам. Изучают пластичность породы: замешивают небольшой фрагмент породы (1–3 см) с водой и раскатывают; глина раскатывается в тонкую нить, суглинки – в более толстый (2–5 мм) шнур, а супеси не раскатываются. Определяют разбухаемость породы: фрагмент породы (2–4 см) помещают в мерный стакан и определяют изменение объёма; каолинитовые глины в воде не разбухают, гидрослюдистые – не разбухают, но распадаются на мелкие комки и чешуйки, монтмориллонитовые глины набухают (до 10-ти кратного увеличения объёма). Оценивают излом глинистой породы: глины имеют гладкий, матовый, шелковистый, раковистый, чешуйчатый излом; глины, содержащие алевритовую примесь – землистый, неровный, шероховатый излом, песчанистые глины – зернистый и неровный; аргиллиты имеют раковистый или ступенчатый излом.

Минеральный состав глинистой породы оценивают приблизительно, исходя из её окраски, излома и физических свойств. Следует попытаться выявить примесь обломочных зёрен, органических остатков и аутигенных неглинистых минералов, размеры выделений примесей и характер их распределения в породе. В некоторых случаях присутствие неглинистых примесей существенно изменяет физико-механические свойства пород.

При характеристике текстуры детально описывают слоистость, определяют её морфологический тип, мощность слойков; при отсутствии слоистости отмечают наличие и причины неоднородности породы (пятнистая, гнездовидная, линзовидная текстура) с указанием размеров и характера распределения включений. Определяют отдельность глинистой породы: для слоистых глин характерна плитчатая или листоватая отдельность, неслоистые глины распадаются на куски угловатой, комковатой или эллипсоидальной формы, в плотных глинах и аргиллитах встречаются плитчатая, скорлуповатая и желваковая отдельности.

Пример № 5. Описание глинистой породы.

Образец № 15-А-76.

Название породы: аргиллит серовато-зелёный, кальцитизированный, с незначительной примесью псаммитового кварца и мелкого пирита, пористый, трещиноватый.

Окраска: серовато-зелёная с коричневатым оттенком.

Структура: псаммолитовая.

Минеральный состав: основная масса породы сложена глиной микрозернистого строения, по составу гидрослюдистой. При растирании породы выделена псаммитовая примесь кварца (до 10 %), легко царапающая стекло. В породе наблюдаются участки, выполненные более светлой глиной каолинитового состава.

Текстура: светлые каолинитовые участки глины определяют волнисто-слоистую текстуру породы. К ним приурочена открытая пористость (3–5 %): поры растворения (выщелачивания) размером от 0,2 до 0,5 мм. Присутствуют открытые микротрещины горизонтальные и наклонные, прерывистые и непрерывные. Длина открытых микротрещин до 35 мм, раскрытие – менее 0,1 мм. Отмечается равномерно мелкая вкрапленность пирита (до 10 %) размером до 1 мм. Равномерно распределены (до 15–20 %) мелкие гнезда вторичного желтоватого кальцита. Буроватый оттенок аргиллита может быть связан с битуминизацией.

Карбонатные породы. Описывают цвет карбонатной породы на свежем изломе и на выветрелой поверхности: жёлтый или красный цвет свидетельствует о наличии железистых включений, тёмно-серый и бурый – о присутствии органического вещества и битумов, белесая окраска – об отсутствии примесей. Характеризуют структуру породы: микрозернистые породы имеют землистый излом, средне-крупнозернистые – кристаллический сверкающий. Описывают органические остатки. Определяют состав карбонатной породы с помощью соляной кислоты. Оценивают крепость породы и наличие некарбонатных примесей: присутствие обломочного материала устанавливают с помощью лупы; глинистая примесь проявляется в серой окраске, мягкости породы, а также в наличии тёмного пятна после воздействия HCl. Описывают текстуру породы: слоистость, постседиментационные текстуры (стиолиты, замещение). Отмечают конкреции и включения: состав, количество, форму, структуру, текстуру. Описывают пустотное пространство: размеры и тип пустот (поры, каверны, трещины), их форму и сообщаемость.

Кремнистые и соляные породы. Описывают цвет, его оттенок и распределение, причину окраски. Определяют минеральный состав породы, устанавливают с помощью HCl наличие карбонатной примеси, фиксируют обломочные и глинистые включения в виде слойков, линз и рассеянной примеси. Описывают минеральные включения (конкреции, вкрапления) с указанием их размеров, формы, состава, расположения и количества.

Характеризуют структуру (кристаллическая, обломочная, колломорфная и т.п.) с указанием размера компонентов породы и описанием их формы. При описании текстуры указывают однородность строения (массивная, пятнистая, конкреционная, конгломератовидная). Для слоистых текстур определяют толщину слойков, характер их границ. Для вторичных текстур (перекристаллизация, растворение, замещение, окисление, трещиноватость) указывают тип, распределение и ориентировку текстурных элементов. Определяют физические свойства породы: плотность, твёрдость, крепость, пористость. Описывают пустотное пространство, отмечая его тип (поры, каверны, трещины), структуру (размеры, форма, сообщаемость пустот).

Пример № 6. Описание карбонатной породы.

Образец № Б-98.

Название породы: Известняк серый органогенно-водорослевый, слабо глинистый (2–3 %), неслоистый, массивный, пористый, трещиноватый.

Окраска: светло-серая участками светло-коричневая.

Структура: органогенная.

Минеральный состав: основная масса породы (80 %) сложена органическими остатками и водорослями кальцитового состава. Водоросли (60 %) представлены фитолитами –

концентрически-зональными шариками размером 0,5–1,5 мм. Среди органических остатков выделяются членики криноидей (морские лилии), иглокожие (морские ежи), мшанки, в целом составляющие 40 %. Отмечаются редкие гастроподы и обломки кораллов. Скелеты органических остатков сложены мелко-среднезернистым кальцитом, членики криноидей состоят из крупных монокристаллов кальцита. Цемент кальцитовый, слабо окремнённый (местами царапает стекло), с редкими выделениями глауконита. Участками наблюдается битумный цемент коричневого цвета (менее 10 %).

Текстура: развиты стилолиты мелкозубчатой формы. Стенки трещин неровные, микрорешетчатые. Пористость 10–15 %. Поры первичные и вторичные. Первичными являются камеры мшанок, полости водорослевых агрегатов. Вторичные поры выщелачивания располагаются между форменными образованиями, вдоль открытых трещин, в цементе. Размер пор 0,1–1,5 мм. Форма пор округлая, бухтообразная, неправильная, удлиненная. Включения: встречаются редкие вкрапления пирита. Стилолитовые швы выполнены глинисто-органическим веществом. На стенках трещин видны следы легкого жёлтого битума (нефти).

Вторичные изменения: из вторичных аутогенных минералов встречаются халцедон, глауконит, слагающие конкреции и заполняющие поры.

3.3 МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Метаморфические горные породы возникают из осадочных, магматических или более древних метаморфических пород при изменении физико-химических условий их существования. Метаморфические породы разнообразны по внешнему виду и окраске. Многие обладают ориентированной (сланцеватой) текстурой и кристаллобластовыми структурами, возникающими вследствие перекристаллизации минералов. В некоторых породах бросаются в глаза минералы с яркими окрасками: голубые и синие (кианит, корунд, лазурит), розовые и красные (альмандин, корунд), зелёные (хлорит, гроссуляр, актинолит). Характерными особенностями метаморфических пород являются плотное сложение и повышенная прочность, приобретаемые ими в процессе перекристаллизации. Исключение составляют некоторые виды катаклизитов, обладающие повышенной трещиноватостью. С учётом геологических условий и преобладающих факторов метаморфизма выделяют классы метаморфических пород: *катаклазитические, контактово-термальные, метасоматические и регионально-метаморфические* (Прил. 7).

Практическое занятие № 12

Диагностика регионально-метаморфических пород

Цель работы: научиться диагностировать регионально-метаморфические породы.

Исходный материал: образцы рабочей петрографической коллекции.

Решаемые задачи: 1) Знакомство с классификацией и главными видами регионально-метаморфических пород;

2) визуальная диагностика регионально-метаморфических пород в образцах.

Объем работы: не менее 3 образцов горных пород за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, петрографический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков горной породы непосредственно на образцах, характеристикой структуры и текстуры породы.

Ход работы. 1) Под руководством преподавателя ознакомится с основами классификации и главными видами регионально-метаморфических пород;

2) Поочередно для каждого из выданных образцов, определить и записать в рабочую тетрадь окраску, количественный минеральный состав, структуру, текстуру горной породы;

3) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать горные породы;

4) представить преподавателю отчет для проверки.

Практическое занятие № 13

Диагностика контактово-термальных метаморфических пород и метасоматитов

Цель работы: научиться диагностировать контактово-термальные метаморфические породы и метасоматиты.

Исходный материал: образцы рабочей петрографической коллекции.

Решаемые задачи: 1) Знакомство с классификацией и главными видами контактово-термальных метаморфических пород и метасоматитов;

2) визуальная диагностика контактово-термальных метаморфических пород и метасоматитов в образцах.

Объем работы: не менее 3 образцов горных пород за одно занятие.

Лабораторное обеспечение: образцы эталонной коллекции, петрографический музей кафедры МКП, наборы шкал твердости, оптические бинокулярные микроскопы, молотки, минералогические лупы 6-ти кратного увеличения, наборы химической посуды и химических реактивов.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией диагностических признаков горной породы непосредственно на образцах, характеристикой структуры и текстуры породы.

Ход работы. 1) Под руководством преподавателя ознакомится с основами классификации и главными видами контактово-термальных метаморфических пород и метасоматитов;

2) Поочередно для каждого из выданных образцов, определить и записать в рабочую тетрадь окраску, количественный минеральный состав, структуру, текстуру горной породы;

3) с помощью конспекта занятий и учебной литературы диагностировать горные породы;

4) представить преподавателю отчет для проверки.

Рекомендации по выполнению практических заданий №№ 12–13. При макроскопическом описании метаморфических горных пород отмечают следующие признаки: 1) текстура, 2) структура, 3) окраска в образце, 4) минеральный состав. Прежде всего следует отнести породу к сланцеватым или массивным. В первом случае предполагают принадлежность породы к регионально-метаморфическим или катаclaстическим, во втором – к контактово-термальным или метасоматическим. Затем необходимо установить структуру породы.

Для пород со сланцеватой текстурой структура может быть кристаллобластовой или катаclaстической. В случае кристаллобластовой структуры диагностику проводят с учётом зернистости агрегата: крупно- и среднезернистые (0,5–10 мм) породы относят к эпидот-амфиболитовой, амфиболитовой фациям (см. табл. 6), мелкозернистые (< 0,5 мм) породы принадлежат к фации зелёных сланцев. При катаclaстической структуре определяют породу в соответствии со степенью катаclaза (катаclaзованный гранит, катаclaзит гранита, мильтонит по граниту и т.п.).

Для пород с массивной текстурой структура может быть кристаллобластовой или реликтовой. Средне- или крупнозернистую кристаллобластовую структуру имеют кварциты, амфиболиты, мраморы. Сюда же относятся метасоматиты – грейзены и скарны. Мелкозернистая порфиробластовая структура позволяет отнести породу к роговикам. В случае реликтовой структуры породу относят к метасоматитам, а её название определяется минеральным составом (гнейзен, скарн, вторичный кварцит, березит и т.п.) (Прил. 7). Название породы составляют из названия вида породы (роговик, сланец, гнейс и др.) и названия двух-трех главных минералов: например, гранат-биотитовый роговик, кварц-мусковитовый сланец и т.п.

Пример № 7. Описание регионально-метаморфической породы.

Образец № Д-26.

Название породы: Гнейс кианит-гранат-биотитовый.

Текстура: полосчато-сланцеватая (гнейсовая): заметна параллельная ориентировка кианита и биотита; полосчатость выражается в наличии линзовидных прослоев, обогащённых биотитом; мощность прослоев – 10–30 мм. По сланцеватости наблюдается слабо выраженная плитчатая отдельность.

Структура: порфиробластовая: в основной ткани выделяются крупные зёрна граната (ромбододекаэдры 5–10 мм в поперечнике) и кианита (досчатые кристаллы длиной 30–50 мм). Порфиробласты составляют ~10 %. Основная ткань лепидогранобластовая крупнозернистая (размеры зёрен кварца и плагиоклаза 2–4 мм).

Окраска в образце: тёмно-серая.

Минеральный состав: породообразующие минералы: кварц (бесцветный) – 40 %; плагиоклаз (белый, в ядрах бесцветный) – 20 %; биотит (чёрный, кристаллы изогнуты, сильно деформированы) – 20 %; гранат (тёмно-фиолетово-красный) – 10–15 %; кианит (голубовато-

серый) – 5–10 %; мусковит (белый пластинчатый, в срастании с биотитом) – единичные кристаллы. Хлорит и эпидот образуют прожилки, ориентированные по сланцеватости, что указывает на их вторичное происхождение.

Пример № 8. Описание метасоматической породы.

Образец № 31.

Название породы: грейзен топаз-кварцевый по граниту.

Текстура: массивная, плотная, с элементами прожилковой. Прожилок мощностью 6 мм, прямолинейный, с резкими границами, сложен мелким (0,5–1,5 мм) изометричным топазом, в зальбандах наблюдаются оторочки поперечно-шестоватого зеленовато-серого мусковита.

Структура: среднезернистая (0,5–2,5 мм) с элементами реликтовой, зафиксированной в редких относительно крупных реликтах округлого кварца.

Окраска в образце: серая с зеленоватым оттенком.

Минеральный состав: реликтовые минералы – кварц (светло-серый, изометрический, в виде относительно крупных зёрен поперечником 2–5 мм) – 5 %. Породообразующие минералы: кварц (серый, микрозернистый) – 60 %, топаз (желтовато-серые изометрические гнезда, окруженные мусковитом) – 20 %, мусковит (пластинчатые выделения зеленовато-серого цвета, неправильной формы, с перламутровым отливом) – 15 %.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Контрольные задания выполняются студентами в соответствии с календарным графиком, после освоения соответствующих разделов теоретического курса и выполнения практических заданий.

Первая контрольная работа «Минералогия» выполняется в середине семестра и заключается в диагностике всех минералов в пяти выданных образцах с определением их свойств и составлением письменного отчета о результатах диагностики.

Вторая контрольная работа выполняется в конце семестра и заключается в диагностике всех горных пород в пяти выданных образцах с определением их свойств и составлением письменного отчета о результатах диагностики.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Каковы основные свойства кристаллического вещества?
2. Что называется симметричной фигурой?
4. Что называется элементами симметрии, перечислите их?
3. Приведите примеры кристаллов, обладающих различными элементами симметрии.
4. Что такое вид симметрии кристаллов?
5. Что такое сингония и по какому принципу виды симметрии объединяются в сингонии?
6. Какие сингонии объединяют низшая, средняя и высшая категории?
7. Приведите примеры предметов, имеющих симметрию, сходную с одним из видов симметрии кристаллов?
8. Что называется простой формой и комбинацией?
9. Перечислите простые формы высшей категории.
10. Перечислите простые формы средней категории.
11. Перечислите эталонные минералы шкалы твердости Мооса.
12. Перечислите минералы с алмазным блеском.
13. Какие знаете минералы из класса сульфидов? Приведите краткую характеристику каждого из них.
14. Какие знаете минералы из класса оксидов и гидроксидов? Приведите краткую характеристику каждого из них.
15. Какие знаете минералы из класса карбонатов?
16. Какие знаете минералы из класса карбонатов, сульфатов, фосфатов и вольфраматов?
17. Какие знаете минералы из класса сульфатов
18. Какие знаете структурные классы силикатов?
19. Назовите и охарактеризуйте отличие каркасных силикатов.
20. Какие знаете самородные элементы и каково их значение в экономике?
21. Как различаются друг от друга по комплексу свойств халькопирит, пирит, пирротин, арсенопирит и антимонит?
22. Перечислите минералы магматических, осадочных и метаморфических горных пород.
23. Как классифицируются магматические горные породы?
24. Как классифицируются осадочные горные породы?
25. Как классифицируются метаморфические горные породы?
26. Чем отличаются структуры эфузивных горных пород от структур интрузивных пород?
27. Из каких минералов состоят граниты и диориты?
28. Из каких минералов состоят габбро и дуниты?
29. Что такое конгломерат?
30. Чем отличаются регионально-метаморфические горные породы от kontaktово-термальных?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералы и горные породы – это своего рода геологические документы, расшифровка которых позволяет восстанавливать историю развития территорий, эффективно проводить геологоразведочные работы, оценивать их экологическую устойчивость. Горный инженер должен владеть навыками кристаллографии, минералогии и петрографии, которые он приобретает на практических занятиях по дисциплине «Кристаллография, минералогия, петрография».

Важнейшим условием обучения петрографии является внимательное изучение эталонных коллекций горных пород на занятиях под руководством преподавателя и в часы самостоятельной работы. Сочетание теоретических знаний по классификации и условиям образования горных пород и их практического изучения в учебных лабораториях является залогом успешного освоения данного курса.

СПИСОК МИНЕРАЛЬНЫХ ВИДОВ,

для изучения обучающимися по направлению 21.05.03 «Технология геологической разведки»

(Формулы упрощены. В скобках синонимы и устаревшие названия)

Тип I. ПРОСТИЕ ВЕЩЕСТВА

01. Медь
02. Золото
03. Сера
04. Графит

Cu
Au
S
C

Подкласс 2 (цепочечные и ленточные)

Группа пироксенов:
32. Диопсид
33. Эгирин
Группа амфиболов:
34. Актинолит
35. Роговая обманка

CaMg[Si₂O₆]
NaFe[Si₂O₆]
Ca₂Fe₅[Si₈O₂₂](OH)₂
NaCa₂Mg₄(Al,Mg₃)
[(Al,Si)₂Si₆O₂₂](OH)₂

Тип II. СУЛЬФИДЫ И АНАЛОГИ

05. Халькопирит
06. Пирротин
07. Пентландит
08. Пирит
09. Стибнит (антимонит)
10. Молибденит
11. Галенит
12. Арсенопирит
13. Сфалерит
14. Киноварь

CuFeS₂
Fe_{1-x}S
(Fe,Ni)₉S₈
Fe[S₂]
Sb₂S₃
MoS₂
PbS
Fe[Ass]
ZnS
HgS

Подкласс 3 (слоистые)

Группа слюд:
36. Мусковит
37. Флогопит
38. Биотит
39. Серпентин
40. Тальк
41. Каолинит
42. Хлорит

Mg₃[Si₂O₅](OH)₄
Mg₃[Si₄O₁₀](OH)₂
Al₂[Si₂O₅](OH)₄
(Mg,Fe)₅Al
[AlSi₃O₁₀](OH)₈

Тип III. КИСЛОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Класс 1. Оксиды и гидрооксиды

15. Гематит
16. Магнетит
17. Хромит
18. Вольфрамит
19. Кассiterит
20. Гетит, лимонит
21. Псиломелан
22. Корунд
23. Кварц, халцедон
24. Опал

Fe₂O₃
Fe²⁺Fe₂³⁺O₄
FeCr₂O₄
(Mn,Fe)WO₄
SnO₂
α-FeO(OH)
(Mn⁴⁺,Mn²⁺)₅O₁₀[.]
(Ba,H₂O)₂
Al₂O₃
SiO₂
SiO₂·H₂O

Подкласс 4 (каркасные)
43. K-Na полевые шпаты
44. Плагиоклазы
45. Нефелин

(K,Na)[AlSi₃O₈]
Ca[Al₂Si₂O₈] –
Na[AlSi₃O₈]
Na₃K[AlSiO₄]

Класс 2. Силикаты

Подкласс 1 (островные)

25. Оливин
26. Циркон
27. Группа граната:

(Mg, Fe)₂[SiO₄]
Zr[SiO₄]

Класс 3. Карбонаты

46. Кальцит
47. Доломит
48. Магнезит
49. Сидерит
50. Смитсонит
51. Малахит
52. Азурит

Ca[CO₃]
CaMg[CO₃]₂
Mg[CO₃]
Fe[CO₃]
Zn[CO₃]
Cu₂[CO₃](OH)₂
Cu₃[CO₃]₂(OH)₂

Класс 4. Сульфаты

53. Гипс
54. Барит

Ca[SO₄]·2H₂O
Ba[SO₄]

Класс 5. Фосфаты

55. Апатит

Ca₅[PO₄]₃(F,Cl,OH)

Тип IV. ГАЛОГЕНИДЫ

Класс 1. Фториды

56. Флюорит

CaF₂

Класс 2. Хлориды

57. Галит

NaCl

58. Сильвин

KCl

СПИСОК ГОРНЫХ ПОРОД,

для изучения обучающимися по направлению 21.05.03 «Технология геологической разведки»

Тип I. МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Группа 1. Ультраосновные породы

1. Дунит
2. Пироксенит
3. Перидотит
4. Кимберлит

Группа 2. Основные породы

5. Габбро
6. Лабрадорит
7. Долерит
8. Диабаз
9. Базальт

Группа 3. Средние породы

10. Диорит
11. Андезит

Группа 4. Кислые породы

12. Гранит
13. Гранодиорит
14. Пегматит
15. Аплит
16. Риолит
17. Обсидиан

Породы щелочного ряда

18. Сиенит
19. Нефелиновый сиенит
20. Уртит

Тип II. ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Группа 1. Обломочные породы

21. Песок
22. Щебень
23. Галечник
24. Алевролит
25. Песчаник
26. Брекчия
27. Конгломерат

Группа 2. Пирокластические породы

28. Вулканический туф
29. Туффит

Группа 3. Глинистые породы

30. Глина
31. Аргиллит

Группа 4. Карбонатные породы

32. Известняк
33. Доломит
34. Мергель

Группа 5. Кремнистые породы

35. Яшма
36. Кремнистый сланец
37. Кремень

Группа 6. Сульфатные породы

38. Гипс
39. Ангидрит

Группа 7. Осадочные полезные ископаемые

40. Боксит
41. Уголь
42. Фосфорит
43. Каменная соль

Тип III. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Группа 1. Контактово-термальные породы

44. Мрамор
45. Роговик

Группа 2. Регионально-метаморфические породы

46. Гнейс
47. Амфиболит
48. Зеленый сланец
49. Слюдянный сланец
50. Железистый кварцит

Группа 3. Динамометаморфические породы

51. Ката克拉зит
52. Милонит

Группа 4. Метасоматические породы

53. Грейзен
54. Скарн
55. Серпентинит

Приложение 3

БЕСПОЛЕВОШПАТОВЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Класс	Темноцветные минералы				
	Оливин	Пироксены		Амфиболы	
		без оливинна	с оливином	без оливинна	с оливином
Инту- зивные	Дунит (с хро- митом) Оливинит (с магнетитом)	<i>Пироксениты:</i> Ортопироксенит Клинопироксенит, Вебстерит (из моно- клиинного и ромбиче- ского пироксенов)	<i>Перидотиты:</i> Гарцбургит (с ромби- ческим пироксеном) Верлит (с моноклин- ным пироксеном) Лерцолит (с ромбиче- ским и моноклинным пироксенами)	Горнблендит	Кортландит
Жильные	—		Пикрит Кимберлит	—	
Вулка- нические	—		Пикрит Меймечит	—	

Приложение 4

ПЛАГИОКЛАЗОВЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Класс	без кварца		с кварцем
	Пироксены, оливин	Роговая обманка, пироксен, биотит	
Инту- зивные	<i>Лабрадор</i> 35–65 % Габбро (с моноклинным пироксеном) Норит (с ромбическим пи- роксеном) <i>Плагиоклаз</i> 90–100 % Анортозит (Лабрадорит)	<i>Андезин</i> 60–75 % Диорит	<i>Андезин</i> 65–80 % Плагиогранит (кварц 25–30 %)
Жиль- ные	Долерит Диабаз	Диорит- порфирит	Плагиогранит- порфир
Вулка- нические	Базальт Долерит	Андезит	Плагиодакит

ПОЛЕВОШПАТОВЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Класс	Плагиоклаз и К–Na-полевой шпат			Полевой шпат и нефелин
	равное количество	преобладает К–Na-полевой шпат		
	с кварцем	без кварца	с кварцем	эгирина
Интузивные	Олигоклаз–андезин 10–30 %	Олигоклаз 10–30 %	Альбит–олигоклаз 10–30 %	Уртит (преобладает нефелин)
	Гранодиорит	Сиенит	Гранит (кварц 25–35%)	Нефелиновый сиенит (преобладает полевой шпат)
Жильные	Гранодиорит-порфир	Сиенит-порфир	Гранит-порфир Гранит-аплит Гранит-пегматит	Нефелиновый сиенит-порфир, Уртит-пегматит
Вулканические	Дацит	Трахит	Риолит Обсидиан	Фонолит

ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Размер зерен, мм	Обломочные		Органогенные	Хемогенные
	рыхлые	сцементированные		
> 100	Глыбы Валунник	Брекчия	Зоогенные: карбонатные породы (известняк, доломит); кремнистые породы (радиолярит, спонголит); фосфорит	Глинистые породы (глина, аргиллит, глинистый сланец) Карбонатные породы (известняк, доломит, сидерит, известковый туф)
10–100	Галечник Щебенка	Конгломерат Брекчия	Фитогенные: каустобиолиты (уголь, торф, битум и др.); кремнистые породы (диатомит)	Кремнистые породы (опока, трепел, яшма, кремнистый сланец) Сульфатные породы (гипс, ангидрит) Галоидные породы (каменная соль, сильвинит) Аллиты (боксит, латерит) Железистые породы
1–10	Гравийник Дресвяник	Гравелит Дресвит		
0,1–1	Песок	Песчаник		
0,01–0,1	Алеврит Мелкозем (лёсс, суглинок, супесь)	Алевролит		
< 0,01	Пелит (глина)	Аргиллит	Хемобиогенные: железистая руда, марганцевая руда, фосфорит	

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Тип метаморфизма	Метаморфическая фация	Исходные породы		
		Глинистые и кварц-полевошпатовые (метапелиты)	Карбонатные	Основные и средние магматические, мергели (метабазиты)
Катаклистический		Катаклазит Милонит Порфироид	Катаклазит	Катаклазит Милонит Порфириоид
Контактово-термальный	Мусковит-роговиковая	Пятнистый и узловатый сланец	Мраморизованный известняк	Эпидот-актинолитовый роговик
	Пироксен-роговиковая	Биотитовый роговик	Мрамор	Пироксеновый роговик
Регионально-метаморфический	Зеленых сланцев	Филлит Микросланец	Известковый сланец	Зеленый сланец
	Эпидот-амфиболитовая	Слюдяной сланец Кварцит	Мрамор	Зеленый сланец
	Амфиболитовая	Гнейс Кварцит	Мрамор	Амфиболит
Метасоматический		Грейзен Вторичный кварцит Березит	Скарн	Пропилит Серпентинит

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Алексеев В.И., Петров Д.А. Петрография и литология: учебн. пособие. СПб., СПГГИ (ТУ), 2011, 105 с.
2. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. Учебное пособие. 4-е издание, испр. и доп. М.: КДУ, 2018. 736 с.
3. Булах А.Г. Золотарёв А.А. Кривовичев В.Г. Общая минералогия: Учебник. изд. 4-е перераб. и доп. М.: Академия, 2008. 416 с.
4. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия: учебник. М.: КДУ, 2005. 592 с.
5. Марин Ю.Б. Петрография. Учебник. СПб, 2015.
6. Кристаллография, минералогия, петрография: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II. Сост.: В.И. Алексеев. СПб, 2025. 62 с.

Дополнительная

7. Иванов М.А., Алексеев В.И. Литология (Петрография осадочных пород): учебн. пособие. СПб: СПГГИ, 2009, 89 с.
8. Кристаллография, минералогия: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. М.А. Иванов. СПб., 2021. 38 с.
9. Логгиненко Н.В. Петрография осадочных пород: Учебник для студентов геолог. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1984, 416 с.
10. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд-е третье, испр. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
11. Пущаровский Д.Ю. Структура и свойства кристаллов. М.: ГЕОС, 2022. 260 с.
12. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. Основы кристаллографии. Учебник для вузов. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2006. 500 с.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ

kristallov.net – ресурс, посвященный систематической минералогии в соответствии с требованиями Международной минералогической ассоциации (IMA).

wiki.web.ru / Категория: Минералогия – раздел Геовикипедии – открытой энциклопедии по наукам о Земле, посвященный описанию практических всех известных минеральных видов.

webmineral.com – ресурс, посвященный свойствам минералов, дополненный 3D-моделями их кристаллов и структур (на англ. яз.).

mindat.org – крупнейшая в мире база фотографий и свойств минералов, сгруппированных по разным месторождениям (на англ. яз.).

smoorf.nl - база данных с 3D-моделями кристаллов более чем 1000 минеральных видов (на англ. яз.).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ	5
Практическое занятие № 1. Элементы симметрии кристаллов	5
Практическое занятие № 2. Простые формы кристаллов.....	7
2. МИНЕРАЛОГИЯ	13
Практическое занятие № 3. Диагностические признаки минералов....	13
Практическое занятие № 4. Диагностика простых веществ, сульфидов и их аналогов	15
Практическое занятие № 5. Диагностика оксидов и гидроксидов.....	16
Практическое занятие № 6. Диагностика силикатов.....	17
Практическое занятие № 7. Диагностика минералов группы солей....	19
3. ПЕТРОГРАФИЯ.....	21
Практическое занятие № 8. Диагностика ультраосновных и основных магматических пород.....	21
Практическое занятие № 9. Диагностика средних и кислых магматических пород.....	22
Практическое занятие № 10. Диагностика обломочных и глинистых осадочных пород.....	26
Практическое занятие № 11. Диагностика карбонатных и кремнистых осадочных пород.....	26
Практическое занятие № 12. Диагностика регионально-метаморфических пород.....	31
Практическое занятие № 13. Диагностика контактово-термальных метаморфических пород и метасоматитов.....	31
7. Контрольные задания	33
Контрольные вопросы	34
Заключение	35
Приложение 1. Список минеральных видов	36
Приложение 2. Список горных пород	37

Приложение 3. Бесполевошпатовые магматические породы.....	38
Приложение 4. Плагиоклазовые магматические породы.....	38
Приложение 5. Полевошпатовые магматические породы.....	39
Приложение 6. Осадочные горные породы.....	39
Приложение 7. Метаморфические горные породы.....	40
Рекомендуемая литература	41
Рекомендуемые интернет-источники.....	42
Оглавление.....	42